



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE
E CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO – FACE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA
Doutorado Interinstitucional em Administração – DINTER – UnB/UFG

VÍNCULOS ENTRE INSTITUIÇÕES E FUNÇÕES NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA
TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO: O CASO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO
BRASILEIRO

Marcelo Ferreira Tete

Brasília – DF
Agosto/2016

Marcelo Ferreira Tete

VÍNCULOS ENTRE INSTITUIÇÕES E FUNÇÕES NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA
TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO: O CASO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO
BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade de Brasília – UnB como
requisito parcial à obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Profa. Dra. Eda Castro Lucas de Souza

Brasília – DF
Agosto/2016

Tete, Marcelo Ferreira.

VÍNCULOS ENTRE INSTITUIÇÕES E FUNÇÕES NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO: O CASO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO BRASILEIRO. Brasília: 2016. 339 f.

Orientadora: Profa. Dra. Eda Castro Lucas de Souza

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (Face) – Universidade de Brasília (UnB).

1. Instituições. 2. Sistemas de Inovação. 3. Sistema Tecnológico de Inovação. 4. Funções de Sistemas de Inovação. 5. Etanol 2G

Marcelo Ferreira Tete

VÍNCULOS ENTRE INSTITUIÇÕES E FUNÇÕES NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA
TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO: O CASO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO
BRASILEIRO

Esta tese foi julgada e aprovada para obtenção do grau de doutor em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Brasília.

Brasília, 30 de Agosto de 2016.

Comissão examinadora:

Dra. Eda Castro Lucas de Souza
Universidade de Brasília (PPGA/UnB) – Orientadora

Dr. Ricardo Corrêa Gomes
Universidade de Brasília (PPGA/UnB) – Membro Interno

Dra. Suylan de Almeida Midlej e Silva
Universidade de Brasília (PPGA/UnB) – Membro Interno

Dra. Andrea Felipe Cabello
Universidade de Brasília (FACE/UNB) – Membro Externo

Dr. Edson Ronaldo Guarido Filho
Universidade Positivo – Membro Externo

Dr. Tomás de Aquino Guimarães
Universidade de Brasília (PPGA/UnB) – Suplente

Aos meus pais Manoel e Nadir, exemplos de honestidade e laboriosidade. Os ensinamentos tácitos e explícitos que vocês me deram marcaram indelevelmente o meu caráter. Sou fã de vocês.

Aos meus irmãos Sandra, Cristiane e Edson. Mesmo de longe vocês foram grandes parceiros nos momentos em que eu mais precisei. Muito obrigado pelo apoio.

À minha querida avó, Ana Rosa (in memorian), que em sua simplicidade me ensinou o valor da fé e da retidão moral. Sinto muita saudade das nossas conversas.

AGRADECIMENTOS

Olhando em retrospectiva toda a trajetória desta tese, todos os desafios e percalços pelos quais passei, vejo que tenho muito a agradecer, pois sozinho eu não conseguiria produzi-la.

Agradeço primeiramente ao Deus uno e trino pela permissão concedida para que eu pudesse vencer mais essa etapa da minha vida. A Ele toda honra e toda glória.

Agradeço a minha amada esposa Adriana pelo apoio incondicional durante todo o curso de doutorado. Dedico esta tese a você Drica, pois todas as dificuldades que tive para concluí-la são infinitamente menores do que todo o seu sofrimento em sua luta pela vida. Pela graça de Deus você venceu, ou melhor, vencemos!

Agradeço a meus filhos Enzo e Brenno, meus dois grandes tesouros. Enzo, me perdoe toda a ausência quando você precisava de atenção. Brenno, acho que esta tese estava aguardando a sua chegada para ser concluída. Seja bem vindo, filho!

Agradeço a Profa. Dra. Eda Castro Lucas de Souza, que com sua experiência e determinação me ajudou a colocar esta tese nos “trilhos”. Professora, serei eternamente grato pela sua ajuda e orientação!

Agradeço a UnB pela oportunidade que tive de estudar em uma universidade pública com ensino de excelência. Apesar de ser professor de universidades federais há mais de dez anos, esta foi a minha primeira vez como aluno.

Agradeço aos professores Dr. Tomás de Aquino Guimarães e Dr. Cândido Borges pela condução do Dinter UnB/UFG e pela valiosa ajuda nos momentos de dificuldade. Vocês deram uma incomensurável contribuição ao estado de Goiás.

Agradeço à Universidade Federal de Goiás por apoiar a criação do Dinter, oferecendo as condições institucionais e materiais para que o curso fosse levado a efeito.

Agradeço aos professores da FACE/UFG, em especial os do curso de Administração, que apoiaram o meu afastamento para me dedicar integralmente ao Dinter e, literalmente, “carregaram o piano” para suprir a minha ausência e a dos demais colegas dinterianos.

Agradeço a todos os professores que lecionaram no Dinter UnB/UFG e nos mostraram os caminhos e nuances para a produção de uma boa pesquisa.

Agradeço ao Prof. Dr. Nicholas Vonortas e à secretária Roxanne Bublitz, da George Washington University, por me acolherem com muito urbanidade no Center for International Science and Technology Policy (CISTP).

Agradeço a CAPES pela bolsa PDSE concedida. Sem esse auxílio minha permanência em Washington, DC, seria inviabilizada.

Agradeço ao Flávio Manoel, meu grande compadre, ao Marco Antonio, ao Vicente e ao Waldemiro Neto. A amizade desses caras foi fundamental para que eu não me sentisse incapaz nas horas de dificuldade

Agradeço a todos os companheiros dinterianos pela convivência, aprendizado e ajuda mútua: Alethéia, Daiana, Flávio, Marcos de Moraes, Marcos Severo, Michely, Miguel, Régis e Vicente.

Agradeço a toda equipe da secretaria do PPGA pelo valioso e competente apoio administrativo.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar os vínculos estabelecidos entre as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e as funções do sistema tecnológico de inovação do etanol de segunda geração brasileiro (STI do etanol 2G) ao longo do processo de formação desse sistema. Para sua fundamentação teórica foram revisadas a teoria neo-institucional da sociologia organizacional, sistemas de inovação e seu caráter institucional e sistemas tecnológicos de inovação. O modelo teórico de pesquisa foi elaborado com base nos pilares institucionais de Scott (1995) – regulatório, normativo e cultural-cognitivo – e nas sete categorias da abordagem das funções de sistemas de inovação de Bergek et al. (2008) – experimentação empreendedora; desenvolvimento e difusão de conhecimento; influência sobre a direção da busca; mobilização de recursos; formação de mercado; desenvolvimento de externalidades positivas; legitimação. Os dados foram obtidos por meio de levantamento documental e de entrevistas semiestruturadas junto a vinte colaboradores de dezenove organizações, sendo analisados em períodos distintos: 1975-1986, 1987-2010 e 2011-2015. Os resultados encontrados mostram que, ao longo dos quarenta anos do processo formativo do STI do etanol 2G, além de um crescimento de seu quadro institucional, foram estabelecidos vínculos com todas as sete funções desse sistema de inovação, influenciando as ações e interações de seus atores, bem como as inovações tecnológicas produzidas. As instituições regulatórias formalizaram decisões – sobretudo governamentais – que direcionaram recursos para o desenvolvimento tecnológico relacionado ao etanol 2G. As instituições normativas definiram o que é considerado apropriado para o desenvolvimento do STI. As instituições cultural-cognitivas moldaram as expectativas dos atores do STI, direcionando suas ações e investimentos para o desenvolvimento de trajetórias tecnológicas específicas. O trabalho é finalizado com a apresentação de suas contribuições em termos teóricos, metodológicos, gerenciais e de formulação de política pública.

Palavras-chave: instituições, sistemas de inovação, sistema tecnológico de inovação, funções de sistemas de inovação, etanol 2G.

ABSTRACT

This work aims to analyze ties established between regulative, normative and cultural-cognitive institutions and the functions of the Brazilian second generation ethanol technological innovation system (2G ethanol TIS) throughout the formation process of this system. For its theoretical the neo-institutional theory of organizational sociology, innovation systems and their institutional character and technological innovation systems were reviewed. The theoretical research model was developed based on Scott's pillars of institutions – regulative, normative and cultural-cognitive – and on Bergek et al. (2008) seven categories of the functions of innovation systems approach – entrepreneurial experimentation, knowledge development and diffusion, influence on the direction of search, resource mobilization, market formation, development of positive externalities, and legitimation. Data was collected through documental research and semi-structured interviews with twenty executives from nineteen organizations, and were analyzed in distinct periods: 1975-1986, 1986-2010, and 2011-2015. The results found show that over the forty years of the 2G ethanol TIS formative process, in addition to a growth in its institutional framework, ties with all the seven functions of this innovation system were established, influencing its actors's actions and interactions as well as the technological innovations developed. Regulatory institutions formalized decisions – especially governmental ones – that directed resources to technological developments related to 2G ethanol. Normative institutions defined what is considered appropriate for the TIS development. Cultural-cognitive institutions shaped TIS's actors expectations directing their actions and investments to the development of specific technological trajectories. This work is finalized with the presentation of its contributions in theoretical, methodological, managerial and policy making terms.

Key-words: institutions, innovation systems, technological innovation system, functions of innovation systems, 2G ethanol.

SUMÁRIO

ABSTRACT	8
SUMÁRIO	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO	24
1.1 Teoria Neo-Institucional da Sociologia Organizacional	24
1.1.1 Pilares conceituais do neo-institucionalismo na sociologia organizacional.....	27
1.1.2 Instituições e inovação	30
1.2 Sistemas de inovação e seu caráter institucional	35
1.3 Sistemas tecnológicos de inovação e as tecnologias sustentáveis.....	40
1.4 Estado da arte da literatura em instituições e sistemas de inovação	48
1.4.1 Perspectivas teórico-metodológicas	49
1.4.2 Resultados	50
1.4.3 Conclusões sobre o estado da arte da análise institucional em sistemas de inovação ..	52
1.5 Modelo teórico da pesquisa	53
CAPÍTULO 2 - MÉTODO	58
2.1 Tipo de pesquisa	58
2.2 Delineamento do STI do etanol 2G	59
2.3 Universo de estudo	62
2.4 Coleta de Dados	67
2.4.1 Levantamento documental	67
2.4.2 Entrevistas semiestruturadas	71
2.5 Tratamento e Análise dos Dados.....	73
2.5.1 Análise de conteúdo.....	77
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
3.1 Período 1975-1986	79
3.2 Análise do período 1: 1975-1986	93
3.2.1 Instituições regulatórias.....	93
3.2.2 Instituições normativas	95
3.2.3 Instituições cultural-cognitivas	96
3.3 Período 1987-2010	98

3.3.1 A insistência na hidrólise ácida	98
3.3.2 A transição tecnológica para a hidrólise enzimática	107
3.3.3 Outros eventos ocorridos entre 2005 e 2010.....	117
3.4 Análise do período 1987-2010.....	140
3.4.1 Instituições regulatórias.....	141
3.4.2 Instituições normativas	145
3.4.3 Instituições cultural-cognitivas	148
3.5 Período 2011-2015	151
3.5.1 O estímulo governamental à produção do etanol 2G em escala comercial	151
3.5.2 Outros eventos ocorridos entre 2011 e 2015.....	161
3.6 Análise do período 3: 2011-2015	174
3.6.1 Instituições regulatórias.....	175
3.6.2 Instituições normativas	178
3.6.3 Instituições cultural-cognitivas	181
3.7 Análise das entrevistas.....	183
3.7.1 Entrevistas do grupo histórico de atores	184
3.7.2 Entrevistas do grupo contemporâneo de atores	197
3.8 Análise consolidada dos resultados.....	234
3.8.1 Período 1975-1986	234
3.8.2 Período 1987-2010	241
3.8.3 Período 2011-2015	250
3.9 Discussão dos resultados.....	262
3.9.1 Período 1975-1986	263
3.9.2 Período 1987-2010	265
3.9.3 Período 2011-2015	269
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES.....	278
4.1. Contribuições da pesquisa	284
4.2 Limitações da pesquisa	285
4.3 Agenda de pesquisa	286
REFERÊNCIAS	288
APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	297
APÊNDICE B – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	301
APÊNDICE C – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	304
APÊNDICE D – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	308
APÊNDICE E – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	311
APÊNDICE F – ROTEIRO PARA ENTREVISTA.....	314

APÊNDICE G – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	317
APÊNDICE H – ROTEIRO PARA ENTREVISTA	321
APÊNDICE I – ROTEIRO PARA ENTREVISTA.....	323
APÊNDICE J-LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS.....	324

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Três pilares institucionais de Scott	28
Figura 2: Quadro-resumo da seção 2.1	34
Figura 3: Categorias institucionais utilizadas na pesquisa	34
Figura 4: Definições de sistemas nacionais de inovação	35
Figura 5: Quadro-resumo das abordagens de sistemas de inovação	40
Figura 6: Abordagem de sistemas de inovação utilizada na pesquisa.....	40
Figura 7: Quadro-resumo da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação	45
Figura 8: Conceito de sistema tecnológico de inovação e elementos estruturais utilizados na pesquisa	46
Figura 9: Abordagem das funções do sistema de inovação utilizada na pesquisa	47
Figura 10: Estudos empíricos considerados no modelo teórico-analítico desta pesquisa.	47
Figura 11: Abordagens teóricas dos artigos recuperados	49
Figura 12: Modelo teórico.....	57
Figura 13: Configuração do fluxo do processo de produção do etanol 2G em uso no Brasil	60
Figura 14: Universo de atores identificados como componentes do Sistema tecnológico de inovação em etanol 2G	65
Figura 15: Universo e amostra dos atores componentes do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G.....	67
Figura 16: Tipos de documentos utilizados na pesquisa documental	69
Figura 17: Categorias de análise da pesquisa documental	70
Figura 18: Distribuição das entrevistas	73
Figura 19: Tipos de eventos indicadores das funções do STI do etanol 2G.	76
Figura 20: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 1975 e 1986.....	92
Figura 21: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 1975-1986, segundo a análise documental.....	93
Figura 22: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.	95
Figura 23: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.	96
Figura 24: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.....	98
Figura 25: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 1987 e 2010.....	139
Figura 26: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 1987-2010, segundo a análise documental.....	141
Figura 27: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.	144
Figura 28: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.	148
Figura 29: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.....	151
Figura 30: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 2011 e 2015.....	173
Figura 31: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 2011-2015, segundo a análise documental.....	175
Figura 32: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.	178

Figura 33: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.....	181
Figura 34: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.....	183
Figura 35: Eventos identificados na análise das entrevistas do grupo de atores histórico do STI do etanol 2G.....	192
Figura 36: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores e a pesquisa documental.....	193
Figura 37: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G (período 1975-1986), segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores.....	195
Figura 38: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G (período 1975-1986), segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores.....	197
Figura 39: Eventos identificados na análise das entrevistas do grupo de atores contemporâneo do STI do etanol 2G.....	226
Figura 40: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, segundo a análise das entrevistas e pesquisa documental (período 2011-2015).....	228
Figura 41: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores.....	230
Figura 42: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores.....	232
Figura 43: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores.....	234
Figura 44: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.....	237
Figura 45: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.....	238
Figura 46: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.....	241
Figura 47: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.....	244
Figura 48: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.....	247
Figura 49: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.....	249
Figura 50: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.....	254
Figura 51: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.....	258
Figura 52: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.....	262

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de projetos de P&D aprovados pela ANP, de acordo com a Lei 9.478/97 e Res. ANP 5/2005 (2007-2008).....	123
Tabela 2: Relação de projetos de P&D aprovados pela ANP, de acordo com a Lei 9.478/97 e Res. ANP 5/2005 (2011-2015).....	168

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABBI - Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial
- ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química
- ACOS - Álcool Celulósico Organosolv
- AIST - National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- BIOBRÁS - Bioquímica do Brasil S.A.
- BIOEN - Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- BNDESPAR - BNDES Participações
- BRAERG - Brazilian Expertise Research Group
- CANEBIOFUEL - Conversion of Sugar Cane Biomass into Ethanol
- CAPEX - capital expenditure
- CARB - California Air Resources Board
- C&T – Ciência e Tecnologia
- CENPES - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras
- CEPROBIO - Centro de Processos Biológicos e Industriais para Biocombustíveis
- CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- CIDE - Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
- CIMA – Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
- CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
- CNPEM - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
- COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia
- CTBE - Centro de Tecnologia do Bioetanol
- CTC - Centro de Tecnologia Canavieira
- COALBRA - Coque e Álcool de Madeira S/A
- CODETEC - Companhia de Desenvolvimento Tecnológico
- COP21 - Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPT - Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas

CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança

DHR - Dedini Hidrólise Rápida

DOE - Department of Energy

EEL - Escola de Engenharia de Lorena

EISA - Energy Independence and Security Act

ENZITEC - Seminário Nacional de Tecnologia Enzimática

ENZITEC - Seminário Brasileiro de Tecnologia Enzimática

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FAENQUIL - Faculdade de Engenharia Química de Lorena

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FPQuímica - Frente Parlamentar Mista pela Competitividade da Cadeia Produtiva do Setor Químico, Petroquímico e de Plástico

FTI - Fundação de Tecnologia Industrial

FUNAT - Fundo Nacional de Tecnologia

FUNCAMP - Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP

FURB - Universidade Regional de Blumenau

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas

IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

INCT Bioetanol - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

INDC - Intended National Determined Contribution

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais

JICA - Japan International Cooperation Agency

JST - Japan Science and Technology Agency

LCFS - California Low Carbon Standard

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia de Portugal

LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

MA - Ministério da Agricultura

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio

M&G - Mossi & Ghisolfi

MIC - Ministério da Indústria e do Comércio

MME - Ministério de Minas e Energia

MP - Medida Provisória

MRE – Ministério das Relações Exteriores

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos

NIPE - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético

NREL - National Renewable Energy Laboratory

OFD - Office of Fuels Development

ONU - Organização das Nações Unidas

OPEX - operational expenditure

ORNL - Oak Ridge National Laboratory

PACTI - Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PTE - Programa Tecnológico do Etanol

PAISS - Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

PITE - Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica

PPDP - Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos

Proálcool - Programa Nacional do Álcool

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro

RFS - Renewable Fuel Standard

SATREPS - Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development

SERI - Solar Energy Research Institute

SHEB - Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas

SHEB - Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas

SINAFERM - Simpósio Nacional de Fermentação

STI - Sistemas Tecnológico de Inovação

SUNLIBB - Sustainable Liquid Biofuels from Biomass Biorefining

TPG - Texas Pacific Group

UCS - Universidade de Caxias do Sul

UDP - Unidade de Desenvolvimento de Processo

UEM - Universidade Estadual de Maringá

UFAL - Universidade Federal de Alagoas

UFC - Universidade Federal do Ceará

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos

UFV - Universidade Federal de Viçosa

UNB - Fundação Universidade de Brasília

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

USP - Universidade de São Paulo

INTRODUÇÃO

A produção de etanol celulósico (etanol de segunda geração ou etanol 2G) em escala comercial no Brasil tornou-se realidade nos últimos dois anos quando duas empresas anunciaram o início das operações de suas respectivas plantas industriais dedicadas à fabricação dessa nova categoria de biocombustível – Granbio, em 2014 e Raízen, em 2015. A inauguração desses empreendimentos marcou o começo de uma nova fase na trajetória do desenvolvimento tecnológico e institucional em torno do etanol 2G no país, principiada em 1976 no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), onde foram realizadas as primeiras pesquisas experimentais em escala de laboratório com técnicas de produção de etanol de madeira trazidas da União Soviética (Castro & Schwartzman, 2008; Simões, 2007).

Apoiadas por recursos governamentais, as investigações do INT avançaram da bancada de laboratório para outra escala maior com a construção de uma usina-piloto na cidade de Lorena – SP, no início dos anos de 1980 (Bon & Ferrara, 2007), o que permitiu avaliar o comportamento da tecnologia soviética, conhecida como hidrólise ácida, em condições mais próximas da escala comercial – objetivo pretendido por alguns integrantes do governo militar, idealizadores do Programa Proalcool, responsável pela expansão do etanol de cana-de-açúcar (etanol de primeira geração ou 1G), no Brasil, a partir de 1975.

Em 1982, o ideal da produção de etanol de madeira (eucalipto) em escala industrial concretizou-se com a inauguração da Coque e Álcool de Madeira S/A (COALBRA), empresa majoritariamente estatal vinculada ao Ministério da Agricultura e que também utilizava a tecnologia soviética de hidrólise ácida (Prata, Beirão & Tomioka, 1999). Após quatro anos de operação, a empresa foi encerrada devido aos problemas de ordem tecnológica que comprometeram a eficiência do processo produtivo e, por consequência, tornaram o empreendimento economicamente inviável.

Apesar do revés, sob o ponto de vista industrial, a tecnologia de hidrólise ácida não foi totalmente abandonada uma vez que o seu desenvolvimento continuou sendo objeto de investimentos por parte da Dedini, empresa privada especializada na fabricação e instalação de equipamentos para usinas de etanol, a qual envidou esforços para viabilizar a produção de etanol com base no bagaço da cana-de-açúcar como substituto da madeira. Contando com o aporte de recursos do Ministério da Indústria e do Comércio (obtidos junto ao Banco Mundial) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a Dedini conduziu pesquisas e experimentos em escala-piloto, na segunda metade dos anos 1980 e durante toda a década de 1990, que a

prepararam para um salto mais ambicioso no início dos anos 2000 quando, apoiada por recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e por uma parceria com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), inaugurou uma unidade demonstrativa com capacidade de produção diária de 5 mil litros de etanol (Olivério & Hilst, 2005).

O processo desenvolvido pela Dedini, patenteado como Dedini Hidrólise Rápida (DHR), não conseguiu produzir etanol 2G a um custo competitivo em relação ao etanol 1G, tendo suas operações da unidade demonstrativa paralisadas em 2007. O aparente fracasso da hidrólise ácida, porém, não foi suficiente para conter novos desenvolvimentos tecnológicos relacionados ao etanol 2G, pois já estavam em curso esforços de pesquisa e desenvolvimento, que utilizavam uma rota tecnológica alternativa, baseada na biotecnologia industrial: a hidrólise enzimática. Em 2011, quatro anos após o insucesso da Dedini, essa nova tecnologia aglutinou em torno de si diferentes organizações públicas e privadas, como, por exemplo, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Ministério de Ciência e Tecnologia e empresas interessadas em produzir etanol 2G, envolvidas com o Plano PAISS Industrial¹, que de forma articulada criaram as condições de financiamento para que a produção comercial do etanol 2G se tornasse possível nos anos seguintes (Nyko et al., 2013; Milanez et al., 2015).

O caso do etanol 2G, no Brasil, ao longo de toda a sua trajetória de desenvolvimento – desde as primeiras pesquisas de laboratório em 1976 até a sua produção comercial em 2014 e 2015 – mostra que diversos atores (empresas, órgãos de governo, entidades de ciência e tecnologia) contribuíram para a evolução de um segmento tecnológico específico e emergente da área dos biocombustíveis avançados, que se apresenta como uma alternativa aparentemente promissora, viável, produtiva e barata para melhorar a produção total de etanol no Brasil (Santos et al., 2016). Esse processo parece enquadrar-se no conceito de sistemas tecnológicos de inovação (STI), ou seja, “grupo de redes de atores e instituições que conjuntamente interagem em um campo tecnológico específico e contribuem para a geração, difusão e utilização de variantes de uma nova tecnologia e/ou um novo produto” (Markard & Truffer, 2008a, p. 611). O conceito de STI é utilizado por uma corrente de estudiosos, tais como, entre outros, Jacobsson e Bergek (2004), Negro, Hekkert e Smits (2007), Negro, Suurs e Hekkert (2008), Sandén e Hillman (2011), Praetorius, Martiskainen, Sauter e Watson (2010), interessada em compreender processos de desenvolvimento, difusão e uso de inovações sustentáveis de baixo carbono,

¹ Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico

principalmente na área de energia renovável como é o caso dos biocombustíveis estudado por Hillman, Suurs, Hekkert e Sandén (2008), Suurs e Hekkert (2009a); Surrs e Hekkert (2009b).

O STI é formado por quatro elementos estruturais: atores, redes (de atores), instituições e tecnologia (Hekkert, Negro, Heimeriks & Harmsen, 2011; Bergek, Hekkert, Jacobsson, Markard, Sandén & Truffer, 2015). A categoria atores envolve qualquer organização que direta ou indiretamente contribua com seus conhecimentos e competências para a tecnologia emergente em foco (Suurs, 2009). A interação de diferentes atores em torno de uma tecnologia, consequentemente, resulta na formação de redes de relacionamentos que facilitam a transferência de conhecimentos tácitos e explícitos (Jacobsson & Bergek, 2004). Na categoria instituições, estas são entendidas como as restrições – ou regras do jogo de uma sociedade – criadas para conformar as ações e interações humanas (North, 1991). Finalmente, a tecnologia abrange os artefatos, as infraestruturas tecnológicas e o conhecimento que nestes é incorporado (Suurs, 2009).

A análise estrutural de um STI consegue captar o aspecto estático do sistema, mas não a sua interação dinâmica ao longo do tempo (Suurs, 2009). Para contornar esse problema Bergek, Hekkert e Jacobsson (2008a) elaboraram a abordagem das funções do sistema de inovação. Formada por sete funções (experimentação empreendedora; desenvolvimento e difusão de conhecimento; influência sobre a direção da busca; mobilização de recursos, formação de mercado; desenvolvimento de externalidades positivas; legitimação), essa abordagem serve ao propósito de mapear as atividades-chave desenvolvidas em um STI bem como descrever e explicar mudanças tecnológicas que nele se processam ao longo do tempo (Hekkert, Suurs, Negro, Kuhlmann & Smits, 2007).

Bergek et al. (2008a) afirmam que sob o ponto de vista da pesquisa em inovação sustentável de baixo carbono – em que mudanças radicais são requeridas e novos sistemas de inovação precisam se desenvolver para confrontar e competir com tecnologias carbono-intensivas já estabelecidas –, as funções do STI relacionadas ao elemento instituições têm recebido pouca atenção quando comparadas às funções ligadas aos elementos atores e redes. Para esses autores, duas funções de sua abordagem, em particular, estão estritamente ligadas ao ambiente institucional: a função legitimação e a função influência sobre a direção da busca.

Argumentam Bergek et al. (2008a) que, dados os riscos e as incertezas associados às inovações de baixo carbono, a legitimação visa a tornar a nova tecnologia confiável e compreensível aos olhos de usuários e fabricantes e, além disso, a obter alinhamento

institucional nas dimensões regulatória, normativa e cognitiva, seja pela conformidade com as instituições existentes, seja por meio de mudanças institucionais. Já a influência sobre a direção da busca refere-se às expectativas de natureza científico-tecnológica, estratégicas e societárias, que são utilizadas como recurso tanto para legitimar comportamento como para mobilizar apoio na direção das inovações de baixo carbono, fato esse que pode gerar acesso a fundos públicos de P&D, espaços protegidos para aprendizagem e parceiros industriais, bem como influenciar o *design* da política pública. Neste trabalho, no entanto, defende-se que as instituições se vinculam a um STI não por meio dessas duas funções apenas, mas por meio de todas as sete funções propostas pela abordagem de Bergek et al. (2008a), as quais influenciam as transformações e promovem a formação do sistema de inovação ao longo do tempo.

Dada a influência que exercem sobre o sucesso ou fracasso das inovações tecnológicas, as instituições são consideradas como o núcleo de todas as abordagens teóricas de sistemas de inovação (Edquist & Johnson, 1997). No entanto, poucos são os estudos filiados à corrente intelectual dos sistemas de inovação que se propõem a conduzir análises institucionais sistemáticas (Rohracher et al., 2008). No âmbito da abordagem de STI, particularmente, essa lacuna de natureza teórico-empírica foi recentemente identificada por alguns autores que, por sua vez, têm envidado esforços para a proposição de modelos tentativos de análise institucional que possam superar tal deficiência (Truffer, Rohracher & Markard, 2009; Markard, Wirth & Truffer, 2016).

Assim, visando a contribuir para o avanço teórico-empírico da abordagem de STI, o caso do etanol 2G brasileiro – aqui entendido como um sistema tecnológico de inovação específico – foi escolhido como locus para se estudar a influência das instituições nos processos de desenvolvimento tecnológico que marcaram a sua formação. Desse modo, a questão de pesquisa que se coloca é: Como as instituições se vinculam às funções de um sistema tecnológico de inovação e influenciam as transformações que nele ocorrem ao longo do seu processo de formação?

Com base na questão acima, o objetivo geral do presente trabalho é analisar os vínculos de influência estabelecidos entre as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e as funções do sistema tecnológico de inovação do etanol de segunda geração brasileiro (STI do etanol 2G) ao longo do processo de formação desse sistema. Para se atingir esse objetivo, serão perseguidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o processo de formação do STI do etanol 2G de 1975 a 2015 e identificar as funções responsáveis pela dinâmica de sua evolução;
- Identificar na descrição do processo de formação do STI do etanol 2G manifestações institucionais de natureza regulatória, normativa e cultural-cognitiva;
- Analisar os vínculos de influência dessas instituições com as funções do STI do etanol 2G ao longo de seu processo de formação;

A primeira justificativa para a realização desta pesquisa emana do levantamento do estado da arte da produção científica realizado como parte de sua fundamentação teórica, cujos resultados confirmam Rohracher, Truffer e Markard (2008) no que diz respeito à pequena quantidade de estudos empíricos que se prestam a aplicar a análise institucional em sistemas de inovação. Apenas seis trabalhos foram identificados nas bases de artigos acadêmicos consultadas, todos publicados em periódicos internacionais. Dessas produções, quatro utilizam a teoria neo-institucional econômica e dois trabalhos empregam o neo-institucionalismo da sociologia organizacional – notadamente Wirth, Markard, Truffer e Rohracher (2013) e Markard et al. (2016), autores que empregam a abordagem de sistemas tecnológicos de inovação. Alinhada a esses pesquisadores, esta tese pretende adicionar conhecimentos ao esforço de pesquisa por eles iniciado com base na mesma vertente teórica do institucionalismo que adotaram.

A segunda justificativa deve-se ao fato de que, embora alguns pesquisadores tenham analisado a configuração, a evolução e os arranjos institucionais do sistema de inovação do etanol 1G brasileiro (Furtado, Scandiffio & Cortez, 2011; Varrichio & Queiroz, 2010; Rosário & Fonseca, 2008; Dunham, 2009; Dantas & Figueiredo, 2009, Sousa, 2015), nesses trabalhos o etanol 2G e os processos de inovação a ele relacionados foram abordados discretamente, com exceção da pesquisa de Sousa (2015) que, além de examinar a dinâmica da inovação relacionada ao etanol 1G, dedica boa parte de sua análise ao etanol 2G.

Entretanto, de todos esses trabalhos apenas no trabalho de Dunham (2009) as instituições são examinadas de forma sistemática, o que corrobora a constatação de Rohracher et al. (2008) de que, em geral, falta aos estudos de sistemas de inovação o interesse pela análise institucional. Este fato reforça e justifica a necessidade de se avançar nesse sentido e o presente trabalho apresenta-se como uma contribuição à análise institucional de um sistema tecnológico de inovação com o aporte dos conceitos teóricos da teoria neo-institucional. Desse modo, do ponto de vista teórico, este trabalho contribui com a incorporação da teoria neo-institucional da sociologia organizacional aos estudos sobre sistemas tecnológicos de inovação – somando-se,

portanto, a Wirth et al. (2013) e Markard et al. (2016) –, chamando a atenção para o papel que instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas (Scott, 1995) desempenham na formação desses sistemas.

Alinhada com outros estudos internacionais sobre sistemas tecnológicos de inovação em energia renovável, esta pesquisa também propõe que o estudo de caso da formação do STI do etanol 2G ao longo do tempo seja examinado por meio da abordagem das funções do sistema de inovação (Bergek et al., 2008a; Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark & Rickne 2008b). A contribuição metodológica desta tese, portanto, está na operacionalização das categorias teórico-analíticas dessa abordagem e sua vinculação às categorias institucionais regulatória, normativa e cultural-cognitiva, com o objetivo de se encontrar evidências da influência institucional na trajetória formativa do referido sistema. Para tanto, as técnicas da análise de eventos e a análise de conteúdo, baseadas em entrevistas em profundidade semi-estruturadas e pesquisa documental, são utilizadas de forma combinada.

Outra contribuição relevante deste estudo está associada à política pública, na medida em que a aplicação da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação e, mais especificamente, a utilização da abordagem das funções podem ser ferramentas úteis para que o formulador da política pública possa conhecer a dinâmica da formação de sistemas de inovação específicos de modo geral e, em particular, a influência da dinâmica institucional nesse processo. Acredita-se que a consideração das instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas no *design* de políticas públicas de suporte à formação e crescimento de sistemas tecnológicos de inovação emergentes pode colaborar para a eficácia da política. Wirth et al. (2013) reforçam esse ponto de vista quando afirmam que as políticas de apoio serão mais efetivas se estiverem alinhadas com as particularidades institucionais de um sistema tecnológico de inovação.

Por fim, destaca-se também a contribuição gerencial que este trabalho oferece aos gestores de organizações pertencentes a sistemas tecnológicos de inovação emergentes, como no caso do etanol 2G. Entende-se que esses profissionais podem se beneficiar da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação e da análise institucional de modo a compreenderem melhor a influência e o papel das instituições para o sucesso de tecnologias emergentes e a viabilização de mercados para as mesmas. Espera-se que, com isso, os aspectos institucionais relacionados à inovação tecnológica em energia sustentável sejam incorporados à formulação de estratégias e à elaboração de planos de negócios de firmas interessadas em explorar as oportunidades oferecidas por esse nicho de mercado.

Do ponto de vista empírico, a seleção do etanol 2G como caso a ser investigado justifica-se pela importante fronteira tecnológica em biotecnologia industrial e energia renovável que esse tipo de biocombustível representa, cuja viabilidade e expansão no Brasil e no mundo dependem tanto do progresso técnico quanto de mudanças de natureza institucional. O interesse pelo etanol 2G no Brasil e no mundo não parece ser despropositado, pois o domínio das tecnologias avançadas de conversão de biomassa em etanol, pelos dois maiores países produtores de etanol 1G (Brasil e Estados Unidos), é considerado por Buckeridge e Goldman (2011) o meio mais óbvio para que consigam aumentar sua produção total de etanol e, com isso, possam substituir maiores quantidades de combustíveis fósseis.

Como corolário dessa constatação entende-se que compreender o processo de desenvolvimento de sistemas tecnológicos de inovação, baseados em tecnologias emergentes de energia renovável, pode ser considerado fator estratégico para que empresas e formuladores de políticas possam ajudar indústrias e países a se libertar de seu aprisionamento às fontes energéticas de carbono, ou *carbon lock-in* (Unruh, 2000), promovendo assim a transição para modos mais sustentáveis de produção e consumo.

Além deste introito, esta tese está organizada em quatro capítulos. O primeiro capítulo apresenta o marco teórico que fundamenta o trabalho e está subdividido em cinco sessões que versam, nesta ordem, sobre teoria neo-institucional da sociologia organizacional, sistemas de inovação e seu caráter institucional, sistemas tecnológicos de inovação, estado da arte da literatura em instituições e sistemas de inovação e, por fim, o modelo teórico da pesquisa. O segundo capítulo descreve o método de pesquisa utilizado no trabalho, estando subdividido em cinco seções: tipo de pesquisa, delineamento do STI do etanol 2G, universo de estudo, coleta de dados e tratamento e análise dos dados. O terceiro capítulo dedica-se à análise e discussão dos resultados da pesquisa e está organizado em nove subseções. Por fim, o quarto capítulo reserva-se às conclusões do estudo, suas limitações e às sugestões de pesquisa futura.

CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO

1.1 Teoria Neo-Institucional da Sociologia Organizacional

Se pudesse ser atribuído um marco temporal do surgimento do neo-institucionalismo nas ciências sociais (especificamente no campo da teoria organizacional) ele teria sido, segundo Powell e DiMaggio (1991), o ano de 1977, por conta da publicação dos trabalhos de Meyer (1977) e Meyer e Rowan (1977). Carvalho e Vieira (2003) consideram o trabalho de Zucker (1977) como outra fonte neo-institucional importante, também publicada no ano de 1977.

Meyer (1977) desafiou a visão dominante de que os sistemas de educação processam indivíduos preparando-os para agirem na sociedade, ao propor uma teoria macrossociológica dos efeitos da educação como sistema de legitimação. Esse autor apresenta o neo-institucionalismo organizacional que considera a educação do final dos anos 1970 como um sistema institucionalizado de ritos de transformação de papéis sociais, por meio de poderosas cerimônias de iniciação e, como um agente de transformação da sociedade, por meio da criação de novas classes profissionais providas com autoridade de conhecimento.

Meyer e Rowan (1977) introduzem uma nova reflexão acerca das organizações formais, até então entendidas como sistemas racionais de coordenação e controle de atividades, imersos numa complexa rede de relações técnicas e trocas, visando à ampliação de suas fronteiras (*boundary-spanning exchanges*). Como forma de ampliar esse entendimento, esses autores defendem que as formas estruturais organizacionais surgem em ambientes institucionalizados, nos quais conquistam legitimidade e aumentam sua perspectiva de sobrevivência pela incorporação de práticas e procedimentos institucionalizados na sociedade, independentes de sua eficácia imediata. Nesse sentido, produtos, serviços, técnicas, políticas e programas institucionalizados funcionariam como mitos racionalizados poderosos, que seriam adotados cerimonialmente pelas organizações para obterem legitimidade mesmo que isso implique conflitos com critérios de eficiência técnica (Meyer & Rowan, 1977).

O trabalho de Zucker (1977) aborda a questão da institucionalização pelo viés cultural ao realizar três experimentos etnometodológicos com mulheres para testar a hipótese da persistência cultural, ou seja, o grau em que a geração, manutenção e resistência a mudanças de entendimentos culturais varia com o grau de institucionalização. Essa pesquisa da autora obteve resultados conducentes à conclusão de que quanto maior o grau de institucionalização, maior o

grau de persistência cultural. Esse trabalho influenciou fortemente os fundamentos micro sociológicos da teoria institucional (Rowan, 2010).

Os trabalhos de Meyer (1977), Meyer e Rowan (1977) e Zucker (1977) fazem parte da formulação sociológica em que a institucionalização é assumida como processo de criação da realidade (Scott, 1987), fundada na concepção de instituição desenvolvida por Berger e Luckmann (1991), segundo a qual o homem é capaz de produzir o mundo que experimenta como algo distinto da ação humana. Um dos pressupostos derivados dessa perspectiva, de acordo com Crubellate, Grave e Mendes (2004), é o de que a realidade é socialmente definida e construída à medida em que os atores sociais interagem e definem para si o significado do mundo que os cerca, ainda que de modo não intencional ou pouco consciente.

Essa abordagem introduziu elementos e posicionamentos ontológicos à teoria institucional, tais como a rejeição aos modelos de racionalidade individual, o tratamento das instituições como variáveis independentes, a busca por explicações de natureza cognitiva e cultural e o interesse em unidades supra individuais de análise (Powell & DiMaggio, 1991). Para Selznick (1996) esses elementos reorientaram o foco da pesquisa sobre instituições, sobretudo em direção ao fenômeno da legitimação. De acordo com esse autor, a legitimidade no institucionalismo passou a ser vista como imperativo e chamamento para justificar formas e práticas particulares, o que encoraja as organizações a mimetizarem o ambiente cultural no qual operam, resultando, assim, no chamado isomorfismo institucional.

Os conceitos de isomorfismo institucional bem como o de campo organizacional foram importantes contribuições acrescentadas à teoria institucional no início dos anos 1980 por DiMaggio e Powell (1983). Esses autores, ao tentarem compreender por que as formas organizacionais são tão homogêneas e burocratizadas, elaboraram a ideia de campo organizacional. Esse conceito surgiu do argumento de DiMaggio e Powell, segundo o qual, a burocratização e outras formas de homogeneização organizacional emergem da estruturação de campos organizacionais que, embora em seus estágios iniciais sejam diversificados, ficam homogêneos à medida que se tornam bem estabelecidos.

O campo organizacional é um agregado de organizações (que em seu conjunto constituem uma área reconhecida da vida institucional) formado, por exemplo, por fornecedores principais, consumidores de recursos e produtos, agências regulatórias e outras organizações que produzem produtos e serviços similares (DiMaggio & Powell, 1983). A introdução do conceito de campo organizacional permitiu a incorporação da lógica de recursividade à análise

do relacionamento entre agência e estrutura em um contexto espaço-temporal delimitado (Machado-da-Silva, Guarido Filho & Rossoni, 2006; Machado-da-Silva, Fonseca & Crubellate, 2010).

Para DiMaggio e Powell (1983), o conceito que explica melhor o processo de homogeneização, típico dos campos organizacionais, é o de isomorfismo – processo restritivo que força uma unidade em uma população a se parecer com outras unidades que enfrentam o mesmo conjunto de condições ambientais. Com base na noção de isomorfismo, originalmente desenvolvida por Hawley (1968) e expandida por Hannan e Freeman (1977), DiMaggio e Powell (1983) tipificaram os mecanismos de mudança isomórfica em: coercitivo, normativo e mimético.

O isomorfismo coercitivo decorre de pressões formais e informais exercidas por organizações detentoras de recursos escassos, por exigências legais e técnicas do estado e por expectativas culturais da sociedade. O isomorfismo normativo origina-se, principalmente, da profissionalização, ou seja, do esforço de membros de determinadas ocupações em definir os métodos e condições para a execução do trabalho em suas respectivas categorias profissionais, por meio do desenvolvimento e transmissão de normas baseadas em estabelecimentos de educação formal ou em associações de classe. Já o isomorfismo mimético corresponde à imitação de modelos organizacionais bem sucedidos por parte de organizações que os adotam ou por influência de transferências de funcionários, ou recomendações de firmas de consultoria ou associações setoriais (DiMaggio & Powell, 1983).

Embora algumas das ideias de DiMaggio e Powell (1983) já estivessem, de certa forma, presentes nos trabalhos de Meyer e Rowan (1977) e de Tolbert e Zucker (1983), o trabalho que desenvolveram no início dos anos 1980 ampliou o alcance e o poder explanatório de conceitos como o de isomorfismo e campo organizacional constituindo-se, assim, numa contribuição fundamental ao institucionalismo organizacional (Rowan, 2010). Esses três trabalhos inauguraram e impulsionaram uma série de trabalhos empíricos posteriores que ajudaram a teoria institucional a atingir, ao final daquela década, o seu estágio de adolescência, com alguns problemas típicos de sua juventude (Scott, 1987), mas com um longo caminho ainda por percorrer para a realização de todo o seu potencial (Powell, 1991).

A partir dos anos 1990, diz Rowan (2010), a teoria institucional iniciou um processo de consolidação marcado pelos trabalhos de Powell e DiMaggio (1991) e Scott (1995). Entretanto, dado o pouco consenso sobre a definição de conceitos-chave, métricas ou métodos, Tolbert e

Zucker (1996) constataram que, pelo menos até meados daquela década, a teoria institucional não havia se institucionalizado. Isso parece ter mudado nos anos 2000, pois Scott (2008), ao revisar o progresso do desenvolvimento da teoria institucional, desde os anos 1970, concluiu que esta já havia atingido um saudável estágio adulto no início do novo milênio.

1.1.1 Pilares conceituais do neo-institucionalismo na sociologia organizacional

A teoria institucional, particularmente a desenvolvida na vertente do neo-institucionalismo da sociologia organizacional, produziu *insights* importantes que contribuíram para o seu progresso teórico e empírico. Mas, como se trata de abordagem muito ampla, uma grande diversidade de concepções sobre instituições surgiu ao longo do tempo, concepções estas que, embora relacionadas entre si, são de certa forma distintas (Scott, 2003). Para dar conta dessa pluralidade conceitual, Scott (1995) propôs uma definição abrangente de instituição: “Instituições são estruturas que atingiram alto grau de resiliência. Elas são compostas por elementos cultural-cognitivos, normativos e de regulação que, em conjunto com atividades e recursos associados, proveem estabilidade e significado à vida social” (Scott, 1995, 2003, p. 880).

Nessa concepção, Scott (1995) distingue três elementos que constituem os pilares da teoria neo-institucional: o da regulação, o normativo e o cultural-cognitivo. Esses pilares foram identificados por esse autor após a revisão da literatura neo-institucional na economia, ciência política e sociologia (Scott, 1995). Os elementos de regulação envolvem a capacidade de estabelecer regras, mecanismos de vigilância e sanções (recompensas ou punições) para influenciar o comportamento. Os elementos normativos envolvem a criação de expectativas que introduzem na vida social dimensões prescritivas, avaliativas e de obrigação. Os elementos cultural-cognitivos² dizem respeito à criação de concepções compartilhadas da natureza da realidade social e aos modelos por meio dos quais o significado é construído (Scott, 2003).

Assim, inspirado pela decomposição da teoria neo-institucional em seus pilares fundamentais, Scott (1995) considera que as instituições são sistemas multifacetados que incorporam sistemas simbólicos – tais como construções cognitivas e regras normativas – e processos de regulação que são levados a efeito pelo comportamento social e que, ao mesmo tempo, moldam esse comportamento. Cada pilar, por sua vez, está associado a uma base de

²No trabalho de meados dos anos 1990, em que Scott pela primeira vez apresentou os pilares das instituições, os elementos cultural-cognitivos foram identificados apenas como elementos cognitivos (Scott, 1995). A incorporação do termo “cultural” ocorreu a partir dos anos 2000.

conformidade, a um mecanismo de controle, a uma lógica própria, a indicadores específicos e a uma determinada base de legitimidade (Figura 1).

	Regulação	Normativo	Cultural-Cognitivo
Base de conformidade	Conveniência	Obrigação social	<i>Taken-for-granted</i> (dado como certo)
Mecanismos	Coercitivo	Normativo	Mimético
Lógica	Instrumentalidade	Apropriação	Ortodoxia
Indicadores	Regras, leis, sanções	Certificação, acreditação	Prevalência, isomorfismo
Base de legitimidade	Sancionada legalmente	Governada moralmente	Culturalmente apoiada, conceitualmente correta.

Figura 1: Três pilares institucionais de Scott
Fonte: Adaptado de Scott (1995; 2003)

Os elementos de regulação são enfatizados pelos trabalhos revisados por Scott (2008), especialmente pelos neo-institucionalistas da economia e pelos cientistas políticos da escolha racional, nos quais tem-se como foco as atividades de estabelecimento de regras, o monitoramento e a sanção (Scott, 2003). São exemplos de elementos de regulação as regulamentações e regras formais que governam o comportamento individual e organizacional tais como constituições, leis e direitos de propriedade (North, 1990; Orr & Scott, 2008). Força, temor e conveniência são características centrais do pilar da regulação e são moderadas por regras informais – implícitas nos costumes – ou por regras ou legislação formais (Scott, 1995), cuja aplicação é controlada principalmente pelo mecanismo da coerção (DiMaggio & Powell, 1983).

As leis e regras formais, em geral, são criadas e sancionadas por estruturas regulatórias, tais como, o estado-nação, os governos estaduais e locais ou por autoridades transnacionais, ao passo que as associações profissionais e comerciais, firmas individuais, os grupos empresariais ou sindicatos publicam regras, monitoram comportamento e tentam exigir conformidade de seus participantes (Orr & Scott, 2008, Scott, 2003). A conformação de indivíduos e organizações às leis e regras emanadas dessas estruturas constitui a base da legitimação que caracteriza o pilar da regulação (Carvalho et al., 2005).

Os elementos normativos, segundo Scott (2008; 1995), advêm da ênfase que sociólogos e psicólogos sociais atribuíram às normas e aos valores como base da ordem social. Algumas normas e valores são aplicáveis a todos os membros de uma coletividade, enquanto outras aplicam-se somente a alguns tipos de atores e posições. Tais normas e valores especializados são chamados de papéis ou, em outras palavras, “concepções de ação apropriada para indivíduos particulares ou posições sociais especificadas” (Scott, 1995, p.28). Normas e valores, em seu sentido amplo, bem como papéis, são tidos como os principais elementos normativos que, por sua vez, também incluem: padrões, convenções, práticas, tabus, costumes, tradições e códigos de conduta (Orr & Scott, 2008).

Os sistemas normativos impõem restrições ao comportamento social, além de empoderarem e permitirem a ação social (Scott, 1995). As normas especificam como as coisas deveriam ser feitas, enquanto os valores são concepções do que é preferível ou desejável (Orr & Scott, 2008). A base normativa das instituições é essencialmente moral (comportamento moralmente governado) e a legitimidade organizacional (e individual) é definida em termos de sua adesão a normas estabelecidas como padrões de comportamento, cuja fonte preferencial são as profissões e seus mecanismos de controle (Carvalho et al., 2005). A ênfase nos elementos normativos das instituições, em vez dos elementos de regulação e cultural-cognitivos, implica uma lógica de apropriação (Orr & Scott, 2008) – o que é apropriado para um indivíduo ou organização é definido pelo sistema social e transmitido por meio da socialização (March & Olsen, 1984).

Os elementos cultural-cognitivos são os que receberam atenção mais recentemente por parte de sociólogos organizacionais, antropólogos culturais e psicólogos cognitivos, e referem-se às concepções compartilhadas que constituem a natureza da realidade social, as quais fornecem os quadros de referência simbólica que apoiam a atribuição de significado (Scott, 2003). Crenças compartilhadas, identidades, esquemas, roteiros, heurísticas, lógicas de ação e modelos mentais são exemplos de elementos de natureza cultural-cognitiva. De acordo com Orr e Scott (2008), esses elementos são culturais, no sentido de que a realidade social é referenciada e racionalizada contra *frameworks* simbólicas externas, e cognitivos, no sentido de que a realidade social é interpretada e construída por meio de referenciais internalizados de elaboração de significados.

Em vez de regras e expectativas normativas, na perspectiva cultural-cognitiva a base de conformidade é formada por crenças dadas como certas (*taken-for-granted*), assim como por concepções compartilhadas e lógicas de ação, subjacentes à ordem social (Scott, 2003). O

mecanismo que mais claramente capta a dimensão cultural-cognitiva de processos isomórficos é o mimetismo (imitação), a lógica subjacente a esses processos é a da ortodoxia (convencionalismo no comportamento) e o principal indicador do mimetismo é a prevalência: número similar de indivíduos ou organizações que apresentam uma dada forma estrutural ou prática (Scott, 1995).

Em suma, o raciocínio que sustenta os “pilares das instituições” é o de que as instituições são formadas por elementos diversos que se diferenciam de maneira importante, apresentam diferentes bases de ordenamento e conformidade, mecanismos e lógicas variados e diferentes indicadores empíricos (Scott, 2005). Cada elemento oferece uma base racional para a reivindicação de legitimidade, seja por meio da sanção legal, da sanção moralmente autorizada, seja da sanção culturalmente apoiada. E, ao mesmo tempo, todos apoiam a ordem social institucionalizada assentada na estabilização dos comportamentos (Scott, 2008).

1.1.2 Instituições e inovação

Os estudos sobre instituições desenvolvidos no âmbito da economia, ciência política e sociologia avançaram consideravelmente nas últimas décadas, particularmente na área dos estudos organizacionais (Rowan, 2010). Mas, conforme Scott (2005) observa, para além desses campos de estudo, tem havido esforços para a conexão da teoria institucional a outras áreas de pesquisa relacionadas, tais como leis e sociedade, análise de políticas públicas e movimentos sociais.

A inovação é outra área que tem sido estudada empiricamente à luz da teoria institucional, especialmente em suas vertentes sociológica e econômica. Nessa área, a abordagem neo-institucional da sociologia tem sido adotada em estudos com foco, por exemplo, em organizações individuais (Hargadon & Douglas, 2001; Vermeulen, van den Bosch & Volberda, 2007a; Van Dijk, Berends, Jelinek, Romme & Weggeman, 2011; Aguilera-Caracuel & Ortiz-Mandoyana, 2013), redes interorganizacionais (Alexander, 2012; Hardless & Jaffar, 2011) ou setores econômicos (Deeds, Mang & Friendsen, 2004; Vermeulen, Büch & Greenwood, 2007b; Ahn, York, Sohn & Benyamini, 2013).

Entre os estudos empíricos sob a abordagem neo-institucional na vertente econômica, há aqueles com enfoque no desempenho inovador de continentes, tais como a África (Oluwatobi, Efobi, Olurinola & Alege, 2014) e Europa (Barbosa & Faria, 2011), de países individuais (Marques, 2015; Carney & Zheng, 2009; Wu, 2013; Wu, Wu & Zhuo, 2015), de

setores específicos (Casper & Matraves, 2003; Liu, 2011; Liu, Jiang, Chen, Larson & Roco, 2015) e de comunidades organizacionais (Lynn, Reddy & Aram, 1996).

Ainda que esses estudos reforcem a extensão da teoria institucional para o campo da inovação, é na economia evolucionária fundada por Nelson e Winter (1982) que a interação instituições-inovação tem gerado os *insights* teóricos que parecem justificar a necessidade de se aplicar a análise institucional sistemática ao estudo dessa relação. Nelson (1991) vem destacando a importância das instituições no processo de inovação tecnológica desde o início dos anos 1990, ao afirmar que a simultânea evolução da tecnologia e das instituições constitui um fascinante objeto de estudo, concluindo que “será talvez no estudo da coevolução da tecnologia e das instituições que iremos começar a desenvolver uma teoria séria de como as vantagens comparativas nacionais surgem e deixam de existir” (Nelson, 1991, p. 72).

No entanto, a análise da coevolução das instituições e da tecnologia já não era algo novo no início dos anos 1990, como o próprio Nelson (1991) reconheceu. Perez (1983) mostra como a abordagem coevolucionária já havia sido considerada na análise econômica. Nelson (2001) destaca que Adam Smith pode ser considerado um dos precursores mais antigos da análise da coevolução de tecnologias e instituições, pois, em vários pontos de sua obra *A Riqueza das Nações* (Smith, 2005), deixa clara a sua preocupação com as tecnologias físicas e a organização do trabalho – esta última entendida por Nelson como um tipo de instituição.

Em 1995, Nelson (1995a), em um ensaio abrangente, voltou a tocar no tema da coevolução fazendo uma revisão tanto dos estudos que trataram da evolução conjunta do avanço tecnológico e da estrutura industrial – fenômeno que Schumpeter (1961) já havia observado na obra *Capitalismo, Socialismo e Democracia* –, quanto daqueles relacionados à coevolução da tecnologia e de várias instituições de suporte. Ainda em 1995, Nelson (1995b) publicou trabalho endereçado aos economistas industriais, cujo foco central foi estritamente a coevolução entre estrutura industrial, tecnologia e instituições de apoio sob a perspectiva da vantagem comparativa, retomando parte do que havia afirmado em seu ensaio de 1991.

Até então, Nelson havia abordado e defendido a questão da coevolução de maneira genérica, sem oferecer nenhuma proposta conceitual ou analítica que pudesse orientar o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa futuros. Isso parece ter começado a mudar no início dos anos 2000, quando Nelson e Sampat (2001) propuseram o conceito de *tecnologia social*. O argumento desenvolvido pelos autores é o de que o crescimento econômico necessita ser

entendido como aquele que envolve a coevolução de tecnologias sociais (instituições) e tecnologias físicas (Nelson, 2008).

A importância atribuída por Nelson (1995a) e Nelson e Sampat (2001) às instituições, particularmente a discussão sobre como elas coevoluem com as firmas e o avanço tecnológico, foi reconhecida e enaltecida por Hollingsworth (2000) como um significativo avanço teórico, uma vez que, tanto a teoria institucional quanto as teorias de inovação, em seu ponto de vista, ainda se encontravam subdesenvolvidas. Em 2002, toda a elaboração teórica produzida nesses trabalhos foi sintetizada e recontextualizada por Nelson (2002), no âmbito das abordagens de sistemas de inovação, afirmando que a coevolução entre tecnologias físicas e sociais é a força motriz do desenvolvimento econômico e que é a essa interação mútua que a ideia de sistemas de inovação, essencialmente, diz respeito. E para que esse processo seja melhor compreendido, esse autor defende a incorporação da análise institucional à abordagem de sistemas de inovação.

Coriat e Weinstein (2002) afirmam que o principal benefício do uso da abordagem institucional em sistemas de inovação é o de indicar claramente a existência de trajetórias de inovação amplamente determinadas pelo contexto social em que os vários agentes do sistema – principalmente firmas – operam. Esses autores, por sua vez, propõem que a análise institucional de sistemas de inovação seja feita por meio da combinação da dimensão institucional (representada pelos direitos de propriedade intelectual e relações capital-trabalho) e da dimensão organizacional (representada pela noção de modelo ou padrão organizacional) do processo de inovação.

Com base na concepção neo-institucional econômica de North (1990), a proposta analítica de Coriat e Weinstein (2002) diferencia instituições de organizações, entendendo as primeiras como as regras do jogo de uma sociedade e as últimas como os jogadores do jogo. Segundo esses autores, essa distinção permite compreender a complexa interação coevolucionária entre as duas entidades conceituais, uma vez que “de um lado as instituições moldam as organizações, mas, de outro lado, as organizações podem contribuir para a definição e transformação das regras institucionais” (p. 279).

A exemplo de Nelson (2002) e Coriat e Weinstein (2002), Hollingsworth (2000) também considerou a necessidade de se estender a análise institucional aos sistemas de inovação e, para tanto, propôs um modelo teórico-analítico que se divide em cinco níveis, hierarquizados por ordem decrescente de estabilidade institucional: (1) instituições, (2) arranjos institucionais, (3) setores institucionais, (4) organizações e (5) resultados e desempenho.

No primeiro nível, o das instituições gerais, encontram-se as normas, regras, hábitos e valores. No segundo têm-se os arranjos institucionais envolvidos na coordenação dos diferentes atores econômicos, tais como mercados, estados, hierarquias corporativas, redes, associações e comunidades. O terceiro nível, correspondente aos setores institucionais, inclui, mas não está a eles limitado, o sistema de educação de uma sociedade, o sistema de pesquisa, o sistema empresarial e os mercados financeiros. Como as estruturas desses setores são distintas e idiossincráticas em cada sociedade, são consideradas específicas de cada sistema institucional nacional. O quarto nível de análise, as organizações, é considerado o mais controverso por Hollingsworth³, pelo fato de as regras institucionais, normas e convenções se desdobrarem em conjunto com as estruturas organizacionais (presentes particularmente nas firmas). Por fim, o quinto nível refere-se aos resultados e ao desempenho, analisados por meio do exame de decisões administrativas, da natureza, quantidade e qualidade dos produtos industriais, bem como do desempenho setorial e societal.

Apesar do esforço de Nelson (2002) e Hollingsworth (2000) em tentar estabelecer as bases teóricas (e analíticas) para o estudo das instituições em sistemas de inovação, Rohracher et al. (2008) observam que há poucos estudos empíricos realizados com o emprego da análise institucional nessa linha de pesquisa. Esse desinteresse, por sua vez, sugere a existência de uma lacuna teórico-empírica, uma vez que, segundo Edquist (2001), um dos elementos teóricos centrais subjacente à concepção de sistemas de inovação é o conceito de instituições.

Contribuir para que essa lacuna seja superada é a tarefa a que se propõe este estudo e, nesse sentido, acredita-se que a revisão da teoria institucional aqui exposta e a sua vinculação com os estudos sobre inovação oferece a base teórica que permite analisar a influência institucional, por exemplo, no processo de formação de sistemas de inovação. Um quadro-resumo com os temas e autores abordados nesta seção estão elencados na Figura 2.

³ Boa parte dessa controvérsia se deve a certa confusão existente na literatura, segundo a qual as organizações também são consideradas instituições. Para desfazê-la, Hollingsworth (2000) recorre à distinção de North (1990), que considera instituições como “regras do jogo” e as organizações como os “jogadores do jogo”. No entanto, posiciona-se ao lado dos teóricos de organizações na defesa de que as estruturas institucionais, normas e convenções se desenvolvem em conjunto com as estruturas organizacionais.

Temas abordados	Autores citados
Neo-institucionalismo na sociologia	Hawley (1968), Meyer (1977), Meyer & Rowan (1977), Carvalho Vieira (2003), Zucker (1977), Hannan & Freeman (1977), DiMaggio & Powell (1983), Tolbert & Zucker (1983), Scott (1987), Powell & DiMaggio (1991), Powell (1991), Scott & Meyer (1991), Berger & Luckmann (1991), Selznick (1996), Tolbert & Zucker (1999), Crubellate et al. (2004), Machado-da-Silva et al. (2006; 2010), Rowan (2010)
Pilares conceituais do neo-institucionalismo na sociologia organizacional	DiMaggio & Powell (1983), March & Olsen (1984), North (1990; 1991), Scott (1995; 2003; 2008), Carvalho et al. (2005), Orr & Scott (2008).
Instituições e inovação	Rowan (2010), Scott (2005), Hargadon & Douglas (2001), Vermeulen et al. (2007a; 2007b), Van Dijck et al. (2011), Aguilera-Caracuel & Ortiz-Mandojana (2013), Alexander (2012), Hardless & Jaffar (2011), Deeds et al. (2004), Ahn et al. (2013), Oluwatobi et al. (2014), Barbosa & Faria (2011), Marques (2015), Carney & Zheng (2009), Wu (2013), Wu et al. (2015), Casper & Matraves (2003), Liu (2011), Liu et al. (2015), Lynn et al. (1996), Nelson & Winter (1982), Nelson (1991; 1995a; 1995b; 2001; 2002; 2008), Perez (1983), Schumpeter (1961), Nelson & Sampat (2001), Coriat & Weinstein (2002), Hollingsworth (2000), Rohracher et al. (2008).

Figura 2: Quadro-resumo da seção 2.1

Tendo em vista os temas relacionados na Figura 2, para fins do presente estudo, as instituições no contexto de um sistema de inovação serão analisadas por meio da lente neo-institucional sociológica, de modo particular, com base nas categorias (pilares) institucionais de Scott (1995), ou seja, instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas (Figura 3).

Categorias institucionais	Características
Instituições regulatórias	Envolvem a capacidade de estabelecer regras, mecanismos de vigilância e sanções (recompensas ou punições) para influenciar o comportamento.
Instituições normativas	Envolvem a criação de expectativas que introduzem na vida social dimensões prescritivas, avaliativas e de obrigação.
Instituições cultural-cognitivas	Dizem respeito à criação de concepções compartilhadas da natureza da realidade social e os modelos por meio dos quais o significado é construído

Figura 3: Categorias institucionais utilizadas na pesquisa

Fonte: Adaptado de Scott (1995; 2003).

1.2 Sistemas de inovação e seu caráter institucional

No início dos anos 1990, ocorreu na literatura sobre inovação tecnológica um desenvolvimento teórico que deslocou o enfoque da pesquisa acadêmica, até então concentrado na inovação realizada por firmas individuais e indústrias específicas, para outro fundado na abordagem sistêmica da inovação e seu impacto nas economias nacionais. À frente dessa nova perspectiva, surge o conceito de “sistema nacional de inovação” (Fargerberg, Fosaas & Sapprasert, 2012), idealizado por Bengt-Åke Lundvall (1992)⁴.

A ideia subjacente à concepção de sistema de inovação remonta ao economista alemão Friedrich List, em sua obra *Sistema Nacional de Economia Política*, publicada em 1841 (List, 1986). Ainda que sua terminologia fosse diferente, List (1986) antecipou muitas características do debate contemporâneo sobre sistema nacional de inovação, incluindo o reconhecimento da importância das instituições para o desenvolvimento econômico nacional.

É possível perceber a importância das instituições para o conceito de sistema nacional de inovação quando Edquist (2004) afirma que, de modo geral, as especificações de sistemas de inovação destacam o papel das instituições na lista dos determinantes da inovação. Isso fica evidente no documento da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), intitulado *National Innovation Systems* (1997), ao observar-se que das cinco definições ali apresentadas, quatro delas explicitamente trazem a palavra instituições como componente do conceito de sistema nacional de inovação (Fig. 5).

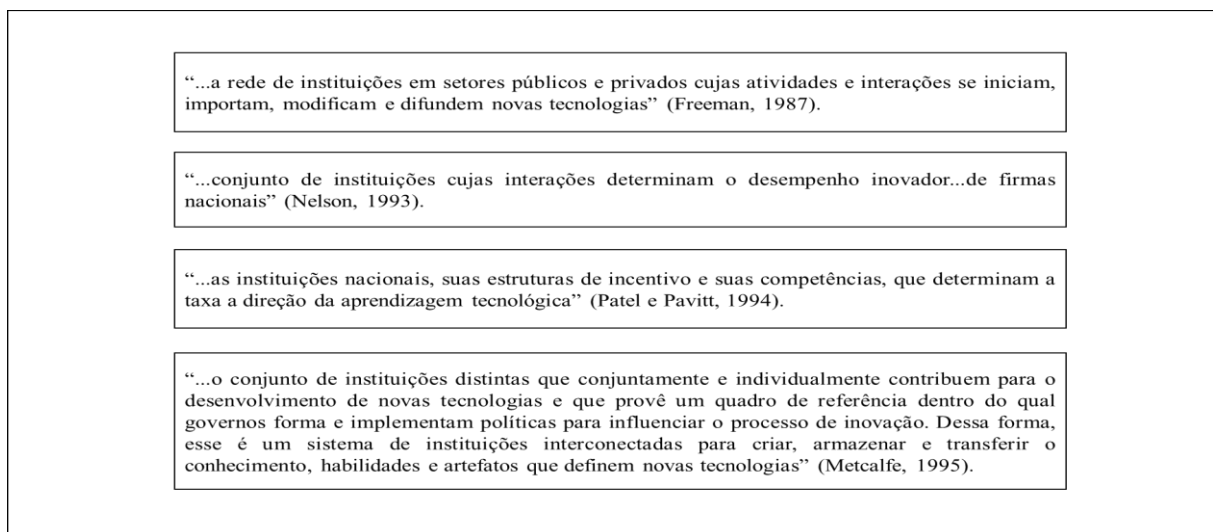


Figura 4: Definições de sistemas nacionais de inovação

Fonte: Adaptado de OECD (1997)

⁴Ainda que Lundvall (1992) seja recorrentemente citado como autor do conceito, Christopher Freeman é apontado como o primeiro pesquisador a utilizá-lo, em 1987, para explicar o sucesso econômico do Japão, especialmente nos setores de alta tecnologia (Martin, 2012)

Mas, de maneira específica, quais são essas instituições? A resposta parece estar em Lundvall (2005), quando afirma que o núcleo central de um sistema nacional de inovação são as firmas em interação com outras firmas e com a infraestrutura de conhecimento existente, sendo que em torno desse núcleo há um ambiente institucional mais amplo formado pelo sistema nacional de educação, mercado de trabalho, mercados financeiros, leis de propriedade intelectual, competição de mercados e regimes de bem-estar. Essas instituições do ambiente mais amplo são exemplos de restrições e incentivos (formais e informais) que, segundo North (1991), são criadas socialmente com vistas às interações políticas, econômicas e sociais (North, 1991) – nesse caso a interação se dá entre diversos atores em prol da inovação tecnológica.

Edquist e Johnson (1997) oferecem uma definição de instituições que visa a captar a característica da aprendizagem interativa (*learning by interacting*) subjacente ao conceito de sistema nacional de inovação, característica essa que estabelece a ligação do conceito com as inovações. Assim, para esses autores “instituições são conjuntos de hábitos comuns, rotinas, práticas estabelecidas, regras ou leis que regulam as relações e interações entre indivíduos e grupos” (1997, p. 46).

A abordagem de sistema nacional de inovação, por sua vez, deu origem, nos anos 1990, a novas vertentes que enfatizaram as características sistêmicas da inovação, porém com foco em níveis de análise diferentes do estado nação (Lundvall, Johnson, Andersen & Dalum, 2002). Os sistemas de inovação passaram então a ser estudados em nível regional, setorial e tecnológico, o que fez emergir uma literatura específica, respectivamente, em sistemas regionais de inovação (Cooke, Uranga & Etxebarria, 1997), sistemas setoriais de inovação (Malerba, 2002; 2003) e sistemas tecnológicos (Carlsson & Stankiewicz, 1995). Em todas essas extensões teóricas da abordagem de sistema nacional de inovação, o conceito de instituições constitui um dos elementos teóricos fundamentais de sua formulação, conforme será descrito a seguir.

Em 1997, Cooke et al. (1997) publicaram o artigo em que propõem o conceito de sistemas regionais de inovação como alternativa à abordagem de sistema nacional de inovação. A proposta dos autores é voltada para a validade e pertinência do nível nacional como base para a análise dos processos de inovação, colocado em dúvida por conta do relato que Malerba (1993) fez sobre o sistema nacional de inovação italiano. O estudo desse autor chama a atenção, pois, apesar de fazer parte de um livro organizado por Nelson (1993), dedicado exclusivamente aos sistemas nacionais de inovação, e usar essa abordagem para a análise de dados empíricos,

revela que os ciclos virtuosos da inovação ocorrem localmente em aglomerações regionais (*clusters*), altamente interativas de pequenas e médias firmas, em vez de nas grandes corporações.

Assim, baseados no que seria uma inadequação do conceito de sistema nacional de inovação, ou seja, a não consideração dos contextos regionais, Cooke et al. (1997) tomam a região, e não a nação, como o nível por meio do qual observam as maneiras em que diferentes setores ou *clusters* interagem com as infraestruturas regionais de governança e apoio à inovação, bem como com os níveis nacional e global. A análise que esses autores fazem é informada pela perspectiva institucional herdada da abordagem de sistema nacional de inovação, com base na qual três formas de instituições são utilizadas para avaliar a capacidade de um sistema regional de inovação – a cultura financeira, a cultura de aprendizagem e a cultura produtiva.

O trabalho de Cooke et al. (1997) não apresenta uma definição do conceito de sistema regional de inovação, mas apenas algumas dimensões em que o fenômeno da inovação, visto sob a perspectiva sistêmica regional, pode ser estudado. Doloreux e Parto (2004, p. 3) contornam esse problema, definindo sistema regional de inovação como o “conjunto das interações entre interesses privados e públicos, instituições formais e outras organizações que funcionam de acordo com arranjos organizacionais, institucionais e relacionamentos, que contribuem para a geração, uso e disseminação do conhecimento”, ressaltando, no entanto, que o conceito de sistema regional de inovação não tem definições comumente aceitas. Doloreux e Parto (2004) incorporam as instituições como elemento da definição de sistemas regionais de inovação. Além disso, esses autores consideram as instituições como fatores que melhoram o potencial da inovação regional, e que podem e devem ser identificadas e categorizadas pelos pesquisadores do tema, de modo que estes possam focar as instituições-chave em uma dada situação de inovação e, assim, evitem se perder na complexidade analítica que o enfoque mais holístico (nacional) costuma gerar.

Outra extensão do conceito de sistema nacional de inovação surgiu no início dos anos 2000, quando Malerba (2002) apresentou o conceito de sistema setorial de inovação. Fundado teórica e analiticamente na economia evolucionária (Nelson & Winter, 1982), o sistema setorial de inovação é entendido como um conjunto de agentes que desenvolvem interações de mercado e não mercado com vistas à criação, produção e comercialização de produtos setoriais (Malerba, 2004), sendo formado por três blocos constitutivos: (1) conhecimento e tecnologia; (2) atores e redes; (3) instituições.

Segundo Malerba (2004), o bloco do conhecimento e tecnologia refere-se à base de conhecimentos, tecnologias e insumos que formam as características básicas e específicas de qualquer setor produtivo. O bloco de atores e redes diz respeito aos agentes heterogêneos que formam o setor, sejam eles organizações, sejam indivíduos, os quais interagem por meio de processos de comunicação, troca, competição e comando. E o bloco das instituições que abrange normas, rotinas, hábitos, práticas estabelecidas, leis e padrões que moldam a cognição, as ações e as interações dos agentes do setor, entre outros aspectos.

Verifica-se, portanto, a dependência que o conceito de sistema setorial de inovação tem em relação à noção de instituições para ser operacionalizado. Contudo, o enfoque de Malerba (2004) é de natureza específica, pois, embora reconheça a existência e importância das instituições nacionais – por exemplo, o sistema de patentes ou a regulamentação antitruste –, sua ênfase recai sobre as instituições setoriais que surgem como possível resultado de decisões planejadas por firmas e outras organizações ou, simplesmente, como consequência não prevista da interação dos agentes – por exemplo, instituições financeiras ou mercados de trabalho específicos de um setor.

A terceira extensão teórica da abordagem de sistema nacional de inovação, aqui tratada, surgiu antes mesmo que os conceitos de sistema regional de inovação e sistema setorial de inovação fossem elaborados. Em 1991, Carlsson e Stankiewicz (1991) publicaram um trabalho derivado de amplo projeto de pesquisa patrocinado pelo *Swedish National Board for Industrial and Technical Development*, iniciado em 1988, e cujo foco se concentrava nas inovações em áreas tecno-econômicas específicas, resultando no conceito de sistemas tecnológicos (Carlsson, 2006). Um sistema tecnológico, segundo Carlsson e Stankiewicz (1991, p. 94) é definido como “uma rede de agentes que interagem em uma área econômica/industrial específica sob uma infraestrutura institucional particular ou um conjunto de infraestruturas que se envolvem na geração, difusão e utilização da tecnologia”. O foco do conceito de sistema tecnológico está em tecnologias genéricas com aplicações gerais em diferentes indústrias, o que o faz diferir de outras abordagens sistêmicas (Carlsson, Jacobsson, Holmén & Rickne, 2002).

A relevância do aspecto institucional na definição de Carlsson e Stankiewicz (1991) é evidenciada quando estes afirmam que as firmas e as inovações devem ser vistas como partes de um amplo sistema formado por vários agentes, que interagem uns com os outros e no qual a infraestrutura institucional importa. Os autores entendem por infraestrutura institucional o conjunto de arranjos institucionais que, direta ou indiretamente, apoiam, estimulam e regulam

o processo de inovação e difusão da tecnologia. Dada a grande variedade de instituições que podem influenciar a geração, o desenvolvimento, a transferência e a utilização de tecnologias, Carlsson e Stankiewicz (1991) sugerem que é conveniente reuni-las em dois grupos: as instituições econômicas básicas e o papel do governo, e o sistema de produção e distribuição de conhecimento (sistema de P&D).

Para Carlsson e Stankiewicz (1991), o estado-nação constitui uma delimitação geográfica natural para muitos sistemas tecnológicos, embora ressaltem que, às vezes, faz mais sentido tratá-los em nível regional ou local, como é o caso, por exemplo, da Rota 128 ou do Vale do Silício, nos Estados Unidos. Quando as fronteiras dos sistemas tecnológicos são definidas em termos da infraestrutura institucional nacional, conceitualmente, assemelham-se ao conceito de sistema nacional de inovação⁵, mas, ainda assim, há três diferenças, conforme destacam Carlsson e Stankiewicz (1991). Primeira, o conceito de sistema tecnológico refere-se a áreas tecno-industriais específicas, enquanto o sistema nacional de inovação refere-se a todas as áreas como um todo. Segunda, as fronteiras do sistema tecnológico não necessariamente coincidem com as fronteiras nacionais; e, terceira, o foco do conceito de sistema tecnológico reside no problema da adoção e utilização da tecnologia, em vez da geração e distribuição do conhecimento.

Assim, todas as quatro versões sistêmicas (nacional, regional, setorial e tecnológica) de inovação apresentadas consideram as instituições como elemento constitutivo fundamental de suas respectivas definições e abordagens teóricas (Edquist, 2001). Nas palavras de Nelson (2002, p. 265) “os sistemas de inovação são uma concepção institucional por excelência”. Mas, apesar de ser considerada uma variável explanatória chave do sucesso ou fracasso de inovações no âmbito das abordagens sistêmicas de inovação, o conceito de instituições em muitas análises é empregado de forma genérica, frequentemente abordado de maneira implícita (Truffer, Rohrer & Markard, 2009) e predominantemente sob um viés econômico (Wirth, Markard, Truffer & Rohrer, 2013).

A Figura 6 resume as abordagens sistêmicas de inovação apresentadas nesta seção e os respectivos autores citados.

⁵ A esse respeito, Carlsson et al. (2002) acreditam ser possível, pelos menos em princípio, enxergar um sistema nacional de inovação como o agregado de sistemas tecnológicos, sistemas regionais de inovação e sistemas setoriais de inovação.

Temas abordados	Autores citados
Sistemas Nacionais de Inovação	List (1986), North (1991), Lundvall (1992; 2005), Nelson (1993), Freeman (1995), OECD (1997), Edquist & Johnson (1997), Lundvall et al. (2002), Carlsson (2006), Martin (2012), Fargerberg et al. (2012).
Sistemas Regionais de Inovação	Malerba (1993), Cooke et al. (1997), Doloreaux & Parto (2004).
Sistemas Setoriais de Inovação	Nelson e Winter (1982), Malerba (2002; 2004).
Sistemas Tecnológicos	Carlsson & Stankiewicz (1991), Carlsson et al. (2002).

Figura 5: Quadro-resumo das abordagens de sistemas de inovação

Fonte: Elaboração própria.

Na presente pesquisa, a versão da abordagem de sistemas de inovação utilizada para a elaboração do modelo teórico de análise será a de sistemas tecnológicos (Figura 7), particularmente a sua variação conhecida como sistemas tecnológicos de inovação, comumente empregada na análise de sistemas de inovação que emergem em torno de inovações tecnológicas sustentáveis (Markard & Truffer, 2008a; Hekkert et al., 2007a). A próxima seção tratará especificamente dessa abordagem.

Abordagem de Sistemas de Inovação	Conceito
Sistemas Tecnológicos	Rede de agentes que interagem em uma área econômica/industrial específica sob uma infraestrutura institucional particular ou um conjunto de infraestruturas que se envolvem na geração, difusão e utilização da tecnologia.

Figura 6: Abordagem de sistemas de inovação utilizada na pesquisa

Fonte: Carlsson & Stankiewicz (1991)

1.3 Sistemas tecnológicos de inovação e as tecnologias sustentáveis

O interesse no surgimento de novas tecnologias e na mudança institucional e organizacional que ocorrem *pari-passu* com o desenvolvimento tecnológico fez emergir a abordagem de sistemas tecnológicos de inovação (doravante chamada de STI) que, com seus pressupostos teóricos e conceituais, motivou estudos, principalmente, sobre a emergência de setores baseados em tecnologias ditas limpas (Bergek, Hekkert, Jacobsson, Markard, Sandén & Truffer, 2015) ou inovações tecnológicas promotoras da chamada transição para a sustentabilidade (Markard, Raven & Truffer, 2012). O termo STI remonta, originalmente, aos conceitos de sistema tecnológico (Carlsson e Stankiewicz, 1991) e sistema de inovação tecnológica específico (Hekkert et al., 2007a) e foi definido por Markard e Truffer (2008a, p. 611) como “o conjunto de redes de atores e instituições que conjuntamente interagem em um

campo tecnológico específico e contribuem para a geração, difusão e utilização de variantes de uma nova tecnologia e/ou um novo produto”.

Quatro elementos estruturais podem ser identificados na definição de STI: atores, redes (de atores), instituições e tecnologia⁶ (Suurs, 2009; Hekkert, Negro, Heimeriks & Harmsen, 2011). Atores são as organizações que contribuem direta ou indiretamente para o desenvolvimento ou adoção de uma tecnologia como, por exemplo, instituições de produção de conhecimento, organizações educacionais, firmas (ou setores), órgãos governamentais, organizações de apoio e outros atores do mercado (Hekkert et al., 2011). Redes refletem o inter-relacionamento dos atores (Suurs, 2009), constituindo canais para a transferência de conhecimento tácito e explícito (Jacobsson & Bergek, 2004). Instituições, formais ou informais, estipulam as normas e regras que regulam as interações entre os atores (Edquist & Johnson, 1997). Tecnologia diz respeito às estruturas constituídas por artefatos e infraestruturas tecnológicas (Hekkert et al., 2011).

Atores, redes, instituições e tecnologia representam, segundo Suurs (2009), o aspecto estático do STI, uma vez que dizem respeito a fatores que são relativamente estáveis ao longo do tempo. Para Bergek, Hekkert e Jacobsson (2008a), esses elementos permitem conduzir a análise estrutural do STI, mas não necessariamente do seu desempenho, já que não há ligação clara entre os fatores estruturais e os resultados do sistema. Para preencher essa lacuna, Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark e Rickne (2008b) propuseram uma abordagem analítica dinâmica elaborada como nível intermediário que permite conectar a estrutura ao desempenho do sistema por meio do exame das funções, ou processos-chave, servidas pelo STI em questão⁷.

Segundo Bergek et al. (2008a) e Bergek (2002), o conceito de funções em um STI refere-se às contribuições (positivas ou negativas) de um ou mais elementos estruturais para o objetivo geral de desenvolver, difundir e utilizar inovação dentro de um determinado campo tecnológico. Em outras palavras, as funções são categorias de análise que correspondem a tipos de atividades, ou conjuntos de atividades, que contribuem para o objetivo geral do processo de inovação em um STI e permitem com que o foco se concentre na dinâmica do sistema (Suurs,

⁶ Os elementos atores, redes de atores e instituições foram originalmente identificados por Jacobsson e Johnson (2000) e Jacobsson e Bergek (2004), com base na definição conceitual de sistemas tecnológicos oferecida por Carlsson e Stankiewicz (1991). Embora já estivesse implícito nos trabalhos desses autores, o elemento tecnologia foi adicionado ao conjunto de elementos estruturais de um STI por Suurs (2009) e Hekkert et al. (2011).

⁷ Originalmente, essas funções foram reconhecidas pela pesquisadora sueca Anna Johnson (1998) em um estudo que pretendia identificar um ponto de convergência entre as diferentes abordagens de sistemas de inovação. A comparação entre essas abordagens resultou em uma lista de sub-processos centrais ao processo de inovação que foram chamados de ‘funções’ (Bergek, 2012).

2009). A abordagem analítica de Bergek et al. (2008b) é formada por sete funções: experimentação empreendedora, desenvolvimento e difusão de conhecimento; influência sobre a direção da busca; mobilização de recursos; formação de mercado; desenvolvimento de externalidades positivas; e legitimação⁸.

A função experimentação empreendedora diz respeito ao papel do empreendedor em tornar o potencial do novo conhecimento, das redes e dos mercados em ações concretas para gerar e aproveitar novas oportunidades de negócio no STI (Hekkert et al., 2007a). Essa função envolve projetos de empresas voltados para o teste da utilidade da tecnologia emergente em um ambiente de aplicação prática ou comercial conduzidos, geralmente, sob a forma de experimentos ou demonstrações (Suurs, 2009). Empreendedores podem ser novos entrantes com visão de oportunidades de negócios em novos mercados ou empresas incumbentes, que diversificam suas estratégias de negócios para obterem vantagens resultantes de novos desenvolvimentos tecnológicos (Hekkert et al., 2007a).

A função desenvolvimento e difusão de conhecimento envolve as atividades de aprendizado relacionadas principalmente à tecnologia emergente (Suurs, 2009) que, essencialmente, se dividem em aprendizado pela busca (*learning by searching*) e aprendizado pelo fazer (*learning by doing*) (Hekkert et al., 2007a). Essa função capta a amplitude e a profundidade da base de conhecimento (científico e tecnológico) corrente em um STI, como ela muda ao longo do tempo e como o conhecimento é difundido e combinado no sistema (Bergek, Jacobsson, Hekkert & Smith, 2010).

A função influência sobre a direção da busca trata das atividades dentro do STI que moldam as necessidades, exigências e expectativas dos atores em relação, por exemplo, aos aspectos técnicos ou de política pública, e que definem ou não o seu eventual apoio à tecnologia emergente (Suurs, 2009). Ela cobre também os mecanismos que influenciam a direção da busca pelos integrantes do STI por diferentes tecnologias concorrentes, aplicações, mercados ou modelos de negócio (Bergek et al., 2008b).

⁸Hekkert et al. (2007a), inspirados por Johnson (1998), oferecem uma lista de funções parecidas e, segundo eles próprios, harmonizada com o rol de funções proposto por pesquisadores da Chalmers University, entre eles Anna Bergek, a saber: atividades empreendedoras, desenvolvimento de conhecimento, difusão do conhecimento por meio de redes, orientação da busca (pesquisa), formação de mercado, mobilização de recursos, criação de legitimidade/contraposição à resistência à mudança. Anna Bergek foi pioneira em introduzir o conceito de funções de sistemas de inovação para o âmbito das inovações sustentáveis, objeto de estudo da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação (Johnson, 1998).

A função mobilização de recursos trata da alocação de recursos financeiros, materiais e humanos necessários ao desenvolvimento do STI (Suurs, 2009). Em outras palavras, essa função indica a capacidade que o STI tem de financiar investimentos, criar sistemas de produção eficientes e recrutar apropriadamente uma força de trabalho qualificada (Bergek et al., 2007).

A função formação de mercado envolve as atividades que contribuem para a criação de demanda para tecnologias emergentes como, por exemplo, apoio financeiro ao uso da nova tecnologia ou incentivos fiscais e tributários (Suurs, 2009). Tal função é particularmente importante em um STI emergente, ou em transformação, pois nestes casos os mercados para a nova tecnologia podem ainda não existir ou estar subdesenvolvidos (Bergek et al., 2008b).

A função desenvolvimento de externalidades positivas, para Bergek et al. (2008b), refere-se às economias externas pecuniárias e não pecuniárias produzidas pelos processos de inovação e difusão tecnológica e cumpre um papel chave na formação e crescimento do STI. Para esses autores, essas economias externas podem ser identificadas sob a forma de resolução de incertezas, poder político, legitimidade, aglomeração de mercados de trabalho, bem como de fluxos de informação e conhecimento.

Finalmente, a função legitimação envolve a aceitação social e a conformidade com as instituições relevantes, ou seja, refere-se à tentativa por parte dos proponentes da tecnologia emergente em torná-la aceita e desejada por atores relevantes com vistas à mobilização de recursos, criação de demanda e ao fortalecimento político do STI (Bergek et al., 2008b).

Em suma, enquanto os elementos estruturais são os fatores que constituem o STI em um dado momento do tempo, as funções correspondem às atividades dinâmicas que se desenvolvem no sistema ao longo do tempo (Suurs, 2009). A abordagem das funções pode ser usada empiricamente para analisar, conjuntamente, o desempenho do STI com a finalidade de subsidiar a formulação da política pública para o seu suporte (Bergek, 2002) e sua dinâmica evolutiva ao longo tempo (Bergek e Jacobsson, 2003). Nesse último caso, Bergek et al. (2008b) consideram útil dividir a evolução de um STI em dois estágios: o formativo e o de crescimento. Esses autores argumentam ser plausível que a funcionalidade do STI, ou seja, o padrão da dinâmica das suas sete funções básicas seja distinta em cada uma dessas fases, o que também foi demonstrado em estudo empírico realizado por Bergek e Jacobsson (2003).

O estágio formativo do STI é caracterizado por alta incerteza em termos de tecnologias e mercados em que prevalecem, no que diz respeito à inovação, à experimentação e à criação

de variedade (Bergek et al., 2008b). Períodos como esse são, segundo a literatura em inovação, geralmente marcados pela existência de diversos projetos tecnológicos concorrentes, pequenos mercados, muitos entrantes, altas incertezas tecnológicas, mercadológicas e regulatórias (Jacobsson & Bergek, 2004; Afuah & Utterback, 1997; Klepper, 1997). No estágio de crescimento (ou expansão de mercado), o foco é transferido para a expansão do STI e para a difusão de tecnologia em larga escala por meio da formação de mercados de massa. Nesta fase, uma cadeia de ciclos de *feedback* materializa-se fazendo com que as funções dos sistemas de inovação se tornem circulares e se reforcem mutuamente (Jacobsson & Bergek, 2004).

Como os estágios da evolução de um STI, sobretudo o estágio formativo, podem levar anos ou décadas para se desenvolver (Jacobsson & Bergek, 2004; Suurs, Hekkert, Kieboom & Smits, 2010), a utilização das funções do STI é recomendada por Hekkert et al. (2007a) para o estudo longitudinal de casos empíricos – sobretudo de novos sistemas de inovação emergentes – baseados no método processual de análise histórica e sequencial de eventos⁹ (Van de Ven & Poole, 1990; Van de Ven & Huber, 1990; Abbot, 1995). Para Suurs (2009), no estágio formativo, mudanças nos elementos estruturais do STI são esperadas, mas somente se tornam visíveis quando analisadas sob o ponto de vista histórico.

Diversos estudos empíricos têm sido realizados utilizando a abordagem das funções do STI para a análise de inovações na área da energia renovável, tais como a cogeração de eletricidade (Hekkert, Harmsen & de Jong, 2007b), digestão e gaseificação de biomassa (Negro & Hekkert, 2008; Negro, Hekkert & Smits, 2007; Negro, Surrs & Hekkert, 2008; Hellsmark & Jacobsson, 2009), energia eólica (Alkemade, Kleinschmidt & Hekkert, 2007), energia solar (Huang & Wu, 2007; Quitzow, 2015), células de combustível estacionárias (Markard & Truffer, 2008b), captura e armazenagem de carbono (Van Alphen, Hekkert & Turkenburg, 2009; Van Alphen, Ruijven, Kasa, Hekkert & Turkenburg, 2009; Van Alphen, Noothout, Hekkert & Turkenburg, 2010), micro geração combinada de energia e calor (Jacobsson, 2008; Hudson, Winkler & Allen, 2011; Praetorius, Martiskainen, Sauter & Watson, 2010) e biocombustíveis (Suurs & Hekkert, 2009a, 2009b; Hillman, Suurs, Hekkert & Sandén, 2008).

Esses e outros estudos contribuíram para atrair a atenção para a abordagem de STI que desde 2008, quando foi formalmente definida por Markard e Truffer (2008a), tem recebido diversos desenvolvimentos conceituais, bem como críticas (Markard, Hekkert & Jacobsson,

⁹Vários trabalhos foram conduzidos seguindo essa orientação. Para se ter uma lista mais ampla dos estudos empíricos que utilizam a abordagem das funções do STI, recomenda-se a leitura de Bergek (2012).

2015). A STI tem sido criticada por dar pouca atenção a fatores contextuais, pela dificuldade em delinear seus limites e identificar as estruturas relevantes no contexto do sistema, pela negligência de aspectos espaciais (geográficos), por gerar dúvidas sobre sua utilidade como abordagem para o estudo de transições sociotécnicas, pela pouca atenção dedicada à dimensão política e, finalmente, por seu uso na elaboração de recomendações de política pública (Markard et al., 2015).

A Figura 8 oferece a síntese dos temas tratados nesta seção.

Temas abordados	Autores citados
Conceitos de Sistemas Tecnológicos de Inovação	Carlsson & Stankiewicz (1991), Markard & Truffer (2008a), Suurs (2009), Hekkert et al. (2011), Bergek et al. (2008a), Jacobsson & Johnson (2000), Jacobsson & Bergek (2004).
Funções de Sistemas Tecnológicos de Inovação	Bergek et al. (2008b), Bergek (2002), Johnson (1998), Bergek (2012), Bergek & Jacobsson (2003).
Estágios da evolução de Sistemas Tecnológicos de Inovação	Bergek et al. (2008b), Jacobsson & Bergek (2004), Afuah & Utterback (1997), Klepper (1997).
Método processual de análise histórica e sequencial de eventos	Van de Ven & Poole (1990), Van de Ven & Huber (1990), Abbot (1995).
Estudos empíricos em Sistemas Tecnológicos de Inovação	Hekkert et al. (2007b), Negro et al. (2007; 2008), Hellsmark & Jacobsson (2009), Alkemade et al. (2007), Huang & Wu (2007), Quitzw (2015), Markard & Truffer (2008b), Van Alphen et al. (2009a; 2009b; 2010), Jacobsson (2008), Hudson et al. (2011), Praetorius et al. (2010), Suurs & Hekkert (2009a; 2009b); Hillman et al. (2008).

Figura 7: Quadro-resumo da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação

Fonte: Dados da pesquisa.

Nesta pesquisa, o conceito de sistemas tecnológicos de inovação – variante da abordagem de sistemas tecnológicos – e seus elementos estruturais, particularmente as instituições (Figura 9), formam o modelo de pesquisa a ser utilizado para a análise e interpretação dos dados empíricos.

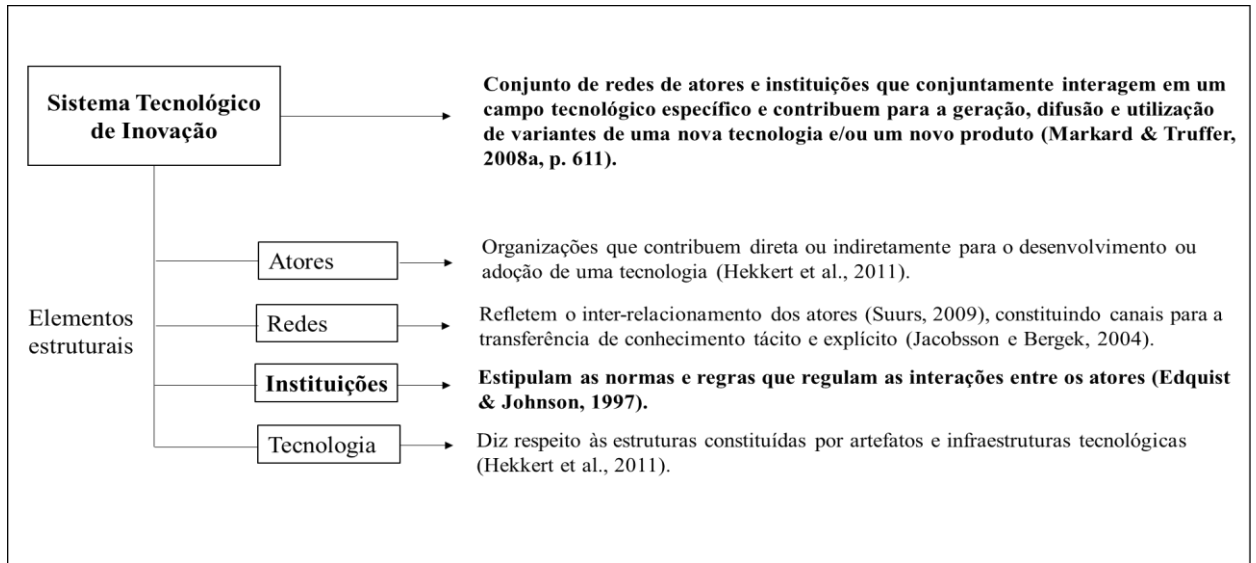


Figura 8: Conceito de sistema tecnológico de inovação e elementos estruturais utilizados na pesquisa

Fonte: Elaboração própria

A abordagem das funções do sistema de inovação, por sua vez, será incorporada ao modelo de pesquisa desta tese como forma de captar a dinâmica da formação do sistema tecnológico de inovação estudado, isto é, o STI do etanol 2G brasileiro. A Figura 10 apresenta as sete funções dessa abordagem e os processos e atividades do STI aos quais se referem.

Funções do sistema de inovação	Processos ou atividades do STI
Experimentação empreendedora	Envolve projetos de empresas voltados para o teste da utilidade da tecnologia emergente em um ambiente de aplicação prática ou comercial conduzidos, geralmente, sob a forma de experimentos ou demonstrações (Suurs, 2009).
Desenvolvimento e difusão do conhecimento	Capta a amplitude e a profundidade da base de conhecimento (científico e tecnológico) corrente em um STI, como ela muda ao longo do tempo e como o conhecimento é difundido e combinado no sistema (Bergek et al., 2010).
Influência sobre a direção da busca	Trata das atividades que moldam as necessidades, exigências e expectativas dos atores em relação, por exemplo, aos aspectos técnicos ou de política pública, e que definem ou não o seu eventual apoio à tecnologia emergente (Suurs, 2009).
Mobilização de recursos	Trata da alocação de recursos financeiros, materiais e humanos necessários ao desenvolvimento do STI (Suurs, 2009).
Formação de mercado	Envolve as atividades que contribuem para a criação de demanda para tecnologias emergentes como, por exemplo, apoio financeiro ao uso da nova tecnologia ou incentivos fiscais e tributários (Suurs, 2009).
Desenvolvimento de externalidades positivas	Refere-se às economias externas pecuniárias e não pecuniárias produzidas pelos processos de inovação e difusão tecnológica e cumpre um papel chave na formação e crescimento do STI (Bergek et al., 2008b).

Legitimação	Envolve a aceitação social e a conformidade com as instituições relevantes, ou seja, refere-se à tentativa por parte dos proponentes da tecnologia emergente em torná-la aceita e desejada por atores relevantes com vistas à mobilização de recursos, à criação de demanda e ao fortalecimento político do STI (Bergek et al., 2008b).
-------------	---

Figura 9: Abordagem das funções do sistema de inovação utilizada na pesquisa
Fonte: Elaboração própria

Para a análise do STI do etanol 2G, o presente trabalho considera como referência dois estudos empíricos: o de Suurs e Hekkert (2009a) e o de Suurs e Hekkert (2009b), ambos dedicados à análise do processo de formação de sistemas tecnológicos de inovação de biocombustíveis. Esses estudos e seus respectivos objetivos e abordagens metodológicas estão descritos na Figura 11.

Estudo empírico	Autores (Ano)/Periódico	Características
Competition between first and second generation technologies lessons from the formation of a biofuels innovation system in the Netherlands	Suurs e Hekkert (2009a)/ Energy	Objetivo: Estudar o desenvolvimento histórico dos biocombustíveis de 1ª e 2ª gerações na Holanda. Abordagem teórica: Sistemas de inovação. Conceitos utilizados: Sistemas tecnológicos de inovação; Funções do sistema de inovação. Método: Pesquisa descritiva. Abordagem analítica: mapeamento e análise de eventos.
Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: the case of biofuels in the Netherlands	Suurs e Hekkert (2009b)/Technological Forecast & Social Change	Objetivo: Contribuir com a base conceitual e metodológica da abordagem de STI por meio do uso de análise dinâmica da formação de sistemas de inovação emergentes, apoiado no emprego do mapeamento e análise de eventos. Abordagem teórica: Sistemas de inovação. Conceitos utilizados: Sistemas tecnológicos de inovação; Funções do sistema de inovação. Método: Pesquisa descritiva. Abordagem analítica: mapeamento e análise de eventos.

Figura 10: Estudos empíricos considerados no modelo teórico-analítico desta pesquisa.

Na seção a seguir, será apresentado o levantamento do estado da arte de estudos dedicados à análise institucional em sistemas de inovação, a fim de se conhecer a extensão e o que tem sido pesquisado nessa linha de investigação.

1.4 Estado da arte da literatura em instituições e sistemas de inovação

Se as instituições estão na base do conceito de sistema de inovação, conforme abordado no capítulo anterior, uma pergunta que parece conveniente é: qual o estado da arte da literatura acadêmica que explicitamente emprega a análise institucional em sistemas de inovação? Visando responder a essa questão, os resultados do levantamento da produção científica sobre esse tema são apresentados a seguir.

Para se conhecer o estado da arte sobre a análise institucional em sistemas de inovação foi realizado um levantamento de artigos publicados entre 2000 e 2016, disponíveis no Portal Periódicos Capes, com suporte nas seguintes bases de dados: *Scopus*, *Emerald*, *Cambridge Journals*, *Wiley*, *Oxford Journals*, *Springer Link*, *Sage*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Scielo*. Foram utilizadas as palavras-chave “instituições”, “teoria institucional”, “análise institucional”, “institucional” e “institucionalismo”, em inglês e português, em conjunto com as seguintes palavras (também em inglês e português): “inovação”, “sistemas de inovação”. O objetivo foi identificar trabalhos que explicitamente tivessem como foco específico de análise a dimensão institucional em sistemas de inovação.

A seleção dos artigos obedeceu aos seguintes critérios: (1) estar relacionado com análise institucional em sistemas de inovação (2); conter os termos de busca no título, resumo ou palavras-chave; (3) ser artigo de natureza empírica; (4) ser artigo revisado por pares. Trabalhos publicados em anais de eventos acadêmicos, ensaios, entrevistas, resenhas e pensatas foram desconsiderados. Trabalhos que continham análises institucionais de inovações ou processos de inovação, mas sem referência a alguma abordagem de sistemas de inovação também foram desconsiderados. Os artigos em que as instituições eram referidas como sinônimo de organizações – prática (ou confusão) que, segundo Edquist e Johnson (1997), não é incomum na literatura de sistemas de inovação –, ou quando não eram o objeto principal da análise dos autores (ainda que o título, resumo ou palavras-chave sugerissem o contrário) foram descartados. Estes dois últimos critérios implicaram na eliminação de 21 trabalhos. Apenas um trabalho de natureza exclusivamente teórica foi identificado, o de Nelson (2002), mas, seguindo o critério de não incluir artigos desse tipo na análise, o mesmo não foi considerado.

Ao todo foram recuperados seis artigos internacionais que atenderam aos critérios de seleção, todos eles publicados no idioma inglês desde 2000 (ano da publicação do primeiro trabalho) até 2016 (ano de publicação do trabalho mais recente). Esse resultado inicial sugere que a análise institucional em sistemas de inovação ainda está em estágio inicial, a julgar pelo

ponto de vista do volume da pesquisa. Predominaram trabalhos produzidos por pesquisadores europeus vinculados a instituições da Holanda, Suíça, Áustria, Suécia e Portugal. Um artigo foi produzido fora da Europa, elaborado por um pesquisador asiático (Taiwan). Os periódicos em que os artigos foram publicados foram: *European Planning Studies*, *Science Technology & Society*, *Technology in Society*, *Industrial and Corporate Change*, *Research Policy* e *Environmental and Societal Transitions*.

1.4.1 Perspectivas teórico-metodológicas

A vertente econômica do neo-institucionalismo foi a corrente teórica mais utilizada, estando presente em quatro dos seis artigos analisados, sendo três no âmbito da abordagem de sistemas nacionais de inovação e um trabalho sob a abordagem de sistemas setoriais de inovação. A vertente sociológica do neo-institucionalismo, por sua vez, foi adotada em dois trabalhos empíricos que analisaram dimensões institucionais no âmbito da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação (Figura 12).

Autores	Vertente Neo-institucional		Abordagem de Sistemas de Inovação		
	Econômica	Sociológica	SNI	SSI	STI
Hung (2000)	X				
Oyelaran-Oyeyinka (2006)	X				
Arora, Romijn & Caniëls (2013)	X				
Pinto & Pereira (2013)	X				
Wirth, Markard, Truffer & Rohracher (2013)		X			
Markard, Wirth & Truffer (2016)		X			

Nota: SNI= Sistemas Nacionais de Inovação; SSI= Sistemas Setoriais de Inovação; STI= Sistemas Tecnológicos de Inovação
Figura 11: Abordagens teóricas dos artigos recuperados

Todos os seis trabalhos teórico-empíricos levantados na bibliometria tiveram como lócus organizações públicas e privadas, seja na esfera nacional, setorial, seja tecnológica. No que diz respeito à metodologia de pesquisa, predominou a abordagem qualitativa, com cinco trabalhos. No tocante à natureza dos dados utilizados nos seis trabalhos, verificou-se um equilíbrio, pois dois utilizaram somente dados secundários, dois serviram-se de dados primários e em dois artigos houve o uso combinado de dados primários e secundários.

Quanto ao recorte temporal, três artigos adotaram recorte longitudinal e três empregaram recorte transversal para analisar os dados. Os artigos distribuíram-se em: dois

estudos de caso, um que envolvia uma unidade de análise e outro que contemplava mais de uma; e quatro estudos amostrais que continham mais de uma unidade de análise.

A respeito da coleta de dados verificou-se que em dois trabalhos prevaleceu a utilização de estatísticas disponíveis em bancos de dados públicos, enquanto a combinação de análise documental e entrevistas foi o recurso adotado para a obtenção de dados em três estudos. No artigo restante constatou-se o uso exclusivo de entrevistas. O procedimento de análise de dados que prevaleceu em todos os seis artigos foi o descritivo.

1.4.2 Resultados

O primeiro estudo identificado no levantamento elaborado foi publicado no ano 2000 por Hung (2000), pesquisador de Taiwan que, conectando as instituições (sob uma perspectiva econômica) ao desenvolvimento industrial, conduziu uma análise do desempenho em inovação e a competitividade da indústria de computadores pessoais taiwanesa. Utilizando a abordagem de sistemas nacionais de inovação como suporte teórico, o artigo de Hung examina a importância de três categorias institucionais: paradigma tecnológico, sociedade nacional como estrutura de dominância econômica e regime de governo, para a análise da inovação em segmentos específicos do setor industrial investigado.

Oyelaram-Oyeyinka (2006), por sua vez, estudou quantitativamente o papel das instituições no processo de desenvolvimento de sistemas de inovação localizados em países africanos em desenvolvimento. Com base no conceito de sistemas nacionais de inovação, esse autor os divide em dois sistemas específicos: um dinâmico que corresponde aos países em desenvolvimento com acelerado crescimento econômico; e outro não dinâmico que corresponde aos países em desenvolvimento. Oyelaram-Oyeyinka entende instituições sob o ponto de vista do neo-institucionalismo econômico – como as regras do jogo formais e informais – e considera que as infraestruturas física e de conhecimento estão enraizadas no contexto institucional de um país, assumindo, portanto, que uma falha infraestrutural pode ser considerada como falha institucional. O autor considera ainda que variáveis infraestruturais equivalem a variáveis institucionais e, sob esse argumento, examinou o impacto do PIB *per capita*, investimento em telecomunicações, posse de computadores pessoais, posse de telefones, matrículas escolares entre outras variáveis (todas entendidas como variáveis institucionais), na difusão da Internet (variável assumida como *proxy* de inovação), em 41 países da África Subsaariana, no período de 1995 a 2000.

Em 2013, foram publicados três trabalhos que fizeram análise institucional em sistemas de inovação: Pinto e Pereira (2013), Arora, Romijn e Caniëls (2013) e Wirth, Markard, Truffer e Rohrachner (2013), nesta ordem.

O artigo de Pinto e Pereira (2013), que faz uso da abordagem de sistemas nacionais de inovação e da análise institucional comparativa (alinhada à vertente neo-institucional econômica), investiga o perfil de inovação de quinze países da União Europeia. A premissa desses autores é a de que diferentes desempenhos econômicos nacionais estão relacionados com quatro blocos institucionais constitutivos (estado, educação, emprego e regime de propriedade intelectual), que impactam o núcleo central dos sistemas nacionais de inovação, a saber, o sistema público e privado de ciência, tecnologia e inovação. Com base nisso, Pinto e Pereira (2013) estabeleceram conjuntos de variáveis quantitativas para dimensões específicas de cada bloco institucional constitutivo e, apoiados por dados estatísticos públicos, conduziram análises que resultaram na identificação de *clusters* de países (ou sistemas nacionais de inovação) com perfis institucionais e de inovação distintos.

O trabalho de Arora et al. (2013) dedica-se à análise institucional do desenvolvimento do setor de biodiesel de *Jatropha* (planta conhecida, entre outros nomes, como pinhão manso), da Tanzânia, adotando, para tanto, o conceito de arranjo institucional e a abordagem de sistemas setoriais de inovação. Apoiados numa visão econômica, esses autores entendem por instituições os costumes locais, as crenças, as normas sociais, bem como o clima político e a regulamentação do comércio internacional. O conjunto de instituições formais e informais é chamado por Arora et al. (2013) de regime institucional. Esse conceito, combinado com a noção de modelo organizacional (modelo de negócio), é aplicado a uma análise histórico-institucional do surgimento e desenvolvimento do setor de biodiesel tanzaniano no período 2000-2009.

O estudo de Wirth et al. (2013) examina, por meio da análise institucional, o desenvolvimento de um segmento emergente da energia renovável austríaca: o biogás. Alicerçados na abordagem de sistemas tecnológicos de inovação, os autores avaliam como os efeitos das instituições formais dependem das estruturas institucionais informais, no contexto da tecnologia emergente do biogás de resíduos agropecuários. O suporte teórico adotado é o do neo-institucionalismo sociológico, particularmente, a classificação de instituições em regulatórias, normativas e cultural-cognitivas, também conhecida como os pilares da teoria institucional.

Apoiados no neo-institucionalismo da vertente sociológica, Markard, Wirth e Truffer (2016) oferecem a mais recente contribuição à análise institucional em sistemas de inovação, entre os trabalhos levantados nessa análise bibliométrica. A exemplo de Wirth et al. (2013), os autores utilizam o caso do biogás austríaco e empregam a abordagem de sistemas tecnológicos de inovação para analisar a interação de estruturas institucionais de contextos e tecnologias específicos. O foco de Markard et al. (2016) concentra-se na legitimidade da inovação tecnológica sob o ponto de vista do alinhamento (ou desalinhamento) da tecnologia focal do biogás em relação aos elementos mais amplos do contexto institucional.

1.4.3 Conclusões sobre o estado da arte da análise institucional em sistemas de inovação

Depreende-se do levantamento do estado da arte aqui realizado que ainda é incipiente a literatura que aplica a teoria institucional, em suas diferentes versões, à análise de sistemas de inovação. Embora o conceito de sistemas de inovação (nacional, regional, setorial ou tecnológico) pressuponha as instituições como um de seus elementos estruturais centrais, estas parecem carecer de mais análises informadas pela teoria institucional. O primeiro trabalho identificado que se propõe a fazê-lo data do ano 2000 e, desde então, até o ano de 2016, apenas outros cinco foram publicados de acordo com as bases de dados utilizadas nesse estudo bibliométrico.

Dos seis trabalhos recuperados, quatro foram publicados nos últimos três anos, sendo que destes, três figuraram em edições de periódicos no ano de 2013 e um em 2016. No rol de artigos identificados, há predominância de análises sustentadas pela teoria neo-institucional da vertente econômica (presente em quatro deles), enquanto a teoria neo-institucional da vertente sociológica aparece em dois trabalhos (um publicado em 2013 e outro em 2016). Das abordagens de sistemas de inovação no âmbito das quais as análises institucionais foram conduzidas, verificou-se a utilização da variante nacional (três trabalhos), da setorial (um trabalho) e da tecnológica (dois trabalhos), ficando ausente, portanto, a variante regional.

Esses achados confirmam Rohracher et al. (2008) e Truffer et al. (2009), quando afirmam que há poucos trabalhos com análises sistemáticas de instituições em diferentes abordagens de sistemas de inovação. Considerando essa carência, o presente estudo alinha-se aos trabalhos de Wirth et al. (2013) e Markard et al. (2016) e, seguindo seus exemplos, adota a teoria neo-institucional sociológica e a abordagem de sistemas tecnológicos de inovação para a

elaboração de um modelo analítico, que será aplicado ao exame da influência das instituições na formação do sistema de inovação, constituído em torno do etanol 2G brasileiro.

1.5 Modelo teórico da pesquisa

O modelo de pesquisa desenvolvido para o cumprimento do objetivo geral que norteia esta pesquisa, ou seja, analisar os vínculos de influência estabelecidos entre as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e as funções do sistema tecnológico de inovação do etanol de segunda geração brasileiro (STI do etanol 2G) ao longo do processo de formação desse sistema, apoia-se na teoria neo-institucional da sociologia organizacional e na abordagem de sistemas de inovação – particularmente a variante da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação.

Com base em Markard e Truffer (2008a), o sistema tecnológico de inovação é definido nesta pesquisa como o conjunto de atores organizacionais, redes (interorganizacionais) e instituições, que interagem em torno de um campo tecnológico específico e que contribuem para a geração, difusão e utilização de uma nova tecnologia e/ou um novo produto. A exemplo de Suurs (2009), considera-se, com base nessa definição, que o sistema tecnológico de inovação é formado por quatro elementos estruturais: atores, redes, instituições e tecnologia.

Pressupõe-se que a estrutura institucional do sistema tecnológico de inovação inclui as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas (Markard et al., 2106), e que estas possibilitam ou dificultam a trajetória da inovação e o desenvolvimento tecnológico do sistema focal ao longo do seu estágio de formação. Assume-se, também, que o estudo de tecnologias emergentes em sistemas tecnológicos de inovação pode beneficiar-se da análise sistemática da interação desses três tipos institucionais, conforme defendem Wirth et al. (2013).

Para os fins desta pesquisa, as instituições regulatórias são as leis, regulamentações e regras formais que governam o comportamento individual e organizacional (North, 1990; Orr & Scott, 2008) e que são criadas e sancionadas por estruturas regulatórias (Scott, 2003; Orr & Scott, 2008). Assim, serão consideradas apenas as instituições regulatórias que tenham relação direta ou indireta com o sistema tecnológico de inovação analisado, tais como aquelas sugeridas por Rohracher et al. (2008), ou seja, leis, decretos e normas técnicas, cujo não cumprimento implique sanções, bem como legislação que dê suporte a programas e políticas de incentivos (subsídios, subvenções, crédito para P&D, mandato, regime tributário).

As instituições normativas são as normas e valores aplicáveis a uma coletividade ou a determinados atores e que especificam os padrões de comportamento individual ou organizacional em termos de expectativas do que deve ser feito, do que é moralmente aceitável ou apropriado (Scott, 1995; Orr & Scott, 2008), segundo o entendimento tácito ou explícito de organizações que compõem o sistema tecnológico de inovação focal. Seguindo recomendação de Rohracher et al. (2008), neste trabalho são consideradas como instituições normativas os padrões de boas práticas, normas de trabalho, convenções e normas e valores mais amplos da sociedade (sociais) e que, por sua vez, não implicam sanções formais como no caso das instituições regulatórias.

As instituições cultural-cognitivas são as lógicas de ação e crenças dadas como certas (*taken-for-granted*), compartilhadas entre indivíduos e organizações, e que fornecem os quadros de referência simbólica que apoiam a atribuição de significado à realidade social (Scott, 2003) por parte das organizações componentes do sistema tecnológico de inovação focal. São consideradas como instituições cultural-cognitivas neste estudo crenças, visões, expectativas, percepções, paradigmas e quadros de referência cognitivos compartilhados pelos atores do sistema de inovação, a exemplo do que sugerem Rohracher et al. (2008).

Considerando que o processo formativo de sistemas tecnológicos de inovação pode ser longo, em alguns casos levando décadas para ser concluído (Jacobson e Bergek, 2004), o modelo aqui construído visa a identificar a influência institucional nessa fase particular da evolução do sistema, geralmente caracterizada por experimentação, criação de variedade tecnológica e alta incerteza em termos de mercados para as tecnologias desenvolvidas (Bergek et al., 2008b).

De acordo com Suurs (2009), mudanças nos elementos estruturais de um sistema tecnológico são esperadas no decorrer de seu estágio formativo, mas, como esse próprio autor observa, tais elementos analisados isoladamente representam apenas fatores estáticos do sistema. Assim, como as instituições constituem um dos elementos estruturais do sistema tecnológico de inovação, considera-se que a análise de sua influência sobre o processo de formação do sistema deva incorporar um enfoque dinâmico que capte não apenas as mudanças institucionais *per se*, mas as mudanças nos demais elementos estruturais. Nesse sentido, o recurso heurístico que parece servir a esse propósito é a utilização da abordagem das funções do sistema tecnológico de inovação, uma vez que tal estrutura analítica pode ser utilizada para o estudo da emergência de novos sistemas de inovação, conforme demonstram Bergek e

Jacobsson (2003), à medida que permite com que o foco da análise se concentre na dinâmica evolutiva do sistema (Suurs, 2009).

A estrutura analítica da dinâmica de um sistema tecnológico de inovação é formada, conforme Bergek et al. (2008b), por sete funções: experimentação empreendedora; desenvolvimento e difusão de conhecimento; influência sobre a direção da busca; mobilização de recursos; formação de mercado; desenvolvimento de externalidades positivas; e legitimação, cujas definições são a seguir apresentadas.

A função experimentação empreendedora corresponde aos projetos patrocinados por empresas com o objetivo de testar e promover o escalonamento da tecnologia emergente em um ambiente de aplicação prática ou comercial, conduzidos, geralmente, sob a forma de experimentos ou demonstrações (Suurs, 2009). Nesta pesquisa, essa função recebeu a nomenclatura de experimentação empresarial/empreendedora de modo a refletir a condução de projetos patrocinados tanto por empresas incumbentes, originárias de outros sistemas de inovação, quanto por novos empreendimentos tecnológicos criados em torno da tecnologia emergente específica, que estrutura o sistema tecnológico de inovação investigado.

A função desenvolvimento e difusão de conhecimento refere-se tanto ao investimento em projetos de pesquisa e desenvolvimento – por meio do aprendizado pela busca (*learning by searching*) e pela prática (*learning by doing*) com o objetivo de produzir variedade tecnológica (tecnologias emergentes) –, quanto à disseminação, troca e aplicação do conhecimento (científico e tecnológico) produzido por meio de redes interorganizacionais existentes no sistema tecnológico de inovação (Suurs, 2009; Hekkert et al., 2007a; Bergek et al., 2010).

A função influência sobre a direção da busca reflete a visão, as expectativas e as crenças dos atores do sistema tecnológico de inovação em relação aos aspectos técnicos e de política pública, associados à tecnologia emergente (Suurs, 2009; Bergek et al., 2008b), formando, assim, um quadro de referência contra o qual as diferentes opções tecnológicas concorrentes, suas aplicações e mercados são avaliadas com vistas à seleção das mais promissoras para futuro investimento (Hekkert et al., 2007a).

A função mobilização de recursos corresponde à alocação de recursos financeiros, materiais e humanos por parte de atores públicos e privados com vistas ao financiamento de investimentos em P&D (pesquisa e desenvolvimento), ao estabelecimento de novos empreendimentos, à infraestrutura e aos ativos complementares e à formação e qualificação de

recursos humanos necessários à criação e desenvolvimento do sistema tecnológico de inovação (Bergek et al., 2007b; Suurs, 2009).

A função formação de mercado diz respeito às atividades desenvolvidas por atores do sistema tecnológico de inovação voltadas à formação de demanda inicial para a tecnologia emergente, seja por meio de estratégias implementadas por firmas, seja por incentivos temporários ou permanentes concedidos via política pública (Suurs, 2009; Hekkert et al., 2007a.).

A função desenvolvimento de externalidades positivas refere-se aos diferentes benefícios sociais ou economias externas (Bergek et al., 2008b), reais ou potenciais, produzidos pela tecnologia emergente e que, do ponto de vista dos atores do sistema tecnológico de inovação, a legitimam e justificam sua adoção.

A função legitimação envolve as atividades que visam à promoção da aceitação (ou rejeição) social da tecnologia emergente e à sua conformidade com as instituições relevantes, com o objetivo de facilitar a mobilização de recursos, criar demanda e fortalecimento político do sistema tecnológico de inovação (Bergek et al., 2008b).

Das sete funções acima descritas, a legitimação e a influência sobre a direção da busca estão, segundo Bergek et al. (2008a), intimamente relacionadas ao arcabouço institucional de um sistema tecnológico de inovação, sendo consideradas de particular relevância para as inovações tecnológicas em energia renovável ou de baixo carbono, como é o caso do etanol 2G. Para esses autores, novas tecnologias precisam ser legitimadas – reconhecidas como confiáveis e desejáveis – por usuários e formuladores de políticas e as expectativas formadas sobre o seu futuro, moldadas pela influência exercida pela função direção da busca, cumprem papel crítico na obtenção de legitimidade para mobilização de recursos para P&D.

O modelo de pesquisa aqui proposto, no entanto, pressupõe que a influência institucional sobre a formação de sistemas tecnológicos de inovação não é apenas verificável por meio dessas duas funções, mas pode e deve ser inferida por meio da análise da vinculação institucional com todas as sete funções do sistema. Para Jacobsson e Bergek (2004), ao se arranjar o material empírico em termos de funções, torna-se possível traçar a maneira pela qual, por exemplo, um arranjo institucional específico molda a geração, difusão e utilização de uma nova tecnologia. Dessa forma, acredita-se que a adoção da abordagem das funções nesta pesquisa oferece as condições necessárias para a operacionalização do modelo de pesquisa elaborado, na medida em que permite, retrospectivamente, reconstituir a formação do sistema

tecnológico de inovação e, com isso, identificar e analisar a influência das instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas na sua gênese e transformações ao longo do tempo.

As funções são aqui entendidas como categorias interpretativas da dinâmica evolutiva do sistema tecnológico de inovação – tal como fez Suurs (2009) em sua pesquisa empírica –, servindo, assim, como recurso heurístico para se atingir o objetivo geral de pesquisa. Os componentes conceituais do modelo de pesquisa desta tese são apresentados na Figura 13.

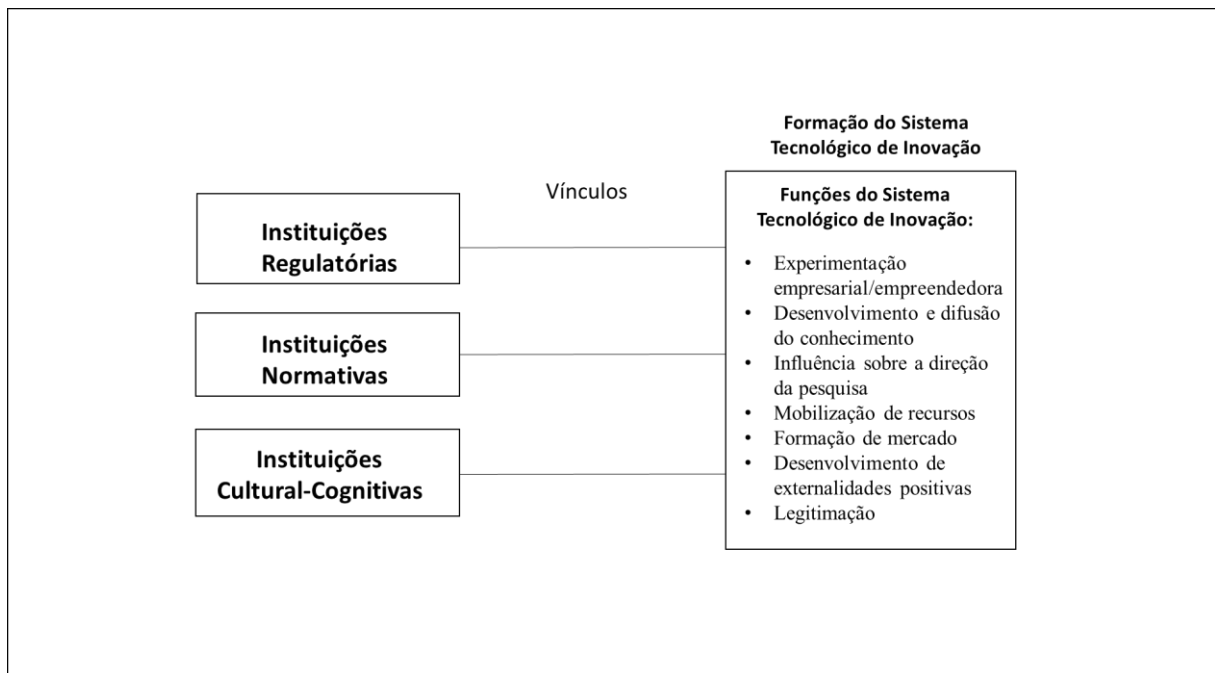


Figura 12: Modelo teórico

CAPÍTULO 2 - MÉTODO

2.1 Tipo de pesquisa

Visando responder à questão norteadora do presente estudo, qual seja, como as instituições se vinculam às funções de um sistema tecnológico de inovação e influenciam as transformações que neste ocorrem ao longo do seu processo de formação?, adotou-se a abordagem de pesquisa qualitativa, que tem por objetivo descrever fatos e fenômenos de uma determinada realidade, o que, segundo Triviños (1987), permite classificá-la como uma pesquisa descritiva. Tendo escolhido esse tipo de pesquisa, optou-se, em seguida, pela estratégia do estudo de caso descritivo para a operacionalização da investigação empírica – decisão que se coaduna com a tradição da pesquisa empírica da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação, tal como se constata nos estudos, por exemplo, de Negro e Hekkert (2008), Negro et al. (2007), Negro et al. (2008), Alkemade et al. (2007), Huang e Wu (2007), Quitzow (2015), Markard e Truffer (2008b), Hudson et al. (2011), Praetorius et al. (2010), Suurs e Hekkert (2009a; 2009b) e Hillman et al. (2008).

O estudo de caso pode ser caracterizado como descritivo, segundo Godoy (2010, p. 124), “quando representa um relato detalhado de um fenômeno social que envolva, por exemplo, sua configuração, estrutura, atividades, mudanças no tempo e relacionamento com outros fenômenos”. Esses aspectos estão presentes no objeto de estudo desta pesquisa, pois serão analisados a configuração e estrutura (elementos estruturais) do STI do etanol 2G brasileiro, suas atividades (funções do sistema), mudanças (formação e transformações do sistema ao longo do tempo) e relação com outros fenômenos (por exemplo, com a influência institucional).

O principal propósito desta pesquisa é captar o processo de formação do STI do etanol 2G e a influência institucional ao longo desse processo. Como fenômenos dessa natureza podem levar muitos anos para serem concluídos (Jacobsson & Bergek, 2004; Suurs et al., 2010), acredita-se que o estudo de caso descritivo seja a estratégia mais apropriada, desde que empregado em recorte longitudinal.

Assim, a fim de se identificar os estágios da formação desse sistema tecnológico de inovação no Brasil, entre 1975 a 2015, foram investigados seus elementos estruturais (atores, redes, tecnologia e instituições), bem como as mudanças por que passaram ao longo desse período, de modo a reconstituir descritivamente as transformações do sistema desde a década de 1970, até o último ano contemplado pela análise. Em conformidade com o objetivo geral da

pesquisa, ênfase particular foi atribuída ao elemento instituições e à sua vinculação e influência no processo formativo do sistema tecnológico de inovação.

2.2 Delineamento do STI do etanol 2G

A questão de como delinear um sistema tecnológico de inovação, ou seja, definir os seus limites, é um tema tido como central nos estudos da área (Markard et al., 2015). Markard e Truffer (2008a) afirmam que delinear um sistema de inovação é tarefa desafiadora, pois, considerando o fato de que sistema é um constructo teórico aplicado e definido em um contexto de pesquisa específico, não há maneira certa ou errada de definir as fronteiras entre o mesmo e seu ambiente. Em outras palavras, não há um único procedimento para se definir o que está dentro e o que está fora do sistema, conforme observa Suurs (2009).

De acordo com Bergek et al. (2008b), delinear um sistema tecnológico de inovação é tentar definir o mais precisamente possível o foco do estudo, o que obriga o pesquisador a fazer escolhas analíticas, que resultarão na determinação de qual sistema será particularmente examinado em termos de sua estrutura e suas funções. Para esses autores, a depender das escolhas do pesquisador, diferentes conjuntos de atores, redes e instituições serão incorporados ao delineamento do sistema tecnológico de inovação.

Uma resposta geral e pragmática sobre como lidar com tais escolhas é a de que o delineamento do sistema de inovação depende, em grande medida, da questão de pesquisa e do propósito da análise (Markard & Truffer, 2008a). Assim, baseado nesse encaminhamento, também adotado no estudo de Suurs (2009), o delineamento do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, estudado neste trabalho, toma como ponto de partida o objetivo geral da pesquisa – analisar os vínculos de influência estabelecidos entre as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e as funções do Sistema Tecnológico de Inovação do etanol de segunda geração brasileiro (STI do etanol 2G), ao longo do processo de formação desse sistema –, bem como seus objetivos específicos, para proceder às escolhas subsequentes que estabelecem os limites desse sistema de inovação.

Assim, seguindo as recomendações de Bergek et al. (2008b), a primeira escolha em relação ao delineamento do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G consiste em decidir se este está estruturado em torno de um campo de conhecimento ou produto. Nesse sentido, para Carlsson et al. (2002) três opções colocam-se para o pesquisador, isto é, decidir-se: por uma tecnologia específica (ou um conjunto de tecnologias relacionadas) no sentido de um campo de conhecimento; por um produto ou um artefato; ou por um conjunto de produtos ou

artefatos concebidos com a finalidade de satisfazer uma função social (transporte ou cuidados com a saúde etc.).

Nesta pesquisa, assumiu-se que o sistema de inovação examinado está estruturado em torno de um conjunto de tecnologias relacionadas, baseadas, principalmente, no campo da biotecnologia industrial e que conformam o processo celulósico de obtenção do etanol 2G, ou seja, sacarificação da biomassa em fase aquosa via hidrólise e fermentação¹⁰ (Amarasekara, 2014). Nesse processo, a celulose e a hemicelulose presentes na estrutura molecular da biomassa são convertidas em açúcares por meio de hidrólise – um tipo de reação química catalisada por ácido concentrado, ácido diluído ou enzimas –, os quais, posteriormente, são fermentados com leveduras apropriadas, resultando no etanol como produto final (Hamelinck et al., 2005). Conforme descrevem Santos et al. (2016), esse é o processo de produção correntemente em uso no Brasil e que segue, basicamente, a configuração esquematizada na Figura 14.

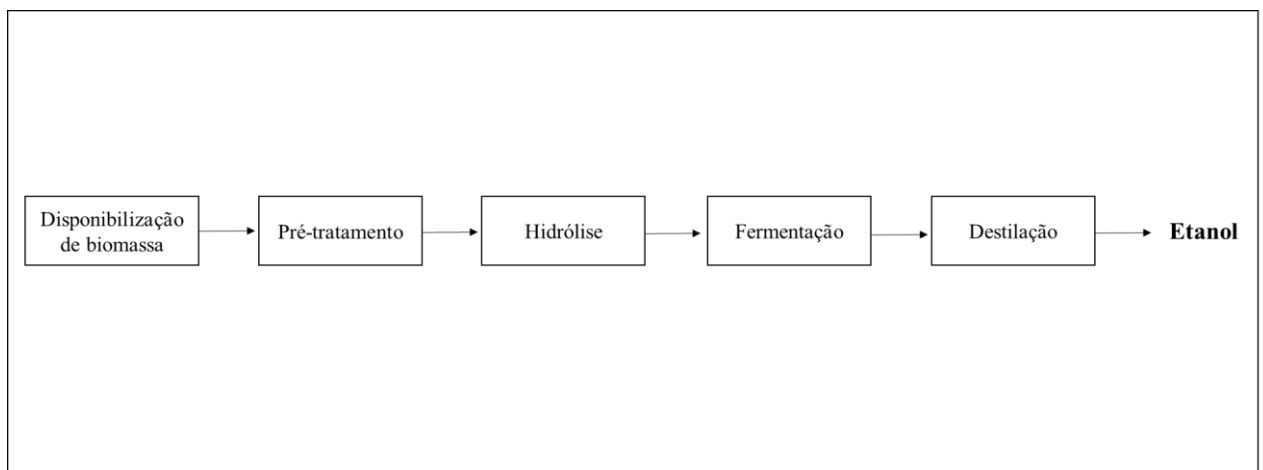


Figura 13: Configuração do fluxo do processo de produção do etanol 2G em uso no Brasil

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2016), Amarasekara (2014) e Hamelinck et al. (2005).

Considerando, portanto, que o etanol 2G é resultado da combinação de diferentes tecnologias inter-relacionadas sequencialmente, decidiu-se analisar as trajetórias tecnológicas da configuração ilustrada na Figura 14, no período 1975-2015, como forma de explicar o processo formativo do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G e a dinâmica de suas

¹⁰ Outra forma de se obter etanol 2G é por meio do processo termoquímico, em que a biomassa lignocelulósica é gaseificada e o gás de síntese obtido (formado por uma mistura de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrogênio) é convertido em etanol por meio da utilização de um catalisador metálico ou bioquímico (Amarasekara, 2013). Essa rota tecnológica não será objeto de estudo da presente pesquisa.

transformações no Brasil, ao longo desse tempo. Tal escolha analítica foi feita objetivando o atingimento do primeiro e do terceiro objetivos específicos desta pesquisa.

Visando ao delineamento do sistema de inovação, foi definida a amplitude e a profundidade do conjunto de tecnologias que o sustentam, conforme recomendam Bergek et al. (2008b). De acordo com esses autores, a amplitude refere-se ao nível de abrangência da tecnologia (ou campo de conhecimento), em torno da qual o sistema de inovação se formou, enquanto a profundidade diz respeito ao alcance de suas aplicações. Assim, sob o ponto de vista da amplitude, a evolução das tecnologias de conversão de biomassa em etanol 2G, no Brasil, será descrita neste estudo de modo a abranger duas rotas tecnológicas específicas de produção de etanol 2G: a rota ácida e a rota enzimática. Já, quanto à profundidade (ou alcance de aplicação) tecnológica, optou-se por limitar o exame de tais tecnologias única e exclusivamente sob o ponto de vista de sua utilização para a produção do etanol 2G.

A delimitação espacial do estudo constituiu a terceira decisão acerca do delineamento do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G. Para Bergek et al. (2008b), embora os sistemas tecnológicos de inovação sejam, em geral, globais, pode haver razões para focar uma parte geograficamente limitada de um sistema particular com o objetivo de capturar aspectos de maior relevância para determinados atores em um contexto nacional ou regional. Isto posto, na presente pesquisa optou-se pelo estudo do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G sob o ponto de vista nacional, a despeito de eventuais conexões existentes com sistemas de inovação e organizações internacionais ou regionais.

A opção pelo enfoque nacional tem como justificativa as mesmas razões apresentadas por Suurs (2009) em sua pesquisa sobre sistemas tecnológicos de inovação na Suécia e na Holanda. Ou seja, a primeira diz respeito ao fato de que a delimitação nacional dos sistemas de inovação evoca, segundo Lundvall et al. (2002), o importante papel das instituições nacionais na determinação do ritmo e direção das atividades inovativas. A segunda razão é que as políticas e as estratégias de inovação emanadas de atores dos sistemas de inovação são formuladas eminentemente em nível nacional. Por último, um enfoque, para além do nacional, resultaria em uma expansão exacerbada da escala da análise, tornando a identificação da dinâmica de formação do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G muito difícil e complexa¹¹.

¹¹ No entanto, o contexto internacional não será de todo desprezado, pois caso seja identificada alguma instituição de origem externa que, eventualmente, tenha sido relevante para a formação do STI do etanol 2G, a mesma será incorporada na análise.

2.3 Universo de estudo

Uma das primeiras providências após o delineamento de um sistema de inovação é identificar os atores que o compõem. Para Bergek et al. (2008b), a identificação dos atores de um sistema tecnológico de inovação deve incluir não somente as firmas ao longo de uma cadeia de valor, universidades e institutos de pesquisa, mas, deve também considerar organismos públicos, organizações de representação de interesses (associações setoriais e organizações não comerciais), capitalistas de riscos, organizações de padronização técnica, entre outros tipos de organizações. O desempenho dessa tarefa permite conhecer o universo de atores a ser estudado e, com base nela, extrair-se, de acordo com critérios definidos pelo pesquisador, uma amostra a ser examinada empiricamente.

Como a presente pesquisa tem um recorte longitudinal que abrange um período de 40 anos, decidiu-se adotar duas perspectivas temporais para a identificação do universo e posterior seleção da amostra dos atores pertencentes ao sistema de inovação, objeto do estudo: uma contemporânea (ou corrente) e outra histórica. O objetivo dessa divisão foi identificar dois conjuntos de atores, dos quais duas amostras correspondentes pudessem ser extraídas para fins de coleta de dados via entrevistas. Assim, procurou-se mapear as organizações relevantes para a pesquisa, cujos representantes pudessem ser acessados para a recuperação de dados relativos às memórias recente e histórica do STI do etanol 2G no Brasil. Essa separação foi útil, principalmente, para orientar a elaboração do conteúdo dos roteiros de entrevistas, cujo enfoque, a depender do tipo de ator pesquisado, foi direcionado para aspectos contemporâneos ou históricos do processo de formação do sistema de inovação no período investigado (1975-2015).

Nessa linha, para a identificação do universo dos atores considerados contemporâneos, definiu-se como critério o seu envolvimento ativo na dinâmica formativa recente do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G brasileiro entre 2014 e 2015 – biênio considerado para fins desta pesquisa como o período corrente ou mais recente do funcionamento do sistema e, para a identificação dos atores considerados históricos, estabeleceu-se como critério o seu envolvimento ativo na dinâmica formativa do sistema de inovação entre 1975 e 2013.

Para não haver ambiguidade na aplicação do critério do envolvimento ativo em ambos os conjuntos de atores, foram considerados ativos aqueles atores que, sob a forma de organizações públicas ou privadas, tenham, no período 2014-2015 ou no período 1975-2013: desenvolvido projetos científicos e tecnológicos sobre etanol 2G; produzido etanol 2G ou

fornecido tecnologias essenciais para sua produção em qualquer escala (laboratório, piloto, demonstração ou comercial); financiado a pesquisa, desenvolvimento, demonstração ou infraestrutura de produção de etanol 2G; regulamentado, fiscalizado ou autorizado a produção e comercialização de etanol 2G; representado interesses coletivos dos atores envolvidos diretamente com etanol 2G; ou, formulado legislação, políticas ou programas públicos de suporte ou restrição à inovação, produção ou demanda de etanol 2G.

Para a identificação do universo de atores contemporâneos, o autor desta tese compareceu, em março de 2014, ao evento anual do setor sucroenergético, Sugar & Ethanol Brazil 2014, no qual o tema etanol 2G foi um dos principais tópicos de discussão e onde representantes de organizações com envolvimento ativo no desenvolvimento tecnológico e institucional desse biocombustível se fizeram presentes. No evento, os atores foram identificados e foi elaborada uma lista inicial com nomes de seis organizações e de seus respectivos representantes. No ano de 2015, uma lista com dezesseis nomes de organizações e de seus representantes foi obtida junto à Secretaria de Inovação do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), lista esta que, no entendimento de um dos gestores do referido órgão, poderia ser considerada como um conjunto representativo de atores relevantes do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G brasileiro em 2015¹².

Portanto, somando-se o número de atores identificados nas listas obtidas junto ao Sugar & Ethanol Brazil 2014 e ao MDIC, obteve-se um rol de 22 nomes de organizações e de seus respectivos representantes, tidos como atores-chave do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G. Entretanto, como a análise das duas listas revelou a existência de cinco nomes que se repetiam, procedeu-se à sua exclusão, o que resultou em uma lista consolidada, que continha dados referentes a dezessete organizações. A fim de se tentar ampliar esse número, recorreu-se à consulta a diversos *sites* de internet, em busca de informações técnicas ou jornalísticas sobre etanol 2G e o envolvimento de organizações públicas e privadas em seu desenvolvimento tecnológico e institucional. Esse esforço resultou na adição de duas organizações às dezessete encontradas anteriormente, o que totalizou um universo de dezenove organizações a serem

¹² Este ministério e esta secretaria, em particular, tem uma participação ativa no sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, conforme poderá ser verificado na análise de resultados. O gestor da Secretaria de Inovação, que forneceu a lista, foi colega de turma de doutorado do autor desta pesquisa e sua tese, que versou sobre a dinâmica da inovação no setor sucroenergético brasileiro, tratou também da inovação em etanol 2G, embora este não fosse o tema central de sua investigação. Além disso, uma de suas atribuições funcionais como gestor é a de acompanhar o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil e no mundo, bem como propor políticas públicas de suporte que contribuam para a inovação tecnológica e viabilidade econômica desse biocombustível avançado nacionalmente.

pesquisadas sobre a dinâmica formativa do STI do etanol 2G. Após a identificação desses atores, emergiu da análise do conteúdo das entrevistas o nome de mais uma empresa, a qual fornece tecnologia para a produção de etanol 2G e que se envolveu ativamente no STI, no biênio 2014-2015, elevando o universo de estudo para vinte organizações.

Para identificar os atores considerados históricos na formação do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, o procedimento empregado foi a análise documental (que será descrita na seção 2.4.1), a qual revelou as organizações que, ao longo do período 1975-2013, participaram ativamente do processo de formação do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, sobretudo nas duas primeiras décadas desse período. Assim, foram identificadas quinze organizações, mas, tal como no caso anterior, o nome de uma organização adicional emergiu da análise do conteúdo das entrevistas. Trata-se de uma empresa estatal criada nos anos de 1980, pelo governo federal, para produzir etanol 2G com base em madeira. Embora tal empresa tenha sido encerrada em 1984, foi possível identificar um de seus ex-diretores, disposto a colaborar com a pesquisa, sendo, então, a organização incorporada ao universo de atores históricos, passando-se a contar com oito organizações identificadas.

Ao fim do processo do mapeamento populacional das organizações componentes do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, ficou evidente que o maior número delas se incluía no rol de atores contemporâneos (20 organizações) frente aos oito atores, identificados como de natureza histórica. Cabe ressaltar, no entanto, que ambas as populações não representam grupos mutuamente exclusivos, pois há atores que, embora tenham sido considerados contemporâneos, podem também ter participado da dinâmica de formação do sistema em anos anteriores a 2014-2015, o que poderia justificar a sua classificação como atores históricos (é o caso, por exemplo, de ministérios do governo federal, agências/fundações governamentais e banco de desenvolvimento¹³). O contrário também ocorre, ou seja, atores considerados históricos que continuaram atuantes na perspectiva contemporânea do sistema (como, por exemplo, algumas universidades). Apesar disso, a separação do universo de atores pertencentes ao sistema tecnológico de inovação em etanol 2G em contemporâneos e históricos mostrou-se útil e conveniente para a condução da pesquisa empírica na medida em que contribuiu para uma coleta de dados historicamente contextualizada da evolução da formação institucional e tecnológica desse sistema.

¹³ Por exemplo, dos 15 atores identificados no grupo histórico, oito deles também pertencem ao grupo contemporâneo. Sua inclusão no grupo histórico deve-se ao fato de terem participado, de alguma forma, do processo de formação do STI do etanol 2G entre 1975-2013.

Com um número total de 36 atores identificados, o passo seguinte foi classificá-los de acordo com sua natureza ou papel no sistema de inovação. Para tanto, adotou-se a seguinte tipologia: empresas produtoras de etanol 2G em escala comercial, empresas fornecedoras de tecnologia para produção de etanol 2G, governo (que subdivide-se em ministérios, agências ou fundações governamentais e banco de desenvolvimento), centros de ciência e tecnologia e universidades e associações de classe. A Figura 15 relaciona essas organizações, segundo o conjunto temporal no qual se inserem e sua tipologia organizacional.

Atores Contemporâneos do Sistema Tecnológico de Inovação em Etanol 2G (2014-2015)	
Natureza dos atores	Universo identificado
Empresas produtoras	2
Empresas fornecedoras de tecnologia de produção	4
Ministérios	6
Agências ou fundações governamentais	2
Banco de desenvolvimento	1
Centros de ciência e tecnologia e universidades	4
Associações de classe	1
Total	20
Atores Históricos do Sistema Tecnológico de Inovação em Etanol 2G (1975-2013)	
Natureza dos atores	Universo identificado
Empresas produtoras	1
Empresas fornecedoras de tecnologia de produção	1
Ministérios	6
Agências ou fundações governamentais	2
Banco de desenvolvimento	1
Centros de ciência e tecnologia e universidades	5
Associações de classe	0
Total	16

Figura 14: Universo de atores identificados como componentes do Sistema tecnológico de inovação em etanol 2G

Dada a relativa dispersão geográfica das 36 organizações identificadas e de seus representantes, anteviu-se a impossibilidade de obter acesso a todas elas, não somente por conta das limitações financeiras para a consecução de tal esforço, mas também em função do tempo que demandaria¹⁴ *versus* tempo disponível para a sua conclusão. Para contornar essa situação e

¹⁴ A maior parte das organizações identificadas estão localizadas em diferentes cidades do estado de São Paulo, enquanto as demais encontram-se sediadas nos estados do Rio de Janeiro, Paraná e Alagoas e Distrito Federal. Considerando que o autor da pesquisa está domiciliado em Goiânia (GO), exceto pela proximidade do Distrito

tornar exequível a pesquisa, decidiu-se, a exemplo do que recomendam Bergek et al. (2008b), adotar a técnica de amostragem bola de neve, de modo que as entrevistas realizadas com representantes de organizações atuantes no sistema tecnológico de inovação gerassem indicações de contatos e entrevistas com representantes de outras organizações dentre aquelas identificadas na Figura 15.

A fim de se estabelecer o tamanho da amostra obtida por essa técnica, adotou-se o critério da saturação (Glaser & Strauss, 2006), ou seja, tendo-se como referência as categorias analíticas do modelo de pesquisa elaborado para este estudo, cessou-se a solicitação de novas indicações de atores quando os dados obtidos se repetiam frequentemente e não mais adicionavam novas propriedades às referidas categorias.

Com a utilização desse procedimento obteve-se uma amostra pesquisada de dezenove atores, formada por dezesseis organizações classificadas como contemporâneas e três organizações classificadas como históricas. A Figura 16 indica a distribuição dessas organizações, de acordo com a sua natureza.

Atores Contemporâneos do Sistema Tecnológico de Inovação em Etanol 2G (2014-2015)			
Natureza dos atores	Universo	Amostra	Organizações da Amostra
Empresas produtoras	2	2	Raízen, GranBio
Empresas fornecedoras de tecnologia de produção	4	4	Novozymes, Beta-Renewables, DSM, Vignis
Ministérios	6	4	MDIC, MME, MAPA, Casa Civil
Agências ou fundações governamentais	2	2	FINEP, ANP
Banco de desenvolvimento	1	1	BNDES
Centros de ciência e tecnologia e universidades	4	2	CTBE, PMGCA-UFAL
Associações de classe	1	1	UNICA
Total	20	16	
Atores Históricos do Sistema Tecnológico de Inovação em Etanol 2G (2014-2015)			
Natureza dos atores	Universo	Amostra	Organizações da Amostra
Empresas produtoras	1	1	COALBRA
Empresas fornecedoras de tecnologia de produção	1	0	N/A
Ministérios	6	0*	N/A
Agências ou fundações governamentais	2	0*	N/A
Banco de desenvolvimento	1	0*	N/A

Federal, o deslocamento aos demais estados implicou custos consideráveis em razão do número de viagens necessárias para se obter acesso a cada organização, cujo representante aceitou conceder entrevista pessoal.

Centros de ciência e tecnologia e universidades	5	2	USP/EEL, UFRJ/Enzitec
Associações de classe	0	0	N/A
Total	16	3	

* Dada a dificuldade de encontrar funcionários de ministérios, agências/fundações governamentais e banco de desenvolvimento que tivessem participado do processo de desenvolvimento do etanol 2G no Brasil, no período 1975-2013, a amostra dessas categorias de atores ficou zerada.

Figura 15: Universo e amostra dos atores componentes do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G

2.4 Coleta de Dados

No presente estudo, os dados foram obtidos com base em: levantamento documental e entrevistas semi-estruturadas. Os procedimentos adotados para operacionalizar cada uma dessas técnicas serão detalhados nas subseções 2.4.1 e 2.4.2, a seguir.

2.4.1 Levantamento documental

A primeira etapa da coleta de dados utilizou a técnica do levantamento documental, com a finalidade de obter dados e informações relativos à história subjacente à formação do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G. A pesquisa documental refere-se ao processo de utilização de documentos como meio de investigação social e envolve a exploração de registros produzidos por pessoas ou organizações (Gibson & Brown, 2009).

A escolha de fontes documentais secundárias foi realizada seguindo-se a estratégia exploratória (Gibson & Brown, 2009), ou seja, tentou-se identificar quaisquer tipos de documentos disponíveis, cujo conteúdo remetesse ao universo de atores referente ao período histórico da pesquisa (ver Figura 10), de modo especial ao seu envolvimento em eventos relacionados à pesquisa, ao desenvolvimento e à produção do etanol 2G, no Brasil, ao longo do período investigado. Definiu-se como documentos elegíveis para análise os de natureza jurídico/legal (leis, decretos, resoluções, portarias), técnica (relatórios e apresentações técnicas, registros de patentes), jornalística (reportagens em jornais e revistas impressos e eletrônicos), corporativa (websites de organizações empresariais e não empresariais, relatórios corporativos, brochuras comerciais) e científica (livros, artigos acadêmicos, artigos científicos e anais de congressos).

Os documentos públicos foram obtidos por meio de websites e bibliotecas físicas ou virtuais e os documentos de natureza privada foram obtidos junto a alguns entrevistados que, com expresso consentimento, os cederam ao pesquisador. Ao todo, foram reunidos 301 documentos, dos quais 216 foram utilizados, efetivamente, na pesquisa. A Figura 17 apresenta uma lista dos tipos documentos utilizados, sua descrição e sua distribuição quantitativa.

Tipo de documento	Descrição	Quantidade
Legislação	Leis, e normas jurídicas infralegais (decretos, resoluções, portarias, autorizações, etc.), publicados ou não em diários oficiais, relacionados direta ou indiretamente ou indiretamente ao etanol 2G.	29
Livros	Livros dedicados integralmente ou contendo capítulos sobre etanol 2G ou, quando for pertinente, ao etanol 1G.	11
Teses/dissertações	Teses e dissertações cujo objeto de estudo seja o etanol 2G ou processos a ele relacionados.	3
Relatórios técnicos	Textos que contenham descrições ou avaliações técnicas de processos, tecnologia, políticas ou de empresas relacionadas direta ou indiretamente ao etanol 2G	20
Artigos	Artigos técnico-científicos sobre etanol 2G e áreas correlatas, publicados em periódicos técnicos e acadêmicos	16
Jornais	Reportagens relacionadas ao etanol 2G publicadas em jornais de circulação nacional ou regional, jornais on-line ou portais de notícias (gerais ou setoriais), bem como em websites de agências de notícias.	31
Revistas	Reportagens relacionadas ao etanol 2G publicadas em revistas de negócios de circulação nacional ou revistas setoriais	11
Websites institucionais ou corporativos	Textos descritivos, informativos ou noticiosos publicados em websites institucionais (organizações sem fins lucrativos) ou corporativos (empresas) que guardem relação direta ou indireta com o etanol 2G	43
Apresentações técnicas	Apresentações exibidas em eventos e que contenham a descrição de tecnologias, infraestruturas, projetos em desenvolvimento ou aspectos econômicos e de política pública relacionados ao etanol 2G.	8
Registros de Patentes	Patentes solicitadas, publicadas ou concedidas que contenham a descrição técnica de processos de produção relacionados ao etanol 2G	18
Diários oficiais	Extratos de convênios, termos de contratos e outros atos administrativos de órgão de governo, publicados em diário oficial, cujo objeto esteja relacionado ao etanol 2G.	4
Planos ministeriais	Planos de ação de políticas públicas, elaborados sob a forma de documentos ou apresentações, relacionados direta ou indiretamente com o etanol 2G	4
Legislação internacional	Leis, e normas jurídicas infralegais (decretos, resoluções, portarias, autorizações, acordos, etc.), de natureza internacional, relacionados direta ou indiretamente ou indiretamente ao etanol 2G brasileiro.	4
Editais	Editais de seleção pública de propostas de projetos pesquisas ou de planos de negócios relacionados ao etanol 2G.	4
Bancos de dados	Planilhas eletrônicas contendo dados históricos de investimentos de recursos financeiros em projetos de P&D relacionados ao etanol 2G.	2
Documentos diplomáticos oficiais	Documentos de alcance internacional produzidos pela órgãos ministeriais de alto escalão relacionados direta ou indiretamente ao etanol 2G.	1

Materiais de comunicação institucional e corporativa	Documentos informativos que contenham a apresentação comercial de produtos ou tecnologias relacionadas à produção de etanol 2G.	4
Anais	Anais de eventos de comunicação científica relacionados direta ou indiretamente ao etanol 2G	2
Transcrição de entrevista televisionada	Transcrição integral de entrevistas gravadas em vídeo relacionadas direta ou indiretamente ao etanol 2G.	1
Total		216

Figura 16: Tipos de documentos utilizados na pesquisa documental

Após a primeira leitura, os documentos reunidos para análise foram submetidos a uma classificação baseada nas dimensões que, segundo Gibson e Brown (2009), ajudam o pesquisador a examinar um documento pela primeira vez, a saber: tempo (ano da publicação), autoria, propósito, público-alvo, relação com outros documentos¹⁵. Com base nessas dimensões, foi possível organizar sistematicamente o acervo documental utilizado em uma planilha eletrônica e, com isso, proceder-se posteriormente à uma análise mais pormenorizada de seu conteúdo a fim de identificar elementos que remetesse as categorias de análise referentes às funções do sistema tecnológico de inovação para, a partir destas, identificar ou inferir, particularmente, às categorias institucionais investigadas¹⁶. A Figura 18 apresenta as categorias utilizadas na condução da pesquisa documental e suas respectivas definições.

Categorias de análise - Instituições	Definição
Instituições regulatórias	Leis, normas infra legais (decretos, portarias, instruções normativas, resoluções, editais etc.) relacionadas direta ou indiretamente com o sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, cujo não cumprimento implique sanções, bem como legislação que dê suporte a programas e políticas formais de incentivos (subsídios, subvenções, crédito para P&D, mandatos ou regime tributário).
Instituições normativas	Padrões de boas práticas, normas de trabalho, convenções e normas e valores mais amplos da sociedade (sociais) que, segundo o entendimento tácito ou explícito de determinados atores, são considerados apropriados para o sistema tecnológico de inovação em etanol 2G.
Instituições cultural-cognitivas	Visões, expectativas, percepções, paradigmas ¹⁷ e quadros de referência cognitiva compartilhados

¹⁵ A essas dimensões foram acrescentados: “título do documento” e “tipo do documento”.

¹⁶ O processo de análise de eventos e de conteúdo empregado para tal análise, incluindo a descrição de cada categoria, será explicitado na Seção 2.5.1.

¹⁷ O termo paradigma é aqui utilizado na acepção de paradigma tecnológico, ou seja, um modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseado em determinados princípios científicos ou em

	pelos atores do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G.
Categorias de análise – Funções do sistema tecnológico de inovação	Definição
Experimentação empreendedora/empresarial	Projetos de empreendedores (<i>startups</i>) e empresas incumbentes voltados para o teste da utilidade da tecnologia emergente em um ambiente de aplicação prática ou comercial conduzidos, geralmente, sob a forma de experimentos ou demonstrações
Desenvolvimento e difusão do conhecimento	Atividades de aprendizado (pesquisa e desenvolvimento) pela busca (<i>learning by searching</i>) e pelo fazer (<i>learning by doing</i>) subjacentes à base de conhecimento do sistema tecnológico de inovação, bem como esse conhecimento é difundido e modificado no sistema.
Influência sobre a direção da busca	Atividades que moldam as necessidades, exigências e expectativas dos atores do sistema tecnológico de inovação em relação à direção da busca por tecnologias concorrentes, aplicações, aspectos técnicos, mercados, modelos de negócios ou política pública e que influenciam o seu eventual apoio à tecnologia emergente em torno da qual o sistema está estruturado.
Mobilização de recursos	Atividades de disponibilização e alocação de recursos (financeiros, materiais e humanos) necessários ao financiamento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, criação de infraestrutura de produção e de formação e recrutamento de força de trabalho qualificada.
Formação de mercado	Atividades orientadas para a criação de demanda para a tecnologia ou produto emergentes no sistema tecnológico de inovação.
Desenvolvimento de externalidades positivas	Economias externas pecuniárias e não pecuniárias produzidas pelos processos de inovação e difusão tecnológica no âmbito do sistema tecnológico de inovação.
Legitimação	Atividades desempenhadas com o objetivo de tornar a tecnologia emergente desejada e aceita socialmente de modo a se obter mobilização de recursos, criação de demanda e fortalecimento político do sistema tecnológico de inovação.

Figura 17: Categorias de análise da pesquisa documental

Fonte: Elaboração própria

tecnologias materiais específicas (Dosi, 1982). Para Dosi e Nelson (2013), os paradigmas tecnológicos, de modo geral, referem-se a aspectos cognitivos compartilhados por profissionais de um campo tecnológico que orientam o que eles pensam acerca do que deve ser feito para avançar uma tecnologia. Esses autores observam ainda que o conceito de paradigma tecnológico abrange aspectos normativos (ou prescritivos), que fornecem critérios para o julgamento do desempenho de uma tecnologia ou para a definição da prática profissional voltada ao desenvolvimento tecnológico. Para efeitos interpretativos da presente pesquisa, o termo paradigma é empregado considerando, essencialmente, seus aspectos cognitivos e, portanto, é utilizado como um indicador de manifestação da categoria de instituições cultural-cognitivas.

2.4.2 Entrevistas semiestruturadas

Neste trabalho recorreu-se à entrevista semiestruturada, baseada em roteiro desenvolvido com categorias de análise definidas. Tendo-se em conta a diversidade de atores atuantes no sistema tecnológico de inovação em etanol 2G, para a presente pesquisa foram elaborados sete roteiros de entrevistas para contemplar a diversidade da amostra relativa ao conjunto contemporâneo de organizações (biênio 2014-2015), a saber: empresas produtoras de etanol 2G e empresas fornecedoras de tecnologia de produção¹⁸ (Apêndice A), ministérios (Apêndice B), agências ou fundações governamentais¹⁹ (Apêndice C e D), banco de desenvolvimento (Apêndice E), centros de ciência e tecnologia e universidades (Apêndice F) e associações de classe (Apêndice G).

Cada um desses roteiros foi elaborado com dois blocos de temas ou assuntos de questionamento. O primeiro bloco temático contém questões específicas para cada tipo de ator pesquisado, voltadas à sua caracterização, envolvimento com o etanol 2G, interações com outros atores do sistema de inovação e suas expectativas em relação ao desenvolvimento desse biocombustível no Brasil. No caso específico das empresas produtoras de etanol 2G e das empresas fornecedoras de tecnologia de produção, o roteiro abarcou dados referentes a aspectos específicos das tecnologias que cada uma opera ou desenvolve. Já o segundo bloco temático, comum a todos os sete roteiros, relacionou-se à cada função da abordagem das funções do sistema tecnológico de inovação e foi desenvolvido com vistas a captar a dinâmica dos elementos estruturais do sistema tecnológico de inovação em etanol 2G: atores, redes de atores, tecnologia e, em especial, instituições.

O teor e a concatenação dos temas do segundo bloco foram submetidos ao julgamento do primeiro entrevistado da pesquisa, que representa um dos ministérios envolvidos ativamente no STI do etanol 2G e é *expert* na abordagem de sistemas tecnológicos de inovação e na abordagem das funções do sistema de inovação, aplicados à análise do setor sucroenergético brasileiro.

¹⁸ Pelo fato de o desafio da pesquisa e desenvolvimento tecnológicos relacionados ao etanol 2G ser um problema comum a esses dois tipos de atores, seja na condição de adotantes, seja de fornecedores de tecnologias emergentes, entendeu-se que um roteiro único para ambos seria suficiente para captar sua participação no processo de formação do sistema tecnológico de inovação.

¹⁹ Nesta categoria de atores foram elaborados dois roteiros distintos em função da natureza de atuação das agências governamentais pesquisada, ou seja, um roteiro para uma agência de regulação e outro para uma agência de fomento à pesquisa, desenvolvimento e inovação. Entendeu-se, portanto, que, em razão da disparidade da finalidade de cada tipo de agência, não seria adequado submeter seus representantes a perguntas específicas iguais.

Para a elaboração de entrevistas com atores pertencentes ao denominado conjunto histórico, do intervalo 1975-2013, foram elaborados dois roteiros (Apêndices H e I), um para os entrevistados de centros de pesquisa de duas universidades e outro para o entrevistado de uma empresa produtora de etanol 2G já extinta.

Para as 19 organizações selecionadas como amostra do sistema tecnológico de inovação, sendo 16 relativas à amostra contemporânea e 3 pertencentes à amostra histórica, foram realizadas, ao todo, 20 entrevistas, entre 12 de agosto de 2015 a 07 de dezembro de 2015 que resultaram em 26 horas e 32 minutos de gravação (Figura 19).

Distribuição de entrevistas por tipo de ator, cargo, sexo e duração – Conjunto Contemporâneo					
Código do Entrevistado	Tipo de ator	Identificação da organização (Localização)	Cargo do entrevistado	Sexo	Duração da entrevista
PROD1	Empresa produtoras de etanol 2G	Raizen (Piracicaba-SP)	Diretoria	M	1h15'
PROD2	Empresa produtoras de etanol 2G	Granbio (São Paulo-SP)	Diretoria	M	0h47'
FORN1	Empresa fornecedora de tecnologia	Novozymes (Curitiba-PR)	Vice-Presidência	M	2h03'
FORN2	Empresa fornecedora de tecnologia	Beta-Renawables (São Paulo-SP)	Gerência	M	1h26'
FORN3	Empresa fornecedora de tecnologia	DSM (São Paulo-SP)	Gerência	M	0h57'
FORN4	Empresa fornecedora de tecnologia	Vignis (Sto. Antonio de Posse –SP)	Diretoria	M	1h25'
ICT1	Centros de C&T e universidades	CTBE (Campinas-SP)	Coordenação	M	2h02'
ICT2	Centros de C&T e universidades	PMGCA-UFAL (Rio Largo-AL)	Coordenação	M	1h40'
ASSOC-A	Associações de classe	UNICA (São Paulo-SP)	Consultoria	M	0h56'
ASSOC-B	Associação de classe	UNICA (Brasília-DF)	Diretoria	M	1h04'
BD	Banco de desenvolvimento	BNDES (Rio de Janeiro-RJ)	Gerência	M	2h01'
AG1	Agências ou fundações governamentais	FINEP (Rio de Janeiro-RJ)	Área Técnica	M	0h47'

AG2	Agências ou fundações governamentais	ANP (Rio de Janeiro-RJ)	Superintendência	M	1h19'
GOV1	Ministério	MDIC (Brasília-DF)	Assessoria	M	1h08'
GOV2	Ministério	MME (Brasília-DF)	Diretoria	M	1h25'
GOV3	Ministério	MAPA (Brasília-DF)	Coordenação	M	1h02'
GOV4	Ministério	Casa Civil (Brasília-DF)	Subchefia Adjunta	M	1h25'
Distribuição de entrevistas por tipo de ator, cargo, sexo e duração – Conjunto Histórico					
ICT3	Centros de C&T e universidades	USP/EEL (Lorena-SP)	Docente	F	1h18'
ICT4	Centros de C&T e universidades	UFRJ/Enzitec (Rio de Janeiro-RJ)	Docente	F	1h06'
PROD3	Empresa produtoras de etanol 2G	Coalbra* (Piracicaba-SP)	Diretoria	M	1h26'
TOTAL	20 Entrevistas				26h32'

*Nota: A empresa Coalbra foi extinta em 1984. A entrevista foi realizada com seu ex-diretor industrial que, atualmente, trabalha como consultor do setor sucroenergético.

Figura 18: Distribuição das entrevistas

Das vinte entrevistas efetuadas, dezenove foram conduzidas pessoalmente e uma ocorreu via teleconferência. Todas as 26 horas e 32 minutos das entrevistas foram registradas por gravador eletrônico, mediante a permissão prévia dos entrevistados, sendo elaboradas anotações de falas consideradas importantes. A transcrição dos dados gerou 329 páginas de diálogos que foram submetidas, no momento apropriado, à análise de conteúdo com apoio do software Atlas.ti.

2.5 Tratamento e Análise dos Dados

Os dados coletados por meio da pesquisa documental e das entrevistas permitiram com que se fizesse uma análise descritiva do processo de formação do STI do etanol 2G, no contexto brasileiro, seguindo-se a cronologia dos eventos mais relevantes, com o objetivo de se explicar como as instituições de natureza regulatória, normativa e cultural-cognitiva influenciaram sua gênese e transformação ao longo do tempo.

Com o objetivo de construir uma descrição histórica do processo de formação do STI do etanol 2G, recorreu-se a duas estratégias propostas por Langley (1999): a narrativa temporal, que envolve a construção de uma história detalhada, descrita com base em dados brutos, e o

escalonamento temporal que se refere à decomposição da narrativa descritiva em períodos sucessivos, como forma de estruturar a descrição de processos temporais, seguindo-se uma lógica progressiva. Neste trabalho, a narrativa temporal da formação do STI do etanol 2G contemplou o intervalo de 1975 a 2015 que, por sua vez, foi escalonado em três períodos sucessivos que emergiram da análise dos dados empíricos. O primeiro período cobriu o intervalo entre 1975 a 1986, o segundo período abrangeu o intervalo 1987-2010 e o terceiro período referiu-se ao intervalo 2011-2015.

Para que o desenvolvimento da narrativa descritiva e o seu posterior escalonamento temporal fossem possíveis, utilizou-se a análise de conteúdo (Bardin, 1986) como forma de se extrair evidências acerca do processo formativo do STI do etanol 2G com base em duas fontes de dados adotadas nesta pesquisa, ou seja, os documentos levantados na pesquisa documental e as transcrições das entrevistas semiestruturadas. A fim de se captar a dinâmica desse processo de formação, a condução da análise de conteúdo foi informada pelas categorias da abordagem das funções do sistema tecnológico de inovação (Bergek et al., 2008b), cuja operacionalização foi apoiada por uma abordagem processual baseada no mapeamento e análise histórica de eventos, conforme recomendam Hekkert et al. (2007a).

De acordo com Suurs (2009), a análise histórica de eventos oferece, por meio da construção de narrativas, a possibilidade de operacionalizar as funções do sistema de inovação ao relacioná-las a eventos específicos, o que permite que estes sejam utilizados como indicadores daquelas. Nesta pesquisa, entende-se por evento cada ocorrência de mudança promovida por um ou mais atores, relacionada aos elementos atores (e redes de atores), instituições e tecnologia, e que possui algum tipo de importância para o sistema tecnológico de inovação em estudo como um todo (Suurs & Hekkert, 2009a), em vez de importância apenas para atores individuais específicos (Suurs, 2009). Inspirada em técnicas analíticas desenvolvidas em estudos conduzidos por pesquisadores do *Minnesota Innovation Research Program* (MIRP), interessados em processos de inovação no nível organizacional ou de redes interorganizacionais (Van de Ven & Poole, 1990), a análise de eventos foi aplicada ao contexto dos sistemas tecnológicos por autores tais como Negro e Hekkert (2008), Negro et al. (2007), Suurs e Hekkert (2009a; 2009b) e Suurs et al. (2010) na análise da inovação em biocombustíveis renováveis.

A exemplo de Suurs (2009), Suurs e Hekkert (2009b) e Suurs et al. (2010) a operacionalização das categorias referentes às funções do STI do etanol 2G nesta pesquisa se baseou na coleta, análise e síntese sistemáticas de dados de eventos seguindo-se três passos:

identificação dos eventos, construção de um banco de dados de eventos e vinculação dos eventos às funções do sistema. O processo de identificação de eventos utilizou como recurso heurístico as funções do sistema tecnológico de inovação que serviram como guias da leitura e análise de conteúdo tanto do acervo documental levantado, como das transcrições das entrevistas semi-estruturadas. Em seguida, construiu-se um banco de dados com o auxílio de uma planilha eletrônica em Excel na qual os eventos identificados no período 1975-2015 foram ordenados cronologicamente (por ano e mês de ocorrência), cada um recebendo uma descrição geral do acontecimento ao qual se refere.

A Figura 14 apresenta os tipos de eventos correspondentes a cada função do STI do etanol 2G utilizados na pesquisa.

Funções do sistema tecnológico de inovação	Definição	Tipos de eventos
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	Projetos de empreendedores (<i>startups</i>) e empresas incumbentes voltados para o teste da utilidade da tecnologia emergente em um ambiente de aplicação comercial ou prática (demonstrações)	Novos entrantes (incluindo firmas estabelecidas diversificadoras), projetos comerciais iniciados e encerrados; projetos demonstrativos iniciados e encerrados
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	Atividades de aprendizado (pesquisa e desenvolvimento) pela busca (<i>learning by searching</i>) e pelo fazer (<i>learning by doing</i>) subjacentes à base de conhecimento do sistema tecnológico de inovação, bem como esse conhecimento é difundido e modificado no sistema.	Estudos, testes de laboratório, experimentos-piloto, alianças e parcerias de P&D, redes de pesquisa, infraestrutura de ciência e tecnologia, patentes, conferências e outros eventos de comunicação científica e tecnológica.
Influência sobre a direção da busca [F3]	Atividades que moldam as necessidades, exigências e expectativas dos atores do sistema tecnológico de inovação em relação à direção da busca por tecnologias concorrentes, aplicações, aspectos técnicos, mercados, modelos de negócios ou política pública e que influenciam o seu eventual apoio à tecnologia emergente em torno da qual o sistema está estruturado.	Resultados de pesquisas e estudos, regulamentações governamentais, políticas públicas, definição de padrões, visões e expectativas sobre o futuro da tecnologia e da P&D, problemas tecnológicos.
Mobilização de recursos [F4]	Atividades de disponibilização e alocação de recursos (financeiros, materiais e humanos) necessários ao financiamento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, criação de infraestrutura de produção e de formação e recrutamento de força de trabalho qualificada.	Investimentos em pesquisa científica e aplicada, financiamento público e privado de P&D (crédito, subsídios, fomento, subvenções), investimentos em plantas de produção,

		formação de recursos humanos.
Formação de mercado [F5]	Atividades orientadas para a criação de demanda para a tecnologia ou produto emergentes no sistema tecnológico de inovação.	Regulamentações e/ou padrões específicos para a nova tecnologia/produto, políticas de apoio à formação de nichos de mercado, incentivos tributários, mandatos, compras governamentais.
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	Economias externas pecuniárias e não pecuniárias produzidas pelos processos de inovação e difusão tecnológica no âmbito do sistema tecnológico de inovação.	Emergência de agrupamentos de mão de obra especializada, surgimento de fornecedores de bens intermediários e serviços especializados, espraiamento de conhecimento para outros setores, Pareceres ou avaliações técnicas de externalidades positivas
Legitimação [F7]	Atividades desempenhadas com o objetivo de tornar a tecnologia emergente desejada e aceita socialmente de modo a se obter mobilização de recursos, criação de demanda e fortalecimento político do sistema tecnológico de inovação.	<i>Lobby</i> profissional, constituição de associações representativas, documentos oficiais de reconhecimento, pareceres/relatórios técnicos de conformidade, coalizões de defesa política.

Figura 19: Tipos de eventos indicadores das funções do STI do etanol 2G.

No decurso da descrição narrativa da formação do STI do etanol 2G, os eventos relevantes identificados foram associados a um ou mais funções, as quais foram referidas utilizando-se a codificação F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7 entre colchetes [], conforme consta da primeira coluna da Figura 20.

Com a descrição da dinâmica da formação do STI do etanol 2G em três períodos específicos do interregno 1975-2015, pôde-se evidenciar ou inferir, com base na narrativa esboçada, a presença das instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e sua influência na gênese e transformação desse sistema de inovação ao longo de todo o seu processo formativo, por meio de sua vinculação a funções específicas. Todo esse processo interpretativo foi baseado nas definições formuladas para cada um dos tipos de instituições e funções consideradas na pesquisa (Figura 18).

A reconstituição narrativa da história da formação do sistema de inovação em estudo permitiu analisar como se deu a coevolução das trajetórias institucional e tecnológica durante o lapso temporal considerado. Esse processo, porém, somente foi levado a efeito com o suporte

da técnica da análise de conteúdo, cuja forma de operacionalização em cada uma das fontes de evidência (documentos e entrevistas) é descrita a seguir.

2.5.1 Análise de conteúdo

A interpretação dos dados coletados por meio da pesquisa documental e das entrevistas foi apoiada pela técnica da análise de conteúdo, cuja utilização auxiliou a identificação de palavras-chave ou frases que remetessem, de forma direta ou indireta, à ocorrência de eventos que pudessem relacionar as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas às funções do STI do etanol 2G em seu processo de formação. Essa técnica foi utilizada em três etapas: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento e interpretação dos resultados (Bardin, 1986). Na pré-análise, o material foi organizado para torná-lo operacional e sistematizar as ideias iniciais. Na etapa da exploração o material foi tratado por meio de codificação, ou seja, por intermédio de sua decomposição e agregação em unidades segmentadas de registro ou de contexto permitindo uma descrição precisa das características pertinentes do conteúdo. Por fim, a etapa do tratamento e interpretação dos resultados obtidos refere-se à obtenção de significados válidos e confiáveis a partir das informações aportadas pela análise dos dados brutos.

As etapas da exploração do material e do tratamento e interpretação dos resultados foram conduzidas com o suporte do software Atlas.ti, cuja utilização permitiu com que trechos das entrevistas transcritas pudessem ser codificadas de acordo com as categorias de análise definidas para esta pesquisa (Figura 18). Seguindo a lógica de funcionamento desse software, os procedimentos adotados foram:

- Criação do arquivo de trabalho, ou Unidade Hermenêutica, no qual os textos das entrevistas transcritas são reunidos;
- Importação dos arquivos de um editor de texto contendo as entrevistas transcritas que, uma vez armazenados na Unidade Hermenêutica, são chamados de documentos primários;
- Inserção dos códigos utilizados para a análise dos documentos primários. No caso desta pesquisa, dez categorias foram empregadas, sendo sete referentes às funções do STI e três correspondentes aos pilares institucionais (instituições regulatórias, instituições normativas e instituições cultural-cognitivas);
- Leitura das transcrições e codificação;
- Geração de relatórios por categorias.

Para a condução do processo de codificação do acervo de entrevistas, optou-se pela função do Atlas.ti chamada de *code-by-list*, por meio da qual o pesquisador atribui códigos pré-definidos no gerenciador de códigos do software a trechos específicos de um texto. Esse procedimento propiciou uma imersão no material transcrito e a ampliação da compreensão dos diferentes pontos de vista dos atores entrevistados acerca do processo de formação do STI do etanol 2G.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados da pesquisa, apresentada nesta seção, inicia-se pela descrição cronológica dos eventos relacionados à formação do STI do etanol 2G brasileiro, com base nas evidências colhidas por meio de levantamento de 216 documentos referenciados numericamente (ver Apêndice J). Trata-se de análise narrativa, baseada nas categorias da abordagem das funções do sistema de inovação, que foi dividida em três períodos específicos do intervalo 1975-2015.

3.1 Período 1975-1986

A formação do STI do etanol 2G, no Brasil, está indissociavelmente ligada à expansão da produção e do uso do etanol de cana-de-açúcar (etanol 1G) no país. Com a eclosão do primeiro choque mundial do petróleo, de 1973/1974, e da consequente crise que este evento causou, o governo militar brasileiro tomou uma série de medidas com o objetivo de desenvolver combustíveis alternativos que pudessem mitigar a alta dependência do país em relação ao petróleo importado e a seus derivados, em especial, a gasolina. Nesse sentido, uma das medidas mais significativas foi a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), por meio do Decreto n. 76.593/1975, de 14 de novembro de 1975 (Doc. 1), que, por sua vez, constituiu o marco legal que alçou o etanol – que desde 1931 era adicionado à gasolina compulsoriamente, em baixas proporções (Doc. 2) – a uma posição estratégica na política energética nacional. O Proálcool criou a base institucional para o estabelecimento de um mercado [F5] para esse biocombustível, legitimou [F7] e proveu recursos [F4] para a sua produção (por empresas novas e existentes) [F1] e consumo, bem como influenciou o direcionamento da busca tecnológica [F3] mediante o apoio a atividades de P&D²⁰ [F2] com foco no aproveitamento integral da cana-de-açúcar e de outras biomassas como fonte de matéria-prima. Dois grandes ideais pareciam guiar o Proálcool, a saber, a procura pela independência energética do Brasil, sobretudo em relação aos combustíveis fósseis importados (o que *per se* refletia razões econômicas), e o nacionalismo tecnológico, ambos defendidos pelo regime militar governante e, especialmente, por José Walter Bautista Vidal, considerado um dos principais artífices do programa (Doc. 3; Doc. 2).

²⁰ Não é objetivo deste trabalho analisar os detalhes do Proálcool, pois seu estudo já foi exaustivamente abordado por diferentes trabalhos como, por exemplo, os de Moraes e Zilberman (2014), Dunham (2009), Shikida e Bacha (1999), Szmrecsányi e Moreira (1991) e Nitsch (1991). Para os fins do presente estudo, esse programa foi identificado como o evento inicial e fundamental para que desdobramentos como desenvolvimentos científicos, tecnológicos e de produção pudessem ocorrer e concorrer para a formação do STI do etanol 2G.

Uma das principais influências para a promulgação do decreto que instituiu o Proálcool adveio do Programa Tecnológico do Etanol (PTE), criado em 1974, por iniciativa da Secretaria de Tecnologia Industrial, vinculada ao Ministério da Indústria e do Comércio (MIC), à época comandada por Bautista Vidal (Doc. 4). Esse programa foi responsável por patrocinar os primeiros estudos de viabilidade econômica da produção e utilização do etanol como substituto de derivados do petróleo (Doc. 5). Em 1975, a equipe gestora do PTE aproximou-se de pesquisadores da Divisão de Açúcar e Fermentação e do Laboratório de Amido do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), centro de pesquisa vinculado ao MIC, localizado no Rio de Janeiro (RJ), e que desde longa data conduzia pesquisas em processos de obtenção de etanol e desenvolvimento de novas matérias primas²¹ (Doc. 4). O estreitamento das relações entre esses grupos culminou, em um primeiro momento, na elaboração conjunta do relatório O Etanol como Combustível, publicado pelo INT, e considerado um dos marcos institucionais do Proálcool (Doc. 6).

Embora admitisse a necessidade de estudos sobre o aproveitamento de outros vegetais, o referido relatório defendia a utilização da mandioca como matéria-prima prioritária para a produção de etanol, pois considerava os riscos de se trocar a dependência do petróleo pela dependência da cana-de-açúcar, cujo derivado, o açúcar, com preços determinados internacionalmente no mercado de commodities, apresentava grande oscilação. Por outro lado, o relatório apontava como justificativa os benefícios socioeconômicos associados à mandioca como, por exemplo, sua tolerância a solos menos férteis, uso de mão de obra não qualificada no plantio e cultivo e possibilidade de plantá-la em pequenas propriedades. A boa acolhida do relatório pelo governo federal fez com que o PTE fosse articulado ao Proálcool e, conseqüentemente, passasse a receber recursos financeiros para a implementação de suas propostas de pesquisa e desenvolvimento [F2] (Doc. 6).

Em 1976, com a nomeação de um dos membros do grupo gestor do PTE como diretor geral do INT, este centro de pesquisa recebeu a incumbência de realizar estudos com etanol de mandioca e, sobretudo, implantar uma usina para a produção desse biocombustível – que, efetivamente, foi construída, no município de Curvelo (MG), em 1977, por meio de parceria com a Petrobras (Doc. 4). Como o aumento da produção de etanol era um dos objetivos principais do PTE, diversos esforços nesse sentido foram realizados no INT, investigando-se,

²¹ Cabe ressaltar que foi nessa instituição que os primeiros testes e pesquisas relacionados à utilização do etanol como combustível automotivo no Brasil foram realizados em 1920, quando ainda se chamava Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (Doc. 4).

além da mandioca, matérias-primas como a cana-de-açúcar, babaçu e componentes da celulose. Em relação a esta última matéria-prima, em particular, destaca-se o trabalho do Laboratório de Proteínas do INT, incorporado como participante do programa após definir como sua linha de pesquisa básica (sem nenhuma vinculação com demandas do setor privado) a obtenção do etanol de madeira²² (Doc. 4). Com isso, deu-se início, em 1976, a um esforço de investigação científica e tecnológica que marcou o princípio da formação do STI do etanol 2G no Brasil [F2].

Como parte das ações desse esforço de pesquisa, o diretor do Laboratório de Proteínas do INT, João Consani Perrone, que era também professor do Departamento de Bioquímica do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), começou a desenvolver o projeto “Aproveitamento integral de recursos renováveis por via hidrolítica”, em 1977, ano em que também viajou à União Soviética para obter mais informações e material bibliográfico sobre hidrólise de madeira [F2] (Doc. 7). Os conhecimentos acumulados por Perrone e sua equipe de pesquisadores, tanto no INT como na UFRJ, foram apresentados naquele mesmo ano, em São Paulo (SP), no seminário “Floresta: potencial energético brasileiro”, evento organizado pela Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS) – patrocinado por Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e Secretaria da Cultura, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo – que contou com cerca de 500 participantes ligados à indústria (público predominante), aos órgãos de governo, às universidades e aos institutos de pesquisa (Doc. 8).

Com a palestra “Os processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis”, aparentemente baseada em um trabalho escrito com o mesmo título, Perrone descreveu os processos laboratoriais e industriais para a obtenção de etanol de madeira por hidrólise ácida²³, de acordo com as tecnologias existentes na Alemanha, Suíça, nos Estados Unidos, no Japão e, em especial, na União Soviética (URSS); analisou a viabilidade econômica dos processos de hidrólise existentes; comunicou o estágio das pesquisas do INT em etanol 2G de madeira [F2]; concluiu que, apesar dos altos custos de produção, não havia outra solução para o Brasil, senão

²² O etanol de madeira, produzido com base na conversão da celulose contida nessa matéria-prima vegetal em açúcares fermentescíveis (ou seja, que podem ser fermentados por leveduras e transformados em etanol), caracterizou a primeira incursão científico-tecnológica, que se fez no Brasil, na direção do etanol 2G, conforme será vista adiante.

²³ A hidrólise enzimática foi abordada marginalmente por Perrone, pois considerava que os processos de hidrólise de celulose, baseados em enzimas, pareciam não ter merecido suficiente interesse da comunidade científica para serem transformados em processo industrial, a despeito de algumas promissoras pesquisas que, à época, estavam em curso no mundo (Doc. 8)

adotar a tecnologia soviética (baseada no processo de hidrólise ácida denominado Scholler²⁴), pelo fato de ser a única utilizada à época em escala industrial e porque processos baseados em hidrólise enzimática ainda não se mostravam viáveis [F3] (Silvicultura, 1977). Perrone considerava conveniente e importante que o Brasil realizasse com urgência investigações químicas e econômicas sobre a utilização de processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis do país. Em razão dessa convicção, o pesquisador anunciou que estava em negociação com autoridades soviéticas para uma possível implantação de sua tecnologia no Brasil, em especial dos seus equipamentos hidrolizadores, já que as demais etapas do processo, como, por exemplo, o crescimento da biomassa e a fermentação, poderiam ser desenvolvidas nacionalmente (Doc. 8).

No sentido contrário às convicções de Perrone, surgia, no mesmo ano em que sua palestra foi proferida, uma iniciativa empresarial nacional baseada em hidrólise enzimática que contou com a participação de recursos governamentais para sua implementação: a criação do empreendimento Bioferm pela Bioquímica do Brasil S.A. (BIOBRÁS) [F1]. Logo após a fundação da BIOBRÁS, em 1976, cujo negócio era o fornecimento de enzimas para as indústrias alimentícia e farmacêutica, seus empreendedores submeteram o projeto de constituição da Bioferm à FINEP, visando à obtenção de recursos para a pesquisa e o desenvolvimento na área de aproveitamento de resíduos celulósicos para a produção de etanol 2G, com foco especial no bagaço da cana-de-açúcar (Doc. 9).

Após a apreciação do projeto, a diretoria da FINEP decidiu não somente apoiá-lo com recursos financeiros, mas tornar-se sócia do empreendimento [F1]. Assim, entre 1977 e 1978, foi implantada, em Montes Claros (MG), a planta-piloto que permitiu desenvolver tecnologia baseada em enzimas para conversão de bagaço de cana-de-açúcar em etanol 2G. Apesar do êxito técnico do processo desenvolvido, análises realizadas indicaram insucesso sob o ponto de vista do retorno econômico devido à alta demanda de energia necessária à operação da planta e ao custo do bagaço (Doc. 9), o que, conseqüentemente, implicou a descontinuação do projeto de hidrólise enzimática²⁵[F1]. No início dos anos 1980, a Bioferm ainda estava ativa, e desenvolvia tanto tecnologia para a produção de antibióticos como tecnologia para a produção

²⁴ Nesse processo, a biomassa (no caso, a madeira) é inserida em percoladores, aquecida a 134° e extraída repetidas vezes com ácido sulfúrico diluído. A solução de açúcares obtida é neutralizada com hidróxido de cálcio, clarificada por filtração e, por fim, é fermentada para a produção de etanol (Doc. 8).

²⁵ Não foi possível identificar no levantamento documental o ano em que a Bioferm abandonou as atividades de P&D em hidrólise enzimática.

de enzimas amilases (Doc. 10), apostando nos incentivos que o Proálcool poderia dar à produção de etanol produzido com materiais ricos em amido, o que não ocorreu.

O ano de 1977 teve importância significativa no campo da comunicação da pesquisa científica sobre etanol, pois foi realizada, na cidade de Piracicaba (SP), a segunda edição do Simpósio Nacional de Fermentação²⁶(SINAFERM), após treze anos decorridos de sua primeira edição em 1964. De acordo com organizadores desse evento, o surgimento do Proálcool, em 1975, motivou grande número de pesquisadores a atuar na área de bioprocessos relacionados ao etanol e, por isso, estabeleceu-se, a partir de 1977, a periodicidade bianual ao simpósio (Doc. 11). Com a reativação do SINAFERM, que, em 2015, completou sua vigésima edição, a pesquisa sobre etanol ganhou um de seus primeiros fóruns científicos especializados, contribuindo, assim, para a geração e a expansão de conhecimentos sobre esse biocombustível, inclusive no tocante a processos relacionados à produção de etanol 2G [F2].

O interesse governamental pela ampliação de conhecimentos sobre etanol 2G aumentava gradativamente no Brasil. Em 1978, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) produziu o estudo “Estado-da-arte da produção de etanol a partir da madeira”, atendendo encomenda do INT e da Petrobras [F2] (Doc. 12). Esse estudo, cujos direitos de propriedade intelectual foram adquiridos pela Secretaria de Tecnologia Industrial do MIC, em 1979, recomendava, em suas conclusões, a montagem e operação de uma planta-piloto no país, com vistas a se obter o domínio da tecnologia de hidrólise que ainda apresentava alto custo frente à tradicional tecnologia de fermentação de mosto de cana-de-açúcar [F3].

Em 1979, ano em que João Consani Perrone faleceu (Doc. 7), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), vinculado ao Ministério da Agricultura (MA), manifestou interesse pelo desenvolvimento da produção do etanol de madeira e, com isso, alguns pesquisadores do INT foram chamados a assessorar o governo e empresas privadas [F2] (Doc. 7). O MA, no âmbito do IBDF, criou naquele ano a Comissão Técnica para o Estudo de Fontes Alternativas de Energia a Partir da Biomassa Florestal com a atribuição de realizar, em curto espaço de tempo, uma avaliação da disponibilidade de tecnologias para a produção de combustíveis com base na madeira e em outros resíduos vegetais [F2] (Doc. 13). O trabalho dessa comissão foi complementado por visitas a instalações de produção na União Soviética e Suíça, acompanhadas de empresários do setor de reflorestamento, bens de capital,

²⁶ A partir de sua décima quinta edição, realizada em 2003, em Florianópolis (SC), o nome desse evento mudou para Simpósio Nacional de Bioprocessos, embora a sigla SINAFERM tenha sido mantida.

representantes do MIC, Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério de Relações Exteriores (MRE) e consultores independentes. Entre os consultores participantes estavam o engenheiro-consultor Sérgio Motta e o professor José Goldemberg, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) (Doc. 14).

Esse esforço subsidiou a decisão do governo de promulgar, em 1979, a Lei 6.768/1979, de 20 de dezembro de 1979 (Doc. 15), que criou a Coque e Álcool de Madeira S.A. (COALBRA), empresa de capital misto, cujo maior acionista era o IBDF [F1]. A constituição dessa empresa, no entanto, ocorreu efetivamente em 7 de fevereiro de 1980 com a publicação do Decreto n. 84.465/1980 (Doc. 16), cuja planta industrial, no município de Uberlândia (MG), somente foi inaugurada em novembro de 1983 (Doc. 17).

Sérgio Motta foi nomeado diretor-presidente da empresa (posição que ocupou de 1981 a 1984) e, entre 1981 e 1982, fez diversas viagens à União Soviética para conhecer o processo russo de hidrólise ácida e estabelecer tratativas para a implantação dessa tecnologia no Brasil (Doc. 17). A cidade visitada foi Leningrado, onde havia uma fábrica que usava a hidrólise ácida em condições precárias. Esse processo foi negociado entre Brasil e União Soviética no âmbito de um acordo de cooperação científica e tecnológica, recebendo financiamento do governo soviético da ordem de US\$ 3,5 milhões [F4] (Doc. 18), para a transferência da tecnologia e importação dos hidrolizadores de titânio, tidos como a parte central do processo (Doc. 19). Como resultado das negociações, em maio de 1981, a COALBRA assinou um tratado com a *Lincensintorg*, agência de transferência de patentes e tecnologias, vinculada ao Ministério do Comércio Exterior soviético, com vistas ao fornecimento de assistência técnica²⁷[F2] para o projeto de engenharia da planta industrial e implantação da tecnologia de hidrólise ácida de madeira (Doc. 21; Doc. 13).

Em 1981, a Revista Ciência e Cultura publicou o estudo “Etanol de madeira: balanço energético” [F2], de co-autoria do professor José Goldemberg (Doc. 22). Nesse trabalho compararam-se os processos de hidrólise russo e suíço e concluiu-se que não havia diferenças significativas entre os dois, mas que a produção de etanol 2G de madeira por hidrólise ácida, para ser competitiva em termos de custos frente ao etanol de cana-de-açúcar, precisaria se vincular a dois aspectos: explorar subprodutos da hidrólise ácida e desenvolver processos que minimizassem os gastos de energia para a produção do etanol 2G. Essas conclusões parecem ter influenciado e justificado a concepção do projeto industrial da COALBRA [F3], na medida

²⁷ Assistência que foi fornecida pelo Instituto de Hidrólise de Leningrado (Doc. 20).

em que este previa a produção de furfural (composto geralmente utilizado como solvente em refinarias de petróleo) como subproduto comercializável, o aproveitamento da lignina para a geração de energia para o próprio processo de produção do etanol da empresa e a produção de coque de lignina para fornecimento à indústria siderúrgica (Doc. 13).

Em novembro de 1983, em meio a um período de expansão acelerada do Proálcool com forte aumento da frota de automóveis movida à etanol, a unidade industrial de demonstração da COALBRA foi oficialmente inaugurada (Doc. 17) com capacidade para, aproximadamente, 10 milhões de litros/ano de etanol de madeira (eucalipto), 500 toneladas/ano de furfural e 70.000 toneladas/ano de lignina (a qual era queimada em caldeira). A construção dessa unidade, que contou com a participação de empresas nacionais de engenharia, teve 75% dos seus equipamentos fornecidos por indústrias brasileiras e os 25% restantes corresponderam ao equipamento adquirido da URSS (Doc. 20).

O projeto COALBRA recebeu investimentos do governo brasileiro estimados em US\$ 8,5 milhões entre 1980 e 1984 [F4] que, somados ao financiamento russo, totalizaram US\$ 12 milhões. Apesar dessa inversão de recursos e da mobilização de recursos humanos no Brasil e na União Soviética – cerca de 300 funcionários entre o decorrer da implantação da unidade industrial até a sua operação (Doc. 19) –, a empresa nunca se mostrou viável economicamente, devido ao alto custo do etanol produzido e falhas de projeto, pois a unidade produzia menos etanol do que consumia de ácido sulfúrico (Doc. 23). Diante disso, o governo federal, em 1986, liquidou a COALBRA por meio do Decreto n. 93.603/1986, de 21 de dezembro de 1986 (Doc. 24), o que fez com que o Estado se afastasse do negócio que sete anos antes era visto como grande oportunidade para o país [F1]. Aparentemente, o processo de criação da COALBRA, em especial o envio da missão governamental à União Soviética com o objetivo de negociar e comprar a tecnologia de hidrólise ácida russa, deu-se ignorando todo o trabalho e os resultados que haviam sido produzidos pela equipe de João Consani Perrone naquela instituição (Doc. 25).

Ao longo do período em que a COALBRA foi constituída e encerrada, entre 1980 e 1986, ocorreram outros eventos paralelos que favoreceram o processo de formação do STI do etanol 2G brasileiro. Esses eventos serão descritos a seguir.

Em 1980, a empresa Dedini S.A. (à época Metalúrgica Dedini S.A.) sinalizou seu interesse pela produção de etanol 2G ao depositar pedido de patente²⁸ (Doc. 26) [F2], junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), de um processo de destilaria por meio do

²⁸ Patente publicada em 28/07/1981.

aproveitamento integral de todos os componentes vegetais (frutas, sucos, grãos, polpa, tronco, galhos, colmos e folhas). Tratava-se de um processo genérico de hidrólise, carente de detalhes técnicos (não explicava o processo de hidrólise, tampouco especificava se esta seria ácida ou enzimática), que, embora pudesse se aplicar a qualquer biomassa vegetal, tinha aparentemente como foco o bagaço de cana-de-açúcar. A ênfase nesse resíduo, em particular, parece fazer sentido considerando que a Dedini atuava (e continua atuando) no fornecimento de bens de capital para usinas de etanol e açúcar e que Dovílio Ometto, acionista e presidente da empresa (e um dos inventores do processo), defendia que a cana-de-açúcar fosse aproveitada integralmente (Doc. 27).

A Aços Villares S.A., outra empresa atuante no setor de bens de capital, assinou, em 1980, contrato com a Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC e com a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – por intermédio da Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC) – para o desenvolvimento do projeto de pesquisa Hidrólise Ácida Contínua²⁹ (Projeto Hydrocon), liderado pelo pesquisador José Carlos Campana Gerez, que consistia em converter resíduos agrícolas (bagaço de cana, sabugo de milho e casca de arroz) em etanol (Doc. 28)[F2]. Com os recursos disponibilizados pela Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC [F4], foi instalada, na UNICAMP, em 1981, uma planta-piloto [F2] que funcionou até o final de 1983, sendo descontinuada mesmo com os testes-piloto apresentando resultados promissores³⁰ (Doc. 29). Apesar de sua interrupção, o projeto Hydrocon gerou duas patentes nacionais do processo de hidrólise ácida contínua, uma em 1981³¹ (Doc. 30) e outra em 1982³² (Doc. 31), depositadas pela Villares e tendo como inventores a equipe técnica do projeto [F2].

Em 1981, com recursos aportados pelo Fundo Nacional de Tecnologia (FUNAT), a Secretaria de Tecnologia Industrial construiu uma usina-piloto de hidrólise ácida de madeira [F2] na cidade de Lorena (SP), nas dependências da antiga Faculdade de Engenharia Química

²⁹ Esse projeto visava a desenvolver uma alternativa aos processos de hidrólise ácida por batelada (não contínuos). Aparentemente, os estágios iniciais do desenvolvimento desse projeto começaram em 1976 com financiamento exclusivo da Aços Villares. Uma vez viabilizada a tecnologia de hidrólise ácida contínua, esse grupo empresarial pretendia comercializá-la junto a usinas de açúcar, onde havia grande quantidade de resíduos agrícolas inutilizados (Doc. 212).

³⁰ Em 1982, o projeto Hydrocon estava pronto para entrar em uma nova fase na qual a Aços Villares construiria uma planta industrial de demonstração com capacidade para produzir 5 mil litros/dia de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar (Doc. 28). Essa planta seria financiada com recursos da Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), mas por razões que não foram possíveis de se identificar no levantamento documental realizado para este trabalho, o projeto não foi adiante.

³¹ Patente publicada em 14/12/1982.

³² Patente publicada em 03/01/1984.

de Lorena (FAENQUIL) (Doc. 4). Essa instituição de ensino havia sido incorporada à estrutura da Secretaria de Tecnologia Industrial em 1978, mediante a Portaria MIC n. 73/1978, de 07 de abril de 1978 (Doc. 32), passando a chamar-se Fundação de Tecnologia Industrial³³ (FTI) e, portanto, já fazia parte da estrutura organizacional daquele órgão ministerial. A usina-piloto tinha capacidade de produzir 500 litros de etanol/dia e foi concebida para aplicar o processo de hidrólise Scholler-Madison, baseado em ácido sulfúrico concentrado, à hidrólise de eucalipto (*Eucalyptus Paniculata*) (Doc. 33). A utilização dessa infraestrutura de pesquisa ocorreu, ao longo dos anos 1980, por meio de pesquisas com hidrólise ácida, tanto de madeira quanto de bagaço de cana-de-açúcar [F2], apoiadas com recursos do FUNAT, fundo que desde 1978 passou a ser gerido pela Secretaria de Tecnologia Industrial³⁴ mediante o Decreto n. 82.618/1978, de 8 de novembro de 1978 (Doc. 34), e cujos recursos, em sua maioria, eram destinados ao fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D) no âmbito do Proálcool [F4] (Doc. 4).

No ano de 1982, a empresa Dedini, decidida a encontrar ou desenvolver uma rota tecnológica para a produção do etanol 2G, iniciou um levantamento bibliográfico junto a especialistas (Doc. 27), visando encontrar estudos técnicos e científicos que servissem de base para se tentar levar a efeito o ideal de Dovílio Ometto de aproveitar integralmente a cana-de-açúcar [F2]. Com base nesse esforço de busca, a empresa optou pelo processo de hidrólise ácida, em vez da hidrólise enzimática, devido à existência de mais patentes no mundo, mais pesquisas realizadas e ao maior conhecimento acumulado. Assim, para melhor entender o funcionamento da hidrólise ácida, a empresa instalou em 1984 um laboratório de bancada para iniciar suas próprias investigações tecnológicas (Doc. 27) [F2].

Embora não tenha sido possível obter acesso a registros que apresentassem datas precisas, as evidências documentais indicam que o ponto de partida para que a Dedini decidisse, de fato, desenvolver o seu processo de hidrólise se deu quando um cientista canadense, Laslo Panzer, especialista em madeira, papel e celulose, apresentou à empresa uma proposta de projeto para a realização da deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar por meio do processo organosolv (baseado na utilização de um solvente orgânico, a acetona, em meio aquoso e ácido diluído), por ele patenteado (Doc. 27; Doc. 29). Após analisar a proposta, a Dedini firmou um

³³ Em 1991 a FTI foi extinta e a FAENQUIL foi incorporada ao sistema estadual de ensino superior do estado de São Paulo, por meio da Lei 7.392/1991 (Doc. 35). Em maio de 2006, a FAENQUIL é extinta e suas atividades acadêmicas de ensino e de pesquisa foram transferidas à USP, passando a se chamar Escola de Engenharia de Lorena (EEL).

³⁴ Esse fundo foi criado pelo Decreto-Lei n. 239, de fevereiro de 1967 (Doc. 36), e até 1978 era gerido pelo INT.

acordo com Panzer para que, no prazo de dois anos, resultados economicamente viáveis fossem atingidos [F2] com a execução do projeto que recebeu o nome ACOS (Álcool Celulósico Organosolv) (Doc. 27).

A tecnologia de hidrólise organosolv, do cientista canadense, ao ser aplicada à remoção da lignina presente no bagaço de cana, não apresentou bons rendimentos quando comparados aos obtidos com madeira. As dificuldades encontradas estavam relacionadas à natureza e ao manuseio do bagaço, matéria-prima desconhecida por Panzer (Doc. 27). Assim, diante do insucesso dos testes realizados em escala de laboratório e da falta de familiaridade do pesquisador com o bagaço de cana-de-açúcar, a Dedini decidiu cancelar o acordo celebrado com o cientista³⁵, optando por dar continuidade ao projeto individualmente [F2], uma vez que o processo organosolv, originalmente desenvolvido por Theodor Kleinert nos anos 1960, para aplicação na indústria de papel e celulose, era uma tecnologia conhecida e com informações disponíveis à época (Doc. 27). Em outras palavras, o processo baseado em patentes de Lazlo Panzer foi reformulado, levando-se em conta as condições brasileiras, e adaptado para uma matéria-prima gerada pelo setor sucroenergético: o bagaço de cana-de-açúcar (Doc. 29).

Porém, antes que o projeto individual da Dedini tivesse seu início, dois pedidos de depósito de patente foram submetidos ao INPI nos meses de maio e agosto³⁶ de 1986 (Doc. 37³⁷ e Doc. 38³⁸) [F2]. Por motivos que a pesquisa documental não pôde identificar, a empresa e o inventor André Guye apresentam-se como titulares dessas patentes, as quais descrevem um processo de produção de etanol e/ou celulose bruta não branqueada por meio de hidrólise. Tal como ocorreu com a primeira patente requerida pela Dedini em 1980, esse processo é descrito de maneira relativamente genérica, pois chama a atenção, por exemplo, a falta da especificação da matéria-prima processada e o tipo de hidrólise a ser aplicado à conversão da mesma. A novidade que, talvez, mereça destaque é a previsão do pré-tratamento da biomassa por meio de ozonólise (reação do gás ozônio com o material a ser pré-tratado ou deslignificado); contudo, parece não ter havido esforços de pesquisa e desenvolvimentos adicionais por parte da Dedini que visassem à viabilização técnica do processo constante dessas patentes.

A hidrólise enzimática, embora tenha sido deliberadamente desconsiderada no âmbito empresarial pela Dedini (assim como também o fizeram o INT inicialmente, a COALBRA e o

³⁵ O ano em que o rompimento desse acordo ocorreu não foi identificado na pesquisa documental.

³⁶ A patente depositada em agosto é uma simplificação do processo descrito na patente depositada em maio.

³⁷ Patente publicada em 22/12/1987.

³⁸ Patente publicada em 17/05/1988.

Projeto Hidrocon), no campo da pesquisa científica, passou a adquirir gradativamente maior relevância no Brasil. Exemplo dessa inflexão tecnológica foi a realização, em outubro de 1983, do I Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas (SHEB) [F2], em Maringá (PR), cerca de um mês antes da inauguração da unidade de demonstração da COALBRA (Doc. 39). Nesse evento, o principal eixo norteador dos trabalhos foi tanto a crise do petróleo como a necessidade de produzir etanol mediante o aproveitamento de resíduos por rota enzimática, tecnologia considerada três vezes superior à rota ácida em termos de rendimento. À luz desse cenário, ao final do seminário, foi produzido um documento-proposta contendo um programa de prioridades e recomendações a seguir, de modo a incentivar (e legitimar) a aplicação da tecnologia de enzimas ou células imobilizadas no Brasil, tanto em nível de pesquisa tecnológica como em nível de plantas-piloto e industriais [F3; F7] (Doc. 39).

Entre as prioridades eleitas pelos participantes do I SHEB como as mais relevantes para o desenvolvimento das tecnologias de hidrólise enzimática no Brasil estavam o pré-tratamento da biomassa (novos processos ou melhoria dos já existentes), a obtenção de complexos enzimáticos mais ativos, o desenvolvimento de tecnologia de reator e a realização de análises econômicas. Em relação às recomendações emanadas do simpósio, as principais foram as seguintes: construção de uma planta-piloto visando ao *scale-up* (escalonamento) do processo de hidrólise enzimática, utilizando prioritariamente o bagaço de cana-de-açúcar; estudo técnico e econômico da centralização ou descentralização da produção de enzimas; maior suporte financeiro para pesquisas básicas; obtenção de apoio político; intercâmbio de informações entre grupos de pesquisa e indústrias (Doc. 39).

O SHEB teve outras duas edições nos anos 1980 (1985 e 1987), sofrendo em seguida uma interrupção de sete anos, de modo que, somente em 1994, a sua quarta edição foi efetivada. O I SHEB, por sua vez, contou com 51 participantes, com predominância de pesquisadores de universidades, além de pesquisadores de uma instituição de pesquisa tecnológica, a FTI de Lorena (SP), e representantes de agências de fomento (CNPq e FINEP) e empresas (Doc. 39). Entre os participantes ligados às empresas, merece destaque Josef Ernst Thiemann, diretor de operações da Bioferm/BIOBRÁS, que, por sua vez, apresentou quatro trabalhos de pesquisa sobre hidrólise enzimática e produção de enzimas (Doc. 39). A atuação da Bioferm nessas duas áreas parece ter sido fundamental para o início das pesquisas em hidrólise enzimática no Brasil, pois, em 1980, a Bioferm/BIOBRÁS já produzia enzimas em escala industrial.

A disponibilidade de enzimas no mercado brasileiro possibilitou várias instituições como INT, Universidade Federal do Ceará (UFC), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT),

Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Universidade de Caxias do Sul (UCS) a pesquisar a hidrólise enzimática (Doc. 40), reduzindo, portanto, os custos dessas investigações científicas [F6]. No entanto, os conhecimentos e a tecnologia de hidrólise enzimática parecem ter ficado confinados apenas aos laboratórios científicos, sem gerar nenhum novo empreendimento comercial para explorá-los ou mesmo projeto de P&D em escala piloto ou de demonstração, a exemplo do que fez a própria Bioferm, em 1977.

Em suma, as funções que caracterizaram o período 1975-1986 e os 39 eventos a elas associados estão apresentados na Figura 21. Os dados sugerem que, entre as funções que mais impulsionaram o processo de formação do STI do etanol 2G brasileiro, destacou-se a função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] com 22 eventos, sendo seguida das funções experimentação empreendedora/empresarial [F1] e influência sobre a direção da busca [F3], ambas com cinco eventos. Para a função mobilização de recursos [F4], foram identificados três eventos, enquanto a função legitimação [F7] apresentou dois eventos. Já as funções formação de mercado [F1] e desenvolvimento de externalidades positivas [F6] apresentaram, ambas, um evento.

Os eventos relativos à função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] indicam que, no primeiro período analisado, a pesquisa tecnológica aplicada, registro de patentes e estudos técnicos, sobretudo em hidrólise ácida, constituíram os principais elementos da gênese do STI do etanol 2G. A função experimentação empreendedora/empresarial [F1] reflete as iniciativas governamental (COALBRA) e privada (Bioferm) na tentativa de produzir etanol 2G, e a função influência sobre a direção da busca está ligada aos eventos que, aparentemente, influenciaram de maneira geral a agenda da P&D sobre esse biocombustível avançado no Brasil. A função mobilização de recursos [F4] agrupa os eventos em que o governo brasileiro promoveu a alocação de recursos ao STI, enquanto a função legitimação [F7] agrega os eventos que justificaram a criação de um mercado de etanol no Brasil e a alocação de recursos governamentais, principalmente na P&D, visando a desenvolver novas matérias primas para a sua produção.

Função	Descrição dos eventos
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool estimulou a produção de etanol 2G por usinas novas ou existentes (1975). • Criação da Bioferm pela BIOBRÁS, parceria com FINEP, para instalação de planta-piloto para hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar (1977-1978). • Insucesso do processo de hidrólise enzimática da Bioferm (s.d.). • Criação da Coque e Álcool de Madeira S.A. (COALBRA), empresa de capital misto, cujo maior acionista era o IBDF (1979). • Decreto de liquidação da COALBRA pelo governo federal brasileiro (1986).
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool incentivou a P&D em etanol 2G, em especial o de madeira (1975). • Programa Tecnológico do Etanol (PTE) articula-se ao Proálcool e passa a canalizar recursos para a P&D em etanol 2G (1975). • João C. Perrone do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) vai à União Soviética conhecer e reunir material bibliográfico sobre etanol de madeira (1977). • João C. Perrone, do INT, apresenta o estado-da-arte das tecnologias de etanol 2G e os resultados das pesquisas do INT para participantes do seminário <i>Floresta: potencial energético brasileiro</i> (1977). • Reativação do SINAFERM, após 13 anos de sua primeira edição (1977). • CETEC produz o estudo <i>Estado da arte da produção de etanol a partir da madeira</i> (1978). • Fundo de Amparo à Tecnologia (FUNAT) passa ser gerido pela Secretaria de Tecnologia Industrial com recursos, em sua maioria, destinados ao fomento à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) no âmbito do Proálcool. (1978). • Pesquisadores do INT são chamados a assessorar o governo federal e as empresas em etanol de madeira (1979). • Criação da Comissão Técnica para o Estudo de Fontes Alternativas de Energia a Partir da Biomassa Florestal, pelo IBDF, para avaliação de disponibilidade tecnológica para produção de etanol de madeira e outros resíduos vegetais (1979). • COALBRA e <i>Lincensintorg</i> assinam tratado para que o governo soviético preste assistência na implantação da hidrólise ácida de madeira no Brasil (1981). • Dedini deposita patente (PI8000394) de um processo de destilaria por meio do aproveitamento integral de todos os componentes vegetais (1980). • Aços Villares S.A. assina contrato com a Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC e com a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), por meio da Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC), para o desenvolvimento do projeto <i>Hidrocon</i> (Hidrólise Ácida Contínua) (1980). • Instituto de Física da USP publica o estudo <i>Etanol de Madeira: Balanço Energético</i> que compara os rendimentos dos métodos suíço e soviético de hidrólise ácida (1981). • Secretaria de Tecnologia Industrial construiu uma usina-piloto de hidrólise ácida de madeira na cidade de Lorena (SP), nas dependências da antiga Faculdade de Engenharia Química de Lorena (FAENQUIL) (1981). • Instalação de planta-piloto na UNICAMP para o desenvolvimento do projeto <i>Hidrocon</i> (1981-1983). • Villares S.A. deposita patentes (PI-8102802 e PI-8203026) do processo de hidrólise ácida contínua (1982). • Dedini inicia levantamento bibliográfico junto a especialistas visando encontrar estudos técnicos e científicos que servissem de base para desenvolvimento de P&D em aproveitamento integral da cana-de-açúcar (1982). • I Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas (SHEB) (1983). • Dedini instala laboratório de bancada para pesquisa sobre hidrólise ácida (1984).

	<ul style="list-style-type: none"> • Dedini assina acordo com cientista canadense para desenvolvimento do projeto ACOS (Álcool Celulósico Organosolv) (s.d.). • Dedini cancela o acordo celebrado com o cientista canadense, optando por dar continuidade ao projeto ACOS individualmente (N.D). • Dedini deposita patentes (PI-8602228 e PI-8603984) do processo de produção de etanol e/ou celulose bruta não branqueada por meio de hidrólise (1986).
Influência sobre a direção da busca [F3]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool, como marco da regulamentação de uma política pública, moldou necessidades e expectativas de atores do STI do etanol 2G (1975). • João C. Perrone do INT afirma a convicção de que não havia outra solução para o Brasil a não ser adotar a rota tecnológica soviética para produção de etanol de madeira (1977). • CETEC, com base em seu estudo <i>Estado da arte da produção de etanol a partir da madeira</i>, recomenda a instalação de uma usina-piloto no Brasil com vistas a se obter o domínio da tecnologia de hidrólise (1978). • Instituto de Física da USP, com seu estudo <i>Etanol de Madeira: Balanço Energético</i> influencia, aparentemente, o projeto de implantação da COALBRA (1981). • Documento-proposta do I SHEB contendo um programa de estratégias e recomendações a adotar em relação à pesquisa em hidrólise enzimática no Brasil (1983).
Mobilização de recursos [F4]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool permitiu a alocação de recursos para a pesquisa científica e aplicada (1975). • Alocação de recursos do Fundo de Amparo à Tecnologia (FUNAT) à P&D em etanol 2G e, em particular, à planta-piloto da Fundação de Tecnologia Industrial (FTI) (1978-1981). • Governo brasileiro investe US\$ 12 milhões na implantação da COALBRA, sendo US\$ 8,5 milhões dos cofres federais e US\$ 3,5 de financiamento da URSS (1980-1984).
Formação de mercado [F5]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool estabeleceu as bases para o desenvolvimento do mercado de etanol combustível no Brasil, gerando demanda também para o etanol 2G (1975).
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de enzimas pela Bioferm, derivada de sua experiência com a planta-piloto de etanol de bagaço de cana-de-açúcar, viabilizou a pesquisa em hidrólise enzimática no Brasil (início dos anos 1980).
Legitimação [F7]	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto do Proálcool legitimou a adoção do etanol como combustível no Brasil, criando condições para a formação de um mercado demandante e a mobilização de recursos para produção e P&D, que favoreceram e justificaram as tentativas de se desenvolver o etanol 2G (1975). • Documento-proposta do I SHEB a fim de se incentivar (e legitimar) a aplicação da tecnologia de enzimas ou células imobilizadas no Brasil, tanto em nível de pesquisa tecnológica como em nível de plantas-piloto e industriais (1983).

Figura 20: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 1975 e 1986

Fonte: Dados da pesquisa

3.2 Análise do período 1: 1975-1986

A análise interpretativa da descrição dos eventos do período 1975-1986, relacionados na Figura 21, permite inferir como se manifestaram as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas na formação do STI do etanol 2G e de que forma influenciaram esse processo (Figura 22). A influência e a vinculação de cada uma das manifestações dessas categorias institucionais com as funções do STI serão tratadas nas seções 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3.

Instituições	Manifestação	Funções do STI do etanol 2G vinculadas
Regulatórias	Decreto n. 76.593 , de 14 de novembro de 1975, que instituiu o Proálcool.	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7
	Portaria MIC n. 73 , de 07 de abril de 1978, que incorporou a FAENQUIL, criando a Fundação de Tecnologia Industrial.	F2
	Decreto n. 82.618 , de 8 de novembro de 1978, que passou a gestão do Fundo Nacional de Tecnologia (FUNAT) à Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC.	F2, F4
	Lei 6.768/1979 , de 20 de dezembro de 1979, Decreto n. 84.465/1980 , de 7 de fevereiro de 1980 e Decreto n. 93.603/1986 , de 21 de dezembro de 1986 relativos à COALBRA.	F1, F2, F4
	Código de propriedade industrial (antiga lei de patentes brasileira n. 5.772/1971).	F2
Normativas	Eficiência econômica (custo e viabilidade econômica) dos processos de conversão de biomassa.	F1, F2, F3, F4, F7
Cultural-Cognitivas	Independência energética como paradigma orientador da concepção do Proálcool.	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7
	Nacionalismo tecnológico como visão compartilhada subjacente à concepção do Proálcool.	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7
	Paradigma da hidrólise ácida como referencial direcionador dos esforços e recursos governamentais, empresariais e da comunidade científica.	F1, F2, F3, F4, F7
	Hidrólise enzimática emerge como paradigma de uma nova comunidade de pesquisadores.	F2, F3, F7

Figura 21: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 1975-1986, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.2.1 Instituições regulatórias

A descrição do processo de formação do STI do etanol 2G, entre 1975 e 1986, revela que diferentes instituições de caráter regulatório tiveram papel decisivo em sua gênese e evolução inicial. O Decreto n. 76.593/75 (1975) que instituiu o Proálcool no Brasil, por exemplo, estabeleceu o marco legal que alçou o etanol a uma posição estratégica na política energética nacional, uma vez que criou as bases para o estabelecimento de um mercado para esse biocombustível [F5]. Além disso, legitimou [F7] e proveu recursos [F4] para a sua produção (por empresas novas e existentes) [F1], consumo e atividades de P&D (inclusive em etanol 2G) [F2] que influenciaram as necessidades e expectativas de diversos atores, sobretudo em relação aos desenvolvimentos tecnológicos para a obtenção desse biocombustível, cujas

pesquisas foram direcionadas para a busca [F3] de diferentes matérias-primas (cana-de-açúcar, mandioca e madeira). Além disso, a criação do Proálcool promoveu externalidades positivas como a estruturação de uma nova cadeia produtiva e o surgimento de profissionais especializados [F6] (inclusive na área de P&D). As funções às quais esse decreto se vinculou foram, portanto, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7.

Do ponto de vista da institucionalização da pesquisa em etanol 2G, a Portaria MIC n. 73, de 07 de abril de 1978, pode ser destacada, pois permitiu a incorporação da FAENQUIL pelo governo federal, criando, assim, a Fundação de Tecnologia Industrial (FTI). Com esse ato, a Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC pôde dar início a um novo estágio nas pesquisas sobre etanol 2G no Brasil, construindo uma planta-piloto em Lorena (SP) que, ao longo dos anos 1980, foi utilizada para geração e difusão de conhecimentos sobre hidrólise ácida [F2]. Essa portaria, como instituição regulatória, vinculou-se à função F2.

Para que as pesquisas na FTI pudessem ser realizadas, foi articulada a promulgação do Decreto n. 82.618, de 8 de novembro de 1978, que passou a gestão do Fundo Nacional de Tecnologia (FUNAT) à Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC. A maioria dos recursos desse fundo eram destinados ao fomento à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) no âmbito do Proálcool. A planta-piloto da Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), em Lorena (SP), e as pesquisas sobre hidrólise ácida nela conduzidas [F2] foram financiadas, principalmente, por esse fundo [F4]. Esse decreto vinculou-se, portanto, às funções F2 e F4.

Para além das pesquisas, o governo federal avançou no sentido de produzir industrialmente o etanol 2G, embora não tenha sido bem-sucedido nessa área. Mas, para que tal iniciativa fosse levada a efeito, ela foi antes institucionalizada juridicamente, por meio da Lei 6.768/79, de 20 de dezembro de 1979, do Decreto n. 84.465 (1980), de 7 de fevereiro de 1980 e do Decreto n. 93.603, de 21 de dezembro de 1986, instrumentos legais que, respectivamente, permitiram criar, constituir e extinguir a COALBRA. Essa legislação marca o início e o fim do empreendedorismo estatal brasileiro na tentativa de produzir etanol 2G de madeira [F1]. Ao longo dos sete anos da experiência com a COALBRA, houve adifusão de conhecimentos práticos no Brasil sobre hidrólise ácida advindos da União Soviética [F2] bem como a mobilização de significativos recursos financeiros e humanos para sua implantação [F4]. As funções vinculadas a essas leis e decreto foram, portanto, F1, F2, F4.

Por último, cabe mencionar que, no rol de instituições regulatórias identificadas, o código de propriedade industrial (antiga lei de patentes brasileira n. 5.772/1971) deve ser

considerado, pois ainda que não tenha sido explicitamente citado ao longo da narrativa descritiva do período 1975-1986, a sua influência estava implícita nas patentes requeridas e publicadas pelo INPI, garantindo, assim, a proteção aos direitos de propriedade sobre o conhecimento gerado [F2] pelos atores do STI do etanol 2G. Essa legislação vinculou-se, portanto, à função F2.

A Figura 23 representa as vinculações entre instituições regulatórias e as funções do STI do etanol 2G, no período 1975-1986.

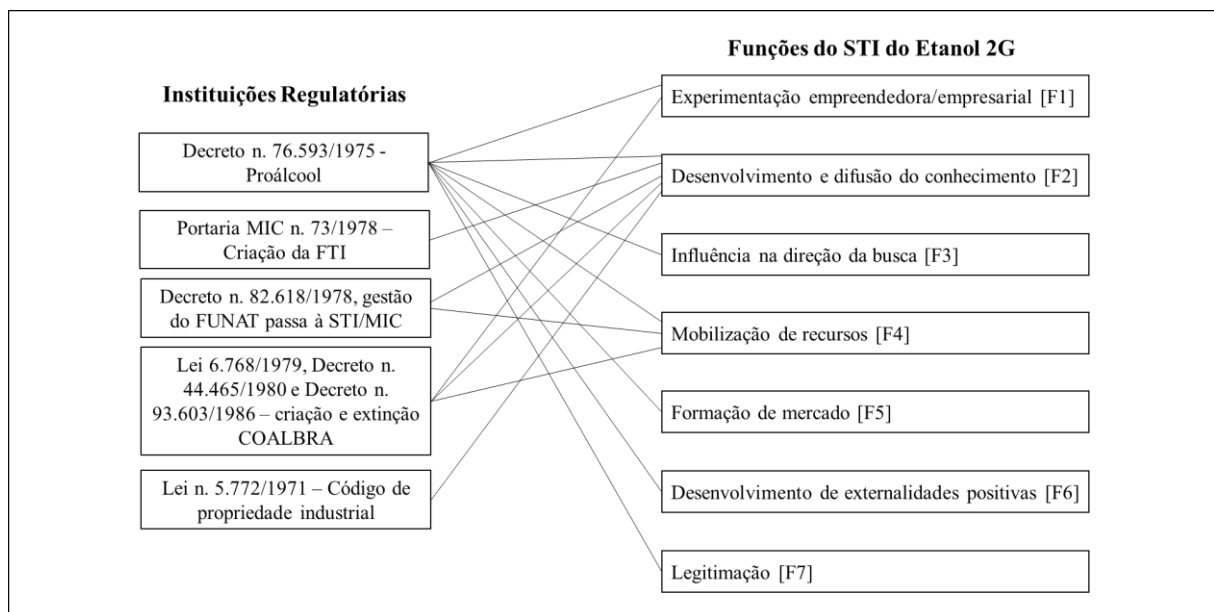


Figura 22: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.2.2 Instituições normativas

Uma instituição normativa foi identificada com base na interpretação da descrição do primeiro período da formação do STI do etanol 2G. Trata-se da eficiência econômica (economicidade) que, por sua vez, influenciou os processos de busca, geração e difusão do conhecimento sobre etanol 2G no Brasil, servindo como guia da alocação de recursos governamentais à P&D desenvolvida no período 1975-1986 [F2, F4]. A economicidade (custo e viabilidade econômica) dos processos de conversão de biomassa ficou evidenciada como uma preocupação presente nos estudos “Os processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis”(João C. Perrone/INT), “Estado-da-arte da produção de etanol a partir da madeira”(CETEC) e “Etanol de madeira: balanço energético”(USP), apresentando-se como um dos critérios a direcionar o rumo das buscas tecnológicas realizadas por empresas e

pesquisadores [F3] e a legitimizar ou não processos tecnológicos desenvolvidos [F7]. A falta de economicidade dos empreendimentos Bioferm, COALBRA [F1] e da primeira fase do projeto de P&D ACOS/Dedini, apesar dos recursos financeiros investidos [F4], foi uma das razões principais para o seu insucesso, o que, portanto, não conferiu legitimidade às tecnologias neles empregadas. As funções do STI do etanol 2G vinculadas à instituição normativa da eficiência econômica foram, portanto, F1, F2, F3, F4, F7.

As vinculações entre instituições normativas e as funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986 são apresentadas na Figura 24.

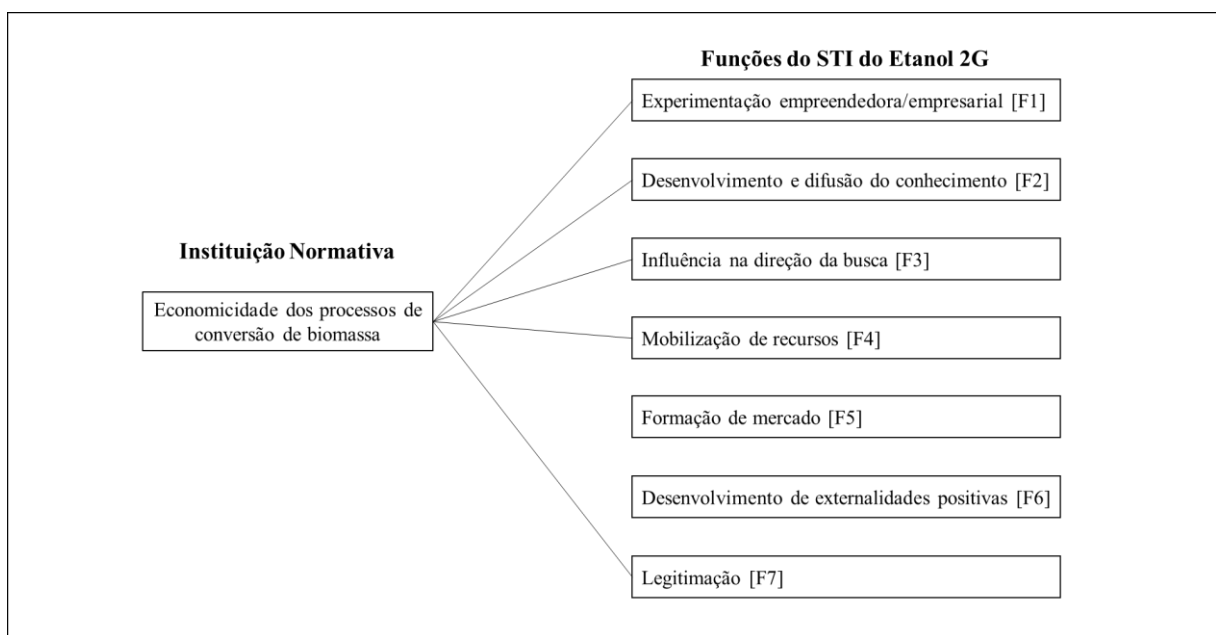


Figura 23: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.2.3 Instituições cultural-cognitivas

Quatro instituições de natureza cultural-cognitiva emergiram da interpretação da formação do STI do etanol 2G entre 1975 e 1986. A primeira delas refere-se ao paradigma da independência energética que, por sua vez, conferiu legitimidade [F7] ao Proálcool e à formação do STI do etanol 2G, na medida em que justificou: o estímulo governamental para a criação de novas empresas produtoras desse biocombustível [F1]; a geração e a difusão de novos conhecimentos sobre hidrólise de biomassa [F2]; a definição de um direcionamento à busca por soluções tecnológicas que se concentrou em torno da hidrólise ácida [F3]; a mobilização de recursos financeiros e humanos dedicados à P&D [F4]; a formação de um mercado para etanol do qual o próprio etanol 2G se beneficiaria [F5]; a geração de

externalidades positivas (estruturação de uma nova cadeia produtiva e formação de mão de obra especializada) [F6]. As funções vinculadas ao paradigma da independência energética, portanto, foram F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7.

A segunda instituição cultural-cognitiva identificada foi o nacionalismo tecnológico como visão compartilhada subjacente à criação e implementação do PROALCOOL. A busca pela independência energética implicava a independência tecnológica, o que para o governo militar e alguns idealizadores do Proálcool significava fomentar com recursos públicos [F4] a pesquisa e inovação tecnológica nacional [F2]. Por ser um corolário da independência energética, a vinculação do nacionalismo tecnológico às funções do STI do etanol 2G se deu da mesma forma descrita no parágrafo precedente, ou seja, ocorreu por meio das funções F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7. Contudo, cabe adicionar que em todos os projetos de pesquisa relatados no período 1975-1986, ou mesmo no caso da COALBRA que importou parte da tecnologia e assistência técnica em hidrólise soviética para sua implantação, o valor do nacionalismo tecnológico evidenciou-se pela predominância dos esforços de pesquisadores, profissionais especializados e empresas brasileiras (inclusive de engenharia) em produzir soluções tecnológicas nativas para a viabilização do etanol 2G. Ainda que muitos dos conhecimentos em hidrólise tenham sido trazidos do exterior, houve sempre a tentativa de adaptá-los às condições nacionais, especialmente no que diz respeito à utilização de biomassas disponíveis no território nacional, tais como o eucalipto e o bagaço de cana-de-açúcar.

A terceira evidência encontrada de instituição cultural-cognitiva diz respeito ao paradigma da hidrólise ácida como direcionador [F3] dos esforços de P&D [F2] e à mobilização de recursos financeiros [F4] em infraestrutura de produção (vide COALBRA) [F1]. A institucionalização desse paradigma ficou evidenciada na convicção do governo federal (MA, MCT, IBDF), instituições de pesquisa (INT, CETEC, UNICAMP) e privadas (Villares e Dedini) de que o processo de hidrólise ácida era o mais apropriado para o Brasil – o que, de certa forma, o legitimou [F7] –, impedindo a consideração por parte desses agentes da hidrólise enzimática como alternativa potencial. Essa instituição cultural-cognitiva vinculou-se às seguintes funções: F1, F2, F3, F4, F7.

Por último, em oposição, ou complementarmente, à instituição do paradigma da hidrólise ácida, identificou-se como instituição cultural-cognitiva a formação do paradigma da hidrólise enzimática, compartilhado por uma comunidade emergente de pesquisadores e profissionais que passaram a intercambiar bianualmente os achados de suas pesquisas [F2] no Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassa (SHEB), o que gerou, por sua vez, um novo

direcionamento para a pesquisa e para a busca tecnológica no âmbito do STI do etanol 2G [F3]. Nota-se, com base na interpretação dos dados presentes na narrativa descritiva, que havia uma contracorrente profissional que, gradativamente, começou a vislumbrar no Brasil o futuro promissor da hidrólise enzimática. Isso ficou evidenciado após a experiência da Bioferm com sua planta-piloto para a produção de etanol baseada na conversão enzimática do bagaço de cana-de-açúcar, no final dos anos 1970, e com o documento-proposta produzido pelos participantes do I SHEB, que contém um programa de prioridades e recomendações, de modo a se incentivar (e legitimar) [F7] a aplicação da tecnologia de enzimas no Brasil, tanto em nível de pesquisa tecnológica, como em nível de plantas-piloto e industriais. O paradigma da hidrólise enzimática, na condição de instituição cultural-cognitiva, vinculou-se às funções F2, F3 e F7.

A Figura 25 ilustra os vínculos estabelecidos entre as instituições cultural-cognitivas e as funções do STI do etanol 2G, no período 1975-1986.

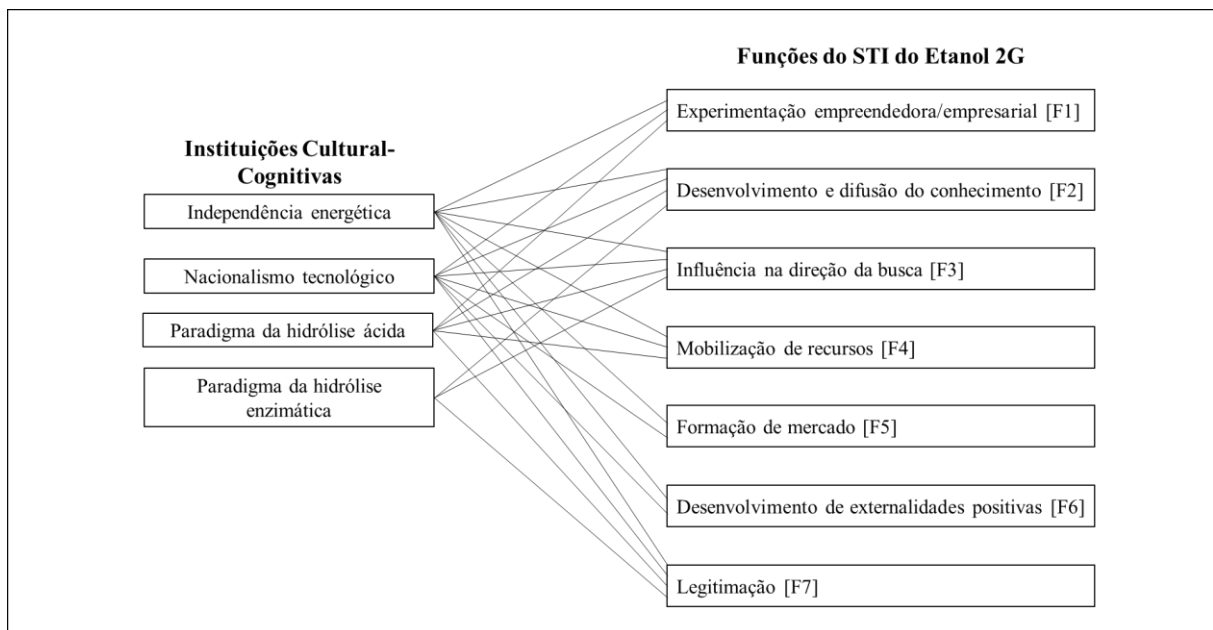


Figura 24: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.3 Período 1987-2010

3.3.1 A insistência na hidrólise ácida

A decisão da Dedini de levar adiante o projeto ACOS se deu em um período em que os investimentos públicos no Proálcool estavam sendo gradualmente reduzidos, sinalizando uma tendência de afastamento do governo do setor sucroenergético. Mesmo diante desse cenário, a

Dedini manteve-se firme ao seu propósito de desenvolver um processo de obtenção de etanol 2G de bagaço de cana-de-açúcar, por meio de hidrólise ácida. Nesse sentido, começou a conduzir testes de laboratório que levaram à conclusão de que seria preferível proceder à hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar em uma única etapa, ou seja hidrolisar a hemicelulose e a celulose do bagaço conjuntamente, em vez de em estágios separados [F2]. Além disso, estabeleceu uma parceria com a multinacional francesa Rhodia [F2], a qual, com seus conhecimentos em processos químicos, colaborou com a realização de testes em escala laboratorial com 26 solventes de lignina, dos quais a Dedini escolheu a acetona, o metanol e o etanol para estudos subsequentes (Doc. 41). Somente após esse trabalho de pesquisa é que a Dedini decidiu ampliar a escala do projeto com a construção de uma planta-piloto.

Diante dos grandes investimentos que seriam necessários para elevar o projeto ACOS à escala-piloto, a Dedini precisava de financiamento. Para obtê-lo, a empresa recorreu à Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC; mas, esta, em função da escassez de recursos por que passava o governo federal nos anos 1980, submeteu o projeto da Dedini ao Banco Mundial com a finalidade de conseguir um empréstimo (Doc. 27). Assim, por intermédio daquele órgão ministerial, o banco enviou especialistas ao Brasil para avaliar a viabilidade do projeto e, por volta de 1986-1987, os recursos foram liberados para o MIC que, por sua vez, repassou-os à Dedini³⁹[F4] (Doc. 27).

Os recursos obtidos foram aplicados na instalação da planta-piloto [F4], construída em 1989 e com capacidade de 100 litros de etanol hidratado/dia. A construção da planta beneficiou-se da *expertise* acumulada pela Dedini no fornecimento de bens de capital para usinas de etanol e açúcar, sendo configurada tal qual uma planta comercial de larga escala, com todas as funções, estágios e operações que seriam necessárias, exceto a recuperação de coprodutos (tais como furfural e metanol) e a otimização da rede de trocadores de calor (Doc. 41).

Em 1992, o Proálcool já tinha praticamente chegado ao seu fim, encerrando, assim, um longo ciclo de investimentos e subsídios governamentais destinados ao setor sucroenergético. A despeito desse cenário desfavorável, a Dedini continuou a apostar no seu processo de P&D em etanol 2G, pleiteando e, conseqüentemente, obtendo a aprovação da FINEP para o

³⁹ A pesquisa documental não encontrou registros dessa operação, mas apenas a publicação no Diário Oficial da União, de 11 de agosto de 1986, do Termo Aditivo 02/86 ao contrato 018/84, assinado em 29 de julho de 1986 entre STI e Dedini (Doc. 42), cujo objeto era o projeto “PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO PILOTO E DE DEMONSTRAÇÃO PARA NOVO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ALCOOL ETILICO (ACOS)”. Contudo, não é possível afirmar que o contrato ao qual o referido termo alude refere-se a alguma operação de empréstimo.

financiamento [F4] da complementação e continuidade da operação de sua planta-piloto (e de seu laboratório). Após a conclusão das melhorias necessárias, centenas de corridas (testes) foram realizadas, o que resultou no domínio da tecnologia de hidrólise nessa escala pela empresa, em meados dos anos 1990 (Doc. 29).

De início, o solvente utilizado no processo de deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar era a acetona, insumo este que a Rhodia era uma das maiores produtoras. No entanto, a acetona apresentava importantes limitações como baixo ponto de ebulição, perdas químicas, danos à camada de ozônio, além de ser um solvente com forte controle governamental devido ao seu uso no refino de drogas entorpecentes (Doc. 27). Mesmo com esses inconvenientes, foi esse o solvente de uso preferencial⁴⁰, descrito no relatório da patente do Processo de Hidrólise Ácida Rápida de Material Lignocelulósico e Reator de Hidrólise (Doc. 43⁴¹) [F2], depositado junto ao INPI em 08 de março de 1996. Essa patente descreve um processo contínuo organosolv combinado com ácido extremamente diluído, conduzido em um reator pressurizado especialmente projetado, que apresenta a vantagem de completar a hidrólise da biomassa (deslignificação e sacarificação simultâneas de bagaço de cana, madeira, palhas etc.) em minutos (entre 10 e 40 minutos), em vez de horas como ocorria com outros processos. Essa patente também foi requerida em anos subsequentes em diversos outros países, tais como Estados Unidos, Canadá, México, Rússia, Japão, Alemanha, Dinamarca, Suécia, entre outros.

Cabe salientar que a patente da Dedini, quando publicada pelo INPI, já se encontrava sob nova legislação de propriedade industrial, pois em maio de 1996 foi sancionada a Lei n. 9.279/1996 (Doc. 213) que substituiu a Lei n. 5.772/1971 (Doc. 214). Como novidade em relação à legislação anterior, essa lei abriu a possibilidade de proteção dos produtos e processos do setor de biotecnologia tais como microrganismos geneticamente modificados. Embora esse aspecto da lei não tenha beneficiado o patenteamento do processo DHR da Dedini, uma vez que essa tecnologia se baseava em um processo termo-químico, viria beneficiar futuramente o desenvolvimento do STI do etanol 2G na medida em que criou um arcabouço jurídico que permitiu proteger, por exemplo, novas tecnologias de hidrólise baseadas em enzimas produzidas por microrganismos geneticamente modificados.

⁴⁰ Embora o etanol e o metanol fossem também considerados.

⁴¹ Essa patente foi registrada como uma invenção do engenheiro químico Antonio Geraldo Proença Hilst, que desde os anos 1980 estava envolvido com a P&D em hidrólise ácida da Dedini (Doc. 49). Sua concessão se deu em 30/11/1997.

No mesmo ano em que a referida patente foi requerida, a Rhodia decidiu encerrar a parceria com a Dedini (Doc. 27) [F2] e esta, por sua vez, iniciou entendimentos com o Centro de Tecnologia Copersucar⁴² (CTC), localizado em Piracicaba (SP), visando ao estabelecimento de uma parceria para a continuação da P&D em hidrólise ácida (Doc. 44). Em 1997, após uma análise técnica e econômica da proposta de parceria da Dedini, o CTC assinou um acordo⁴³ para a continuidade do desenvolvimento do processo de hidrólise rápida que passou a ser chamado Dedini Hidrólise Rápida – ou DHR [F2]. Essa parceria ocorreu em um ano de incertezas por conta do início da liberação do mercado de combustíveis, desencadeada pela aprovação da Lei 9.478/1997⁴⁴ (Doc. 45), conhecida como Lei do Petróleo, de 6 de agosto de 1997, que estabeleceu a política energética nacional e quebrou o monopólio do petróleo da Petrobrás. Em 1999, a liberação do mercado de etanol foi, finalmente, efetivada após vários adiamentos, o que beneficiou produtores de etanol mais eficientes, favoráveis ao livre mercado, em detrimento de produtores menos eficientes, inclinados aos incentivos e subsídios governamentais (Doc. 48). Nesse contexto, a Dedini acreditava que a nova tecnologia DHR, uma vez comprovada sua viabilidade, poderia beneficiar os produtores de etanol mais eficientes, permitindo aumentar sua produção por meio do aproveitamento dos resíduos de seu processo industrial (bagaço e palha de cana-de-açúcar).

Com o acordo firmado com o CTC, a planta-piloto até então instalada nas dependências da Dedini, foi transferida para aquele centro de pesquisa, devido à disponibilidade que lá havia de pesquisadores e técnicos especializados (Doc. 27; Doc. 44). Uma vez montada no CTC, a planta-piloto foi utilizada em testes que se concentraram no licor hidrolítico resultante do processo de hidrólise e em sua fermentação alcoólica, por meio da adição de caldo de cana-de-açúcar. Em decorrência dos testes conduzidos, em 1999, a acetona foi substituída pelo etanol como solvente a ser adicionado à água no processo de deslignificação da biomassa (Doc. 29) e os resultados auspiciosos obtidos nos testes de fermentação e deslignificação com etanol levaram a Dedini a decidir ampliar a escala de suas investigações, ou seja, elevar a P&D para a escala de demonstração, a fim de se testar e avaliar a viabilidade econômica do processo DHR antes que este passasse para a escala comercial (Doc. 27). Dada a sua limitação de recursos para

⁴²Vinculado, à época, à Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar).

⁴³ Segundo relatos colhidos por Silva (2013), esse acordo levou cinco anos para ser implementado, o que sugere que sua efetivação se deu apenas a partir de 2002.

⁴⁴ Nenhum artigo dessa lei tratava, especificamente, do etanol ou dos biocombustíveis, em sentido amplo. A incorporação desses itens somente ocorreu a partir de 2005 com a Lei 11.097/2005 (Doc. 46) e, principalmente, com a Lei 12.490/2011 (Doc. 47).

investir em tal *up-grade*, a Dedini resolveu, então, buscar financiamento junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), valendo-se da parceria com o CTC e do fato de essa organização estar qualificada, como centro de pesquisas, a propor projetos e receber recursos públicos de entidades de fomento à pesquisa tecnológica [F4] (Doc. 27). Em outras palavras, o CTC deu legitimidade ao pleito da Dedini junto à FAPESP para a obtenção de recursos para o desenvolvimento do projeto DHR [F7].

Tal iniciativa resultou, em 2002, na parceria Dedini-CTC-FAPESP [F2] por meio do programa Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (PITE), criado em 1994, pela FAPESP, com o objetivo de fomentar projetos de inovação desenvolvidos por meio de parcerias entre empresas do estado de São Paulo e instituições de pesquisa⁴⁵, regidas por critérios específicos que levam em consideração, por exemplo, o tipo de inovação (incremental ou revolucionárias) e risco tecnológico envolvido (Docs. 49 e 50). Constituída para executar o projeto “Processo DHR (Dedini Hidrólise Rápida): projeto, implantação e operação da unidade de desenvolvimento de processo (UDP)”, a parceria entre as três organizações foi estabelecida para vigorar de fevereiro de 2002 a agosto de 2007 (Doc. 51) [F2]. A coordenação do projeto ficou sob a responsabilidade de Carlos Eduardo Vaz Rossell, à época engenheiro-pesquisador do CTC⁴⁶.

O projeto aprovado previa a implantação e operação de uma unidade de demonstração do processo DHR. Na primeira etapa da parceria Dedini-CTC-Fapesp, a Fapesp desembolsou R\$ 1,75 milhão em recursos subvencionados para uma contrapartida de R\$ 1,82 milhão da Dedini e de R\$ 500 mil do CTC. O contrato teve dois aditivos posteriores, por meio dos quais a Fapesp investiu mais de R\$ 2 milhões, totalizando, aproximadamente, R\$ 3,8 milhões o montante de recursos concedidos pela fundação (Doc. 49) [F4]. Dos direitos de propriedade industrial foi acordado que a Dedini ficaria com 60% da receita líquida da venda da licença do processo, enquanto o CTC ficaria com 30% e a FAPESP com 10% (Doc. 52).

Como previsto no projeto Dedini-CTC-Fapesp, em novembro de 2002, a Dedini instalou, anexa à Usina São Luiz⁴⁷, localizada em Pirassununga (SP), a Unidade Semi-Industrial de Desenvolvimento de Processos (UDP), com capacidade para processar cerca de 2 mil

⁴⁵ Nesse programa, a FAPESP financia, sem cláusula de reembolso, a parte do projeto desenvolvida pela instituição de pesquisa e a empresa investe uma contraparte equivalente ou superior (Doc. 49). Além disso, a propriedade intelectual, eventualmente, gerada na parceria empresa-instituição de pesquisa deverá ser objeto de acordo entre as organizações envolvidas, cabendo sempre à FAPESP uma fração dos ganhos que forem obtidos.

⁴⁶ A partir de 2005 Carlos Eduardo Vaz Rossell passou à condição de consultor contratado pela Dedini.

⁴⁷ A Usina São Luiz pertencia à Dedini, por meio de sua divisão Dedini Agro.

quilos/hora de bagaço de cana-de-açúcar e produzir 5 mil litros/dia de etanol 2G [F1, F4]. A UDP foi construída acoplada à planta industrial da Usina São Luiz de modo a compartilhar com esta as utilidades e os sistemas de suporte, bem como permitir que a fermentação e a destilação do etanol 2G pudessem ser realizadas nas respectivas instalações dedicadas a esses processos (Doc. 27). O objetivo dessa planta de demonstração era concluir a definição de parâmetros de engenharia para dimensionamento de uma planta em escala comercial (Doc. 53).

A operação da UDP pela Dedini e CTC permitiu a superação de dificuldades inerentes ao processo DHR, tais como a seleção de materiais compatíveis com ambientes corrosivos, a alimentação contínua do bagaço em reatores sob pressão elevada e automação e controle [F2]. Por outro lado, outras dificuldades não foram suplantadas como, por exemplo, a quantidade de impurezas presentes no bagaço de cana-de-açúcar (terra e areia) que chegavam a causar a interrupção do processo por conta da erosão dos equipamentos. Devido a esse problema, concluiu-se que seria necessária a implantação de um sistema de limpeza e pré-tratamento desse insumo (Doc. 27) [F2]. Outro problema não superado foi a conversão de pentoses (açúcares de cinco carbonos presentes na fração hemicelulósica da biomassa) em etanol, pois as leveduras conhecidas até então não permitiam sua fermentação alcoólica de forma eficiente (Doc. 27).

O aprendizado obtido com a operação da planta de demonstração parece ter contribuído para o aprimoramento do DHR, pois, em 1º de novembro de 2005, a Dedini requereu a patente Aperfeiçoamentos em Processo de Hidrólise Ácida Rápida de Material Lignocelulósico e em Reator de Hidrólise⁴⁸ (Doc. 54) [F2]. O processo DHR aperfeiçoado, manteve-se fiel ao projeto original constante da patente de 1996 (Doc. 55), sofrendo modificações apenas em alguns parâmetros de temperatura e concentração de solvente, e de reagente nos fluxos do hidrossolvente (água e solvente) no interior do reator de hidrólise. Em consonância com a mudança de solvente efetivada ainda em 1999, na planta-piloto instalada no CTC, essa nova patente deu preferência ao etanol, em detrimento da acetona e do metanol, como agente de deslignificação da biomassa.

Entretanto, apesar da referida patente indicar progressos na tecnologia DHR, antes que ela fosse depositada o CTC foi transformado em uma associação civil de direito privado sem fins lucrativos, desvinculando-se da Copersucar – sua mantenedora desde 1969 –, o que fez com que os projetos de P&D em andamento fossem revisados e as prioridades fossem redefinidas (Doc. 27). A nova diretoria que assumiu o comando do centro de pesquisas nesse

⁴⁸Patente publicada em 07/08/2007.

processo de reestruturação organizacional considerou que a parceria com a Dedini no processo DHR não era prioritária e, por isso, diminuiu os investimentos no projeto (Doc. 27). Essa decisão parece ter colaborado para que, ao fim da vigência do projeto aprovado pela FAPESP, os trabalhos conjuntos com a Dedini fossem encerrados.

Mesmo assim, a planta demonstrativa parece ter sido utilizada com certa regularidade até agosto de 2007, quando o projeto foi concluído. As análises econômicas realizadas, por sua vez, mostraram a inviabilidade do processo DHR devido a problemas com abrasão e corrosão de equipamentos que, por sua vez, exigiriam mais investimentos na compra de equipamentos específicos, caso se quisesse dar continuidade ao funcionamento da UDP (Doc. 27) [F2]. Em maio de 2007, a Dedini afirmava ter conseguido produzir etanol ao custo de US\$ 0,27 por litro contra US\$ 0,40, em 2002, enquanto as usinas mais eficientes de etanol 1G produziam etanol a US\$ 0,18 (Doc. 55). Além de não ser competitivo até aquele momento com o etanol 1G, o processo DHR apresentava outros problemas como a inibição da fermentação dos açúcares liberados pela hidrólise (Doc. 55) e, como em todos os processos de hidrólise ácida, o impacto ambiental negativo por conta da utilização de ácido sulfúrico, ainda que diluído.

Além do problema da economicidade e da perda de interesse por parte do CTC, o projeto DHR sofreu outro revés com a venda da Dedini Agro para o grupo espanhol Abengoa, em 2007, o que implicou na venda da Usina São Luiz, onde estava abrigada a planta demonstrativa construída por Dedini e CTC. Embora a planta de demonstração não tenha sido envolvida na negociação, permanecendo, portanto, com a Dedini, a continuidade das atividades de P&D do processo DHR, aparentemente, ficaram prejudicadas na medida em que aquela infraestrutura passou a ser utilizada apenas ocasionalmente. No segundo semestre de 2008, a planta de demonstração estava na iminência de ser desativada, embora a Dedini relutasse em confirmar tal decisão (Doc. 56).

Depois de mais de 20 anos de esforços em P&D e investimentos que estiveram perto dos R\$ 30 milhões (Doc. 49) [F4], o projeto da Dedini voltado à obtenção de etanol 2G por meio da hidrólise ácida da biomassa parecia ter chegado ao seu fim ou, pelo menos, próximo dele. Isto porque a empresa, apesar do insucesso econômico (e em certa medida técnico) do projeto, ainda acreditava no potencial do etanol 2G. Por isso, dado o seu comprometimento de recursos financeiros e humanos com a P&D dedicada ao projeto DHR, bem como a sua importância como fornecedora de equipamentos para o setor sucroenergético nacional, a Dedini ainda dispunha de legitimidade para pleitear mais recursos junto à FAPESP para o apoio de seus esforços tecnológicos [F7]. Assim é, que em julho de 2007, um mês antes, do término da

vigência do programa PITE, a Dedini celebrou mais uma nova parceria (convênio) com aquela fundação, segundo o qual seriam aportados R\$ 100 milhões, ao longo de cinco anos, para o apoio a projetos de pesquisa de interesse da empresa a serem executados por instituições de ensino superior e de pesquisa do estado de São Paulo (Doc. 57) [F2]. Desses recursos, R\$ 50 milhões seriam desembolsados pela Dedini e R\$ 50 milhões pela FAPESP.

Como desdobramento da assinatura desse novo convênio, em 3 de julho de 2008, a FAPESP lançou uma chamada de propostas de pesquisas com potencial de contribuição ao avanço do conhecimento e da tecnologia na área de processos industriais para a fabricação de etanol de cana-de-açúcar [F2] (Doc. 58). Essa chamada foi elaborada para fazer parte do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia⁴⁹ (BIOEN), lançado naquela mesma data, cujo foco se concentrava na pesquisa em biocombustíveis (especialmente o etanol de cana-de-açúcar), biorrefinarias e alcoolquímica (Doc. 59), mas as condições e restrições que o mesmo estabeleceu estavam baseadas no programa PITE⁵⁰. Dos cinco temas de interesse da chamada de propostas, dois eram voltados aos processos de hidrólise, um direcionado especificamente ao desenvolvimento de tecnologia para o processo DHR (conversão do bagaço de cana-de-açúcar via rota química ácida) e o outro, mais geral, sobre processos de hidrólise, que utilizava rotas de segunda geração ácida e/ou enzimática ou rotas de terceira geração (por ex., gaseificação) para a produção de combustíveis líquidos baseados em biomassa de cana-de-açúcar (Doc. 58).

Curiosamente, essa chamada, elaborada no âmbito de um convênio com recursos de significativa monta, resultou, em dezembro de 2008, na seleção de apenas uma proposta de pesquisa, cujo foco residia em uma temática diversa dos processos de hidrólise para obtenção de etanol 2G, o que sugere uma mudança de rumos por parte da Dedini em relação ao seu plano de investimentos em P&D nessa área⁵¹. O motivo para que isso tenha ocorrido, talvez esteja relacionado à crise financeira mundial de 2008 que teve impactos diretos sobre o setor

⁴⁹ Esse programa será abordado na seção 3.2.2.

⁵⁰ No texto do edital havia a previsão de R\$ 20 milhões (sendo R\$ 10 milhões da Dedini e R\$ 10 milhões da FAPESP) para apoiar as propostas selecionadas.

⁵¹ O projeto aprovado foi o do pesquisador José Antonio Silveira Gonçalves, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), com o título “Aplicação de técnicas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) na melhoria e eficiência de estágio em colunas de destilação para a produção de etanol”. Esse projeto foi enquadrado na temática “consumo de energia em processos de destilação” e sua execução, segundo consta do website da FAPESP (Doc. 60), foi cancelada em 14/05/2012.

sucroenergético brasileiro (adiando novos projetos de usinas), o que, conseqüentemente, afetou a Dedini, sua principal fornecedora de bens de capital⁵².

Contudo, independente desse resultado, observa-se, com base na leitura do texto do documento da chamada de propostas que, antes que a crise supostamente a atingisse, a Dedini ainda permanecia interessada no desenvolvimento do processo DHR, e que, após décadas de comprometimento com a hidrólise ácida, estava redirecionando o seu foco para conhecimentos e tecnologias em hidrólise enzimática, o que parece ser uma novidade relevante dado o histórico da P&D da empresa [F3]. Esse novo direcionamento, porém, estava alinhado à nova tendência da P&D em etanol 2G, iniciada anos antes e que foi captada não só pela Dedini, mas também por outra empresa: a Oxiten. Esta empresa do setor petroquímico, em 2006 associou-se à FAPESP e ao BNDES, por meio do programa PITE (modalidade convênio), com vistas ao desenvolvimento de pesquisas de interesse da empresa nas áreas de alcoolquímica e sucroquímica visando à colocação em prática do conceito de biorrefinarias [F2] (Doc. 62), segundo o qual plantas industriais dedicadas podem converter os açúcares contidos na biomassa em biocombustíveis, insumos químicos, materiais, alimentos, rações e energia.

O aporte financeiro para financiar projetos no âmbito do convênio firmado entre as três organizações previa um montante de até R\$ 6 milhões, sendo R\$ 1,5 milhão provenientes da FAPESP, R\$ 1,5 milhão do BNDES e R\$ 3 milhões disponibilizados pela Oxiten [F4]. Em 16 de novembro de 2006, o documento FAPESP-Oxiten de chamada de propostas de pesquisa, foi lançado contemplando 16 áreas temáticas de pesquisa, entre as quais oito explicitamente relacionadas a processos de hidrólise de biomassa (quatro áreas de hidrólise ácida e quatro áreas de hidrólise enzimática) [F2] (Doc. 63). Essa chamada foi regida pelos mesmos critérios e condições aplicados ao programa PITE.

A Oxiten publicamente admitia seu interesse em construir uma biorrefinaria para a produção de intermediários químicos à base de açúcares e etanol e afirmava que sua opção tecnológica para tal investimento seria a hidrólise ácida. Mas, paralelamente, decidiu também estudar a hidrólise enzimática, de modo a não ficar à margem dos conhecimentos em desenvolvimento sobre essa rota tecnológica – à época, fortemente pesquisada nos Estados Unidos (Doc. 64) –, o que ficou nitidamente refletido no texto da chamada de propostas FAPESP-Oxiten [F3]. No primeiro semestre de 2007, foi divulgado o resultado do processo

⁵² Desde então, os problemas financeiros da Dedini foram se agravando a ponto de, em setembro de 2015, a empresa entrar com pedido de recuperação judicial (Doc. 61).

de seleção de propostas que, por sua vez, contemplou ao todo sete projetos (Doc. 215). No entanto, em consulta realizada ao website da FAPESP, constatou-se que desses, somente três foram efetivamente executados e concluídos (um deles sobre hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar) [F2], o que, a exemplo do que ocorreu com a Dedini, parece ser um sinal de que a Oxiten reorientou ou abandonou seus planos na área de biorrefinarias e, por conseguinte, deixou de investir na P&D em hidrólise de biomassa.

Nota-se, portanto, com base nos documentos das chamadas de propostas conjuntas da FAPESP com as empresas Dedini e Oxiten que, apesar de ambas optarem pela hidrólise ácida em suas respectivas apostas de P&D, já estava em curso, no âmbito do STI do etanol 2G, a emergência de uma tendência na direção do desenvolvimento da pesquisa em hidrólise enzimática, movimento que parece ter começado a ganhar força paulatinamente nos anos 1990 dentro e fora do Brasil [F3]. O surgimento desse novo direcionamento tecnológico será tratado na próxima seção.

3.3.2 A transição tecnológica para a hidrólise enzimática

Nos anos 1990, enquanto a Dedini continuava a apostar no desenvolvimento de uma tecnologia nacional de hidrólise ácida para a produção de etanol 2G, parecia não haver, no Brasil, um posicionamento claro em favor ou contra a alternativa da hidrólise enzimática por parte de suas instituições oficiais de ciência e tecnologia (C&T). Discussões nesse sentido, possivelmente, estivessem ocorrendo com mais intensidade na comunidade científica universitária, por meio do intercâmbio dos resultados de sua pesquisa. Em 1993, por exemplo, teve início o primeiro Seminário Nacional de Tecnologia Enzimática⁵³ (ENZITEC), criado e organizado pela professora Elba Bon, do Instituto de Química da UFRJ, que contou com mais três edições nos anos 1990 (1995, 1997, 1999) [F2]. Esse evento, de periodicidade bianual, que tem como um de seus temas a produção de biocombustíveis (incluindo etanol) e bioenergia pela via enzimática, somou-se a outros dois eventos correlatos relevantes, o SINAFERM (com edições realizadas em 1991, 1993, 1996, 1998 e 2000) e o SHEB, retomado em 1994 [F2] (após sete anos de sua última edição) e realizado também em 1996 e 1999.

Com a retomada da realização do SHEB [F2], a comunidade de pesquisadores de hidrólise enzimática, formada no início dos anos 1980, voltou a se reunir periodicamente contribuindo, assim, para o diagnóstico do esforço nacional e para o estado da arte do

⁵³ A partir da quarta edição, renomeado como Seminário Brasileiro de Tecnologia Enzimática, mantendo a sigla ENZITEC.

desenvolvimento em processos de aproveitamento da biomassa (Doc. 65), incluindo a temática dos combustíveis líquidos obtidos de biomassa vegetal, como é o caso do etanol 2G⁵⁴. Portanto, nos anos 1990, esses três fóruns de comunicação científica, em especial o SHEB e o ENZITEC, à medida que reuniam comunidades de pesquisadores com forte interesse em processos de hidrólise enzimática, tornaram-se as principais referências na condução da pesquisa científica nessa área da biotecnologia no Brasil [F3].

Dado o grau de internacionalização desses eventos (especialmente sob a forma de conferencistas estrangeiros convidados), é possível que a comunidade de pesquisadores reunida por eles estivesse captando as mudanças na investigação científica e tecnológica relacionada ao desenvolvimento e à aplicação da hidrólise enzimática na produção de etanol 2G – que já estavam em curso naquela década em países como Estados Unidos e Canadá. No caso dos Estados Unidos, ao longo dos anos 1990, o *Department of Energy* (DOE), por meio do *Office of Fuels Development* (OFD), gerenciou o *Biofuels Program*, mobilizando, principalmente, os laboratórios nacionais, *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) e *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL), bem como universidades e empresas privadas para o desenvolvimento de tecnologias que permitissem a formação de um mercado maduro para etanol 2G produzido com base na hidrólise enzimática – rota tecnológica que começou a ser pesquisada no NREL em meados dos anos 1980⁵⁵ (Doc. 66).

Essas pesquisas parecem ter culminado, em 1999, no relatório técnico do NREL (Doc. 69) que indicava a definição tecnológica desse centro de pesquisa em torno de um processo caracterizado pela pré-hidrólise ácida de biomassa (madeira) em alta temperatura para a sua deslignificação e sacarificação enzimática da celulose e co-fermentação simultâneas dos açúcares (glicose e xilose) em etanol. Com base nessa configuração tecnológica (que integra

⁵⁴ A partir de sua décima edição, em 2013, o SHEB se uniu ao SINAFERM, passando ambos a serem realizados conjuntamente.

⁵⁵ A pesquisa sobre essa rota tecnológica foi iniciada no âmbito do *Biofuels Program*, cuja criação pelo DOE remonta ao próprio NREL – quando este ainda se chamava *Solar Energy Research Institute* (SERI) em 1980 – no qual funcionava o *Biotechnology Research Branch*, departamento executor do programa. Esse departamento foi, em princípio, concebido como um grupo de pesquisadores em conversão de biomassa dentro de um centro de pesquisas especializado em energia solar e, de 1986 a 1990, passou a se chamar *Biochemical Conversion* (Doc. 67). De 1990 a 1993, recebeu o nome de *Ethanol from Biomass Program*, período em que o SERI foi transformado no *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) no ano de 1991. De 1993 até o final da década de 1990, o programa foi conduzido sob o nome *Biofuels Program* (*Biofuels Program/Ethanol Project*). Em 1994, por exemplo, esse programa apoiou a construção de uma planta-piloto de bioetanol nas dependências do NREL, no estado do Colorado, explicitamente concebida para atender indústrias ou pesquisadores externos no desenvolvimento de bioprocessos voltados à obtenção de etanol. Até o início do segundo semestre do ano 2000, essa instalação já havia realizado testes para pelo menos sete projetos cooperativos de pesquisa de empresas e órgãos de governo nas áreas de pré-tratamento, hidrólise ácida e enzimática, fermentação e co-fermentação (Doc. 68).

hidrólise ácida e enzimática) testada em escala de laboratório e piloto, o NREL criou um modelo econômico com a finalidade de prever o custo de produção do etanol de biomassa celulósica, caso uma planta de produção fosse construída para ser operada segundo o referido processo (Doc. 69).

Enquanto as atividades de P&D em etanol 2G nos Estados Unidos estavam restritas, no máximo, à escala-piloto, no Canadá tinha-se um estágio um pouco mais avançado em 1999, à medida que a empresa Iogen dava início à construção da primeira planta de demonstração de etanol 2G do mundo, em Ottawa. Com tecnologia baseada em hidrólise enzimática (com pré-tratamento ácido em alta temperatura), desenvolvida em parceria com a Petro Canada (investimento de C\$ 15.8 milhões) e com o governo canadense, através da *Technology Partnerships Canada* (investimento de C\$ 10 milhões), a Iogen estava fazendo mais um progresso em sua trajetória de quase duas décadas investindo na P&D do etanol 2G pela via enzimática (Doc. 70).

Os desenvolvimentos tecnológicos em hidrólise enzimática de biomassa, principalmente os promovidos pelo NREL, nos Estados Unidos, parecem ter sido captados pelos formuladores das políticas de ciência e tecnologia (C&T) e de energia brasileiros somente a partir de 2002, último ano do segundo mandato do Presidente Fernando Henrique Cardoso. No final de agosto daquele ano, a Secretaria Técnica do fundo setorial de ciência e tecnologia em energia (CT-Energ) encomendou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos⁵⁶ (CGEE) um estudo de prospecção tecnológica em energia como forma de contribuir para o debate sobre as prioridades para a alocação de recursos do referido fundo. O resultado dessa ação foi publicado no início de 2003 sob o título “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia”, de autoria do professor Isaías Macedo, da UNICAMP (Doc. 72).

O estudo reconheceu a tendência mundial que estava em curso no sentido de priorizar a P&D em tecnologias energéticas sustentáveis ambientalmente, com qualidade e segurança de fornecimento. De fato, essa já era uma preocupação amplamente enfatizada dois anos antes pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU), que, em seu terceiro relatório de avaliação *Climate Change 2001* (Doc. 73), fez uma

⁵⁶ O CGEE é uma associação privada sem fins lucrativos, fundada em setembro de 2001 durante a realização da 2ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia. Sua criação foi resultado da proposta elaborada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia de se estabelecer um órgão que subsidiasse a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e as decisões de longo prazo dos setores público e privado em temas a ela relacionados (Doc. 71). Um dos objetivos principais dessa nova entidade, desde então, tem sido a realização de estudos de prospecção de alto nível nas áreas de ciência, tecnologia e inovação, especialmente, no âmbito do governo federal.

extensa análise do potencial que novas tecnologias em energia teriam sobre a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, conforme preconizado pelo Protocolo de Kyoto em 1997, e na perseguição dos objetivos do desenvolvimento sustentável. No relatório do IPCC, a tecnologia de hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos para conversão em etanol era considerada como de grande potencial para a redução das desvantagens de custo dos biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis. O documento também destacou os estudos que estavam sendo desenvolvidos na planta-piloto do NREL, a fim de viabilizar essa tecnologia em escala comercial (Doc. 73).

A exemplo do IPCC, no estudo conduzido pelo professor Macedo, chamam a atenção três páginas dedicadas à produção de etanol por hidrólise de biomassa lignocelulósica, as quais descrevem brevemente, mas com mais detalhes que o IPCC, o estado da arte das pesquisas e tecnologias desenvolvidas à época no mundo, com destaque para aquelas conduzidas nos Estados Unidos, em especial pelo NREL [F2], cujo modelo de configuração tecnológica foi tomado como referência (Doc. 69). Do lado brasileiro, foram citados como exemplo de desenvolvimento tecnológico o projeto DHR da Dedini-CTC (em escala de demonstração) e as experiências descontinuadas da CODETEC-Villares e COALBRA nos anos 1980. Como recomendação ao CT-Energ, Macedo sugeriu a reunião de grupos de pesquisadores brasileiros que pudessem trabalhar no desenvolvimento das tecnologias ácida, enzimática e organosolv, tendo em vista o potencial de biomassa disponível a baixo custo no Brasil [F3] (Doc. 72).

Quando o estudo “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia” foi publicado, em janeiro de 2003, o Brasil atravessava um período de transição política com o Presidente Lula da Silva iniciando o primeiro de seus dois mandatos à frente do governo nacional. Após assumir o exercício da presidência, uma de suas primeiras providências foi determinar ao Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE), órgão diretamente ligado ao seu gabinete, que realizasse uma análise técnica de temas estratégicos para o país, entre os quais estava elencado o tema dos biocombustíveis (Doc. 74). Para tanto, o NAE, por intermédio do MCT, recorreu ao CGEE para que este fizesse um estudo prospectivo sobre o etanol e o biodiesel. O CGEE, por sua vez, contratou (novamente) a consultoria do professor Isaías Macedo, da UNICAMP, e do professor Luiz Augusto Horta Nogueira, da Universidade Federal de Itajubá.

O trabalho desses dois consultores resultou em dois estudos publicados em 2004: a “Avaliação do Biodiesel no Brasil” (Doc. 75) e a “Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil” (Doc. 76). Neste último, em que se buscou diagnosticar preliminarmente a

oportunidade e as possibilidades de ampliação da produção de etanol no país, a situação do etanol 2G obtido com base em resíduos de cana-de-açúcar foi analisada numa breve seção, com destaque para o processo DHR da Dedini (único em desenvolvimento no Brasil à época) e, em uma seção mais longa, os custos de produção desse tipo de biocombustível foram estimados prospectivamente com cálculos realizados para os anos de 2004 (US\$ 0,38/litro), 2010 (US\$ 0,29 – 0,32/litro) e 2020 (US\$ 0,20/litro) [F2].

Baseadas em expectativas apresentadas em um estudo do NREL de 2001, essas estimativas apoiaram-se na premissa de que, embora a hidrólise ácida resultasse em melhores custos finais, a hidrólise enzimática teria melhor potencial de redução de custos nos anos seguintes. Dessa forma, inspirados na opção tecnológica do próprio NREL, os professores Isaias Macedo e Luiz Augusto Horta Nogueira consideraram, para efeito de seus cálculos de custos, um processo de conversão de biomassa em etanol com a seguinte configuração: pré-hidrólise com ácido diluído; sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas em um mesmo reator; produção local de enzimas (celulases); queima de lignina para geração de energia; planta com capacidade para 200 mil m³ de etanol/ano; investimento (capital) de US\$ 234 milhões (Doc. 76) [F3]. No entanto, apesar desse esforço de previsão de custos, o estudo não gerou recomendações à Presidência da República específicas sobre etanol 2G, mas apenas sugestões para se ampliar investimentos em P&D relacionados à cana-de-açúcar, especialmente, na área de novas variedades transgênicas.

Apesar da ausência de recomendações para o desenvolvimento do etanol 2G, o fato de o estudo de Macedo e Nogueira (Doc. 76) ter considerado a hidrólise enzimática como rota tecnológica mais promissora parece ter ido na direção dos avanços concretos que a P&D pública e, sobretudo privada, realizavam fora do Brasil. Exemplo disso ocorreu em abril de 2004 (mesmo ano em que esses professores concluíram sua avaliação encomendada pelo governo federal), quando a Iogen inaugurou, no Canadá, sua planta demonstrativa⁵⁷ (com capacidade para 7.600 litros de etanol/dia), que havia começado a construir em 1999, tornando-se a primeira empresa do mundo a produzir etanol 2G, via hidrólise enzimática com base na biomassa da palha de trigo e de cevada⁵⁸ (Doc. 78). Entre 1999 e 2004, a empresa Shell tornou-se sócia do desenvolvimento tecnológico da Iogen, investindo inicialmente C\$ 46 milhões, por meio da

⁵⁷ Embora fosse uma planta em escala de demonstração, o etanol produzido era enviado à Petro Canada para ser misturado à gasolina comercializada no mercado canadense (Doc. 77).

⁵⁸ Para efeitos comparativos, a planta de demonstração da Iogen era 40 vezes maior que a planta-piloto do NREL nos Estados Unidos (Doc. 77).

constituição da *joint-venture* Iogen Energy⁵⁹, permanecendo como sócia-investidora desse negócio por mais dez anos (Doc. 79).

Além desse feito tecnológico da Iogen, no ano de 2005 outro evento relevante ocorreu na América do Norte. Em 8 de agosto de 2005, o Presidente George W. Bush promulgou o *Energy Policy Act of 2005* (Doc. 80), lei federal dos Estados Unidos que deu origem ao *Renewable Fuel Standard* (RFS1), programa federal que, motivado por questões ambientais e de independência energética, estabeleceu a exigência de se adicionar 4 bilhões de galões/ano de etanol à gasolina consumida em 2006 no país, chegando-se a 7,5 bilhões de galões/ano em 2012, ano em que se faria uma revisão de metas (Doc. 81; Doc. 82). Tanto o *Energy Policy Act* quanto o RFS1 revestem-se de relevância, uma vez que, à luz dos incentivos governamentais e dos desenvolvimentos tecnológicos em curso na PD&I em biocombustíveis avançados, fixaram a meta de 250 milhões de galões de etanol 2G/ano, produzidos à base de biomassa lignocelulósica, como volume mínimo a ser misturado à gasolina vendida no país a partir de 2013 (Doc. 80). Esse mandato concretizou o compromisso dos Estados Unidos com o desenvolvimento e o escalonamento das tecnologias de biocombustíveis avançados.

Possivelmente estimulada pelas oportunidades que esse programa poderia representar para as exportações brasileiras de etanol, e, dadas as incertezas acerca da capacidade da indústria de etanol americana em suprir tais quantidades no Brasil, a Presidência da República continuou interessada em compreender melhor as necessidades e oportunidades do etanol para o país. Por isso, em agosto de 2005, encomendou, por meio do NAE e do MCT, um novo estudo ao CGEE, maior e mais abrangente que o anterior, para subsidiar a formulação de políticas públicas que orientassem a expansão sustentável da produção desse biocombustível no país.

Esse projeto, para o qual foram destinados mais de R\$ 1 milhão⁶⁰, foi chamado de “Energias Renováveis: etanol da cana” (ou Projeto Etanol) e para coordená-lo, o CGEE contratou o professor Rogério Cezar de Cerqueira Leite, e a equipe que ele reuniu (cerca de 20 pesquisadores), por intermédio do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da UNICAMP [F4]. A execução dos estudos ocorreu entre 2005 e 2008 em três fases. Na

⁵⁹ A realização da Iogen, embora ocorrida no Canadá, teria anos depois um envolvimento direto com os desenvolvimentos em hidrólise enzimática do STI do etanol 2G brasileiro, assim como teria o acordo de cooperação científica e tecnológica que o Brasil firmou, meses antes, com a União Europeia para a realização de pesquisas conjuntas em 13 diferentes áreas (Doc. 132). Foi no âmbito desse acordo que, anos depois, recursos financeiros significativos foram disponibilizados para que dois grupos de pesquisadores brasileiros conduzissem investigações relacionadas à obtenção de etanol 2G, também por hidrólise enzimática, conforme será descrito mais adiante.

⁶⁰ Conforme Relatório do Contrato de Gestão MCT-CGEE 2005, os recursos alocados pelo governo federal a esse projeto foram de R\$ 1.075.187,35 (Doc. 84) [F4].

primeira fase, concluída em dezembro de 2005, foi realizado o Estudo sobre as “Possibilidades e Impactos da Produção no País de Grandes Quantidades de Etanol, Visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo” (Doc. 83). A segunda fase tratou da continuação, do aprofundamento e detalhamento deste mesmo estudo (publicado com o mesmo título), porém finalizada em março de 2007 (Doc. 85). A terceira fase, também concluída em 2007 (outubro), correspondeu à realização do “Estudo Prospectivo de Solo, Clima e Impacto Ambiental para o Cultivo de Cana-de-Açúcar e Análise Técnica/Econômica para o Uso de Etanol como Combustível”⁶¹ (Doc. 86).

A primeira e a segunda fases desse projeto parecem relevantes, pois contêm seções dedicadas à descrição e avaliação do desempenho das tecnologias disponíveis de hidrólise de biomassa para a produção de etanol 2G. No texto do relatório publicado na primeira fase (de caráter preliminar), o professor Cerqueira Leite e seus colaboradores discutiram o estágio de desenvolvimento dos processos de hidrólise da Dedini (hidrólise ácida) e da Iogen (hidrólise enzimática), mas, por conta do sigilo dos resultados mantido pela última, somente avaliaram o desempenho do processo DHR da primeira (Doc. 83) [F2]. No relatório da segunda fase (com análises de maior profundidade), esses mesmos processos de conversão de biomassa em etanol 2G foram tratados com maior detalhamento. Inclusive, na descrição do processo de hidrólise da Iogen, os autores parecem ter ido ao Canadá buscar informações mais precisas, uma que vez que relatam ter entrevistado técnicos daquela empresa (Doc. 86) [F2].

Ficou evidente, principalmente no segundo relatório do estudo coordenado pelo professor Cerqueira Leite (fase 2), que a opção tecnológica da Iogen, baseada em hidrólise enzimática, foi a recomendada por ele e sua equipe para o Brasil [F3], pois nas projeções de custos apresentadas, o processo adotado como referência foi fundamentado na proposta daquela empresa e adaptado para as condições brasileiras. Ou seja, considerou-se que o processo de produção de etanol 2G no Brasil deveria ser implementado em instalações anexas às usinas de etanol 1G existentes no país, de modo a combinar as fases de pré-tratamento e sacarificação da biomassa do processo enzimático (segundo a concepção da Iogen) às fases de concentração térmica e fermentação típicas das usinas de etanol brasileiras (Doc. 85).

Em razão dessa opção tecnológica, algumas recomendações oferecidas nesse relatório à Presidência da República foram explicitamente na direção do incentivo à produção do etanol

⁶¹ A realização desse projeto culminou, em 2009, na publicação do livro “Bioetanol Combustível: uma oportunidade para o Brasil” (Doc. 216).

2G e à expansão da pesquisa em hidrólise e bioprocessos relacionados ao etanol, no Brasil, tais como: promover o desenvolvimento de novos processos de produção de etanol, contemplando biotecnologia aplicada a biocombustíveis, métodos bioquímicos e termoquímicos de obtenção de etanol com base em subprodutos e resíduos, e refinarias; implantação de um centro de excelência em pesquisa e desenvolvimento de bioetanol de classe internacional, capaz de complementar e incrementar as competências nacionais em hidrólise de materiais lignocelulósicos entre outras rotas tecnológicas [F3].

Ambas as recomendações advindas do estudo coordenado pelo Prof. Cerqueira Leite parecem ter sido acatadas pelo governo brasileiro, o que legitimou [F7], portanto, a sua incorporação ao Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) 2007-2010 lançado em novembro de 2007 (Doc. 87). Esse plano elaborado pelo MCT elegeu os biocombustíveis, e particularmente o etanol, como uma de 13 áreas estratégicas para a PD&I e programou a alocação de cerca de R\$ 200 milhões [F4] para o suporte a projetos e ações relacionados ao tema, distribuídos ao longo dos quatro anos de sua vigência [F3]. Uma das sete ações prioritárias estabelecidas no PACTI 2007-2010 direcionou a atenção para a pesquisa em hidrólise enzimática de materiais celulósicos e lignocelulósicos bem como a identificação de microrganismos da microbiota brasileira para a otimização do processo de conversão desses materiais com vistas à sua utilização industrial. Três metas relacionadas a essa ação foram definidas: apoiar a consolidação da Embrapa Agroenergia⁶²; criar o Centro de Tecnologia do Etanol (que viria a se chamar CTBE); 3) apoiar o desenvolvimento de duas plantas-piloto de hidrólise enzimática instaladas em usinas de álcool e açúcar em 2009-2010 [F4] (Doc. 87).

A segunda meta, em especial, parece ter sido a origem de um dos principais resultados concretos que contribuíram para a formação do STI do etanol 2G brasileiro, qual seja, a implantação do Centro de Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Com o PACTI 2007-2010 esse projeto ganhou importância e urgência no planejamento das ações no âmbito do MCT, o que leva a entender que sua execução se tornou uma prioridade governamental, legitimado pela autoridade técnica dos estudos coordenados pelo professor Cerqueira Leite (que, por sua vez, foi um grande entusiasta da criação do centro) [F7]. O contrato para a construção das instalações do CTBE, no valor de quase R\$ 7,8 milhões [F4], foi assinado em 14 de janeiro de 2009 (Doc. 88) e as obras começaram ainda no primeiro semestre de 2009 no campus do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas (SP), local onde funciona o

⁶² A Embrapa Agroenergia será tratada na seção 3.2.3.

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), instituição que ficou responsável pela implantação do novo centro.

Em 6 de agosto de 2009, o MCT repassou à associação gestora do LNLS cerca de R\$ 38 milhões para a implantação do CTBE⁶³ (Doc. 89) [F4]. Em 22 de janeiro de 2010, o centro foi inaugurado, embora ainda incompleto em termos de infraestrutura de pesquisa, lacuna que foi preenchida em 2012 quando os últimos laboratórios e a Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP) foram inauguradas com capacidade para produzir 300 litros de etanol 2G/dia⁶⁴. Ao todo foram investidos R\$ 69 milhões no CTBE (Doc. 91) [F4]. A implantação desse centro de pesquisas permitiu a reunião de um corpo de pesquisadores e técnicos especializados que, além de atuarem na P&D de processos relacionados à produção do etanol 2G⁶⁵ [F2], desenvolveram outras linhas de investigação sobre conversão de biomassa em energia e materiais.

Ainda sobre o PACTI 2007-2010, cabe ressaltar que seu lançamento se deu cerca de um mês antes de outro evento relevante ocorrido nos Estados Unidos que, provavelmente, contribuiu para o ímpeto que o etanol 2G e a hidrólise enzimática ganharam no Brasil desde então. Trata-se do lançamento da segunda versão do programa RFS – o RFS2 –, criado pelo governo dos Estados Unidos quando da promulgação, pelo Presidente George W. Bush, do *Energy Independence and Security Act* (EISA) (Doc. 92). Além de ampliar significativamente as quantidades de etanol não celulósico (1G) a serem obrigatoriamente adicionadas à gasolina americana (para 36 bilhões de galões/ano) e estender o prazo de vigência do programa até 2022, o RFS2 antecipou para 2010 o prazo de atingimento das metas para os biocombustíveis avançados⁶⁶ (incluindo 2G) – ainda que em um volume menor do que o originalmente definido pelo RFS1 (100 milhões de galões/ano) –, bem como ampliou os volumes a serem alcançados até o ano de 2022 (16 bilhões de galões/ano até 2022)⁶⁷. Embora tenha estimulado a aceleração

⁶³ Cerca de 95% desse valor correspondem a recursos descentralizados pela FINEP ao MCT (Doc. 89).

⁶⁴ A PPDP é amplamente automatizada e equipada com sensores para a caracterização completa das tecnologias, em termos de balanço de massa-energia. Seus seis módulos independentes são: tratamento físico do bagaço de cana; tratamento físico-químico do bagaço de cana; bioprocessos para produção de microrganismos e metabólitos; hidrólise enzimática do material lignocelulósico; separação e purificação; fermentação alcoólica (Doc. 90).

⁶⁵ No final de 2015, o CTBE contava com 227 funcionários (Doc. 90).

⁶⁶ De acordo com as definições utilizadas pelo RFS2, o etanol 1G produzido no Brasil seria enquadrado como combustível avançado, classificação idêntica à conferida aos combustíveis ditos de segunda geração, tal como o etanol 2G.

⁶⁷ O governo americano já reconheceu que essas metas não seriam atingidas no período 2010-2015, tampouco serão de 2016 a 2022. Por conta disso, a EPA (*Environmental Protection Agency*), gestora do RFS2, vem desde 2011 revisando para baixo os mandatos anuais de produção de combustíveis celulósicos (Doc. 217). Para o ano de 2013, por exemplo, a agência determinou uma redução na meta que passou de cerca de 3,7 bilhões de litros para apenas 53 milhões de litros (Doc. 93).

do desenvolvimento da P&D em tecnologias para a viabilização do etanol 2G, as mudanças nas metas do RFS geraram incertezas acerca da habilidade da indústria americana em suprir os volumes estabelecidos para essa categoria de biocombustível, uma vez que a capacidade instalada para sua produção crescia lentamente. Em função disso, uma das possibilidades consideradas para se atingir as metas do programa seria importar etanol do Brasil (Doc. 81).

Tanto o PACTI 2007-2010 quanto o RFS2 ocorreram após a divulgação do quarto relatório de avaliação do IPCC da ONU em março de 2007. Esse documento de escopo global, a exemplo do relatório anterior, publicado em 2001, destacou o potencial dos biocombustíveis na substituição de parte dos combustíveis fósseis consumidos no mundo e reconhecendo-os como opção para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa com efeitos positivos nas esferas social, ambiental e econômica (Doc. 94). Embora não tenha havido consenso entre os autores responsáveis pelo capítulo de transportes, o relatório do IPCC afirmava que o potencial global dos biocombustíveis dependeria do sucesso no desenvolvimento de novas tecnologias de conversão de biomassa lignocelulósica. Tais tecnologias, incluindo as de hidrólise, foram apontadas como possuidoras de grande potencial na redução de gases de efeito estufa, embora seu desenvolvimento estivesse limitado, pela quantidade disponível de terras agricultáveis, à quantidade economicamente recuperável de resíduos agrícolas e da silvicultura (Doc. 94).

Nota-se, portanto, que aparentemente os estudos coordenados pelo professor Cerqueira Leite, encomendados pelo NAE, da Presidência da República, ao CGEE, via MCT, os programas norte-americanos RFS1 e RFS2 e o quarto relatório do IPCC, parecem convergir no que diz respeito ao reconhecimento da importância dos biocombustíveis derivados da biomassa lignocelulósica para o desenvolvimento sustentável. Tendo ou não sido influenciados por esses eventos do plano internacional, as evidências documentais indicam que as recomendações formuladas pelo referido professor da UNICAMP e sua equipe sensibilizaram e influenciaram o governo federal no tocante à importância de se investir na infraestrutura de C&T visando, principalmente, à P&D em etanol 2G lignocelulósico [F3, F4].

Nos estudos coordenados por Cerqueira Leite, a criação de condições tecnológicas para que o etanol 2G pudesse ser produzido no país foi considerada estratégica para se atingir o objetivo de substituição de 5% a 10% da gasolina consumida no mundo por bioetanol até 2025 (principal premissa norteadora dos estudos realizados). Nesse cenário prospectivo, destilarias de etanol providas de tecnologias de conversão de bagaço e palha de cana-de-açúcar, totalmente baseadas em hidrólise enzimática e acopladas à infraestrutura de produção de etanol 1G, seriam

capazes de quase dobrar a produtividade (medida em litros de etanol por hectares de área de cana colhida) das usinas existentes no país.

3.3.3 Outros eventos ocorridos entre 2005 e 2010

Conforme descrito na seção anterior, no período de 2005 a 2010, o STI do etanol 2G exibiu um significativo progresso científico e tecnológico, em parte, resultado dos trabalhos conduzidos por Cerqueira Leite e colaboradores e dos seus desdobramentos na esfera governamental. Nesse mesmo intervalo de tempo, outros eventos importantes também ocorreram e merecem uma análise cronológica. Voltando ao ano de 2005, pode-se mencionar outra iniciativa do referido professor da UNICAMP: a criação da Rede Bioetanol.

Diante da fronteira tecnológica que o etanol 2G e, particularmente, a hidrólise enzimática representavam, o professor Rogério Cezar Cerqueira Leite (possivelmente convencido e entusiasmado pelos avanços obtidos pela Iogen e pelo NREL) associou-se à professora Elba Bon, do Instituto de Química da UFRJ, para a criação de uma rede formada por mais de 150 pesquisadores seniores ligados a quinze instituições universitárias brasileiras e quatro estrangeiras, assim como por companhias nacionais e do exterior (Doc. 95) [F2]. O propósito explícito da concepção da Rede Bioetanol era a realização de pesquisas sobre processos de hidrólise enzimática para a produção de etanol 2G. Nesse sentido, foi submetido à FINEP, sob a modalidade encomenda⁶⁸, um grande projeto intitulado “Produção de Etanol por Hidrólise Enzimática da Biomassa da Cana-de-Açúcar” [F2]. O mesmo foi aprovado e, em 31 de janeiro de 2006, foi assinado o convênio entre FINEP e Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP (FUNCAMP) no valor de R\$ 3 milhões [F4]. A execução desse projeto se deu entre 2006 e 2009 (Doc. 97).

O objetivo do projeto aprovado pela Rede Bioetanol era o de desenvolver uma tecnologia para a conversão integral da biomassa da cana-de-açúcar (em particular de sua fração lignocelulósica presente no bagaço e na palha) em etanol, de modo que minimizasse a necessidade de expansão da área plantada dessa gramínea. Para tanto, foram realizados estudos sobre a caracterização da biomassa, pré-tratamento (incluindo desenvolvimento de enzimas),

⁶⁸A “encomenda” é um dos instrumentos de seleção para apoio financeiro não reembolsável que a FINEP utiliza, sendo definido por essa agência como um “instrumento destinado a ações específicas de execução de políticas públicas, tendo como requisitos a criticidade e/ou especificidade do tema, a singularidade da instituição ou a existência de competência restrita, podendo ter, entre outras características, a vinculação a prioridades de programas de governo e/ou programas estratégicos da área de ciência, tecnologia e inovação ou a urgência no seu desenvolvimento” (Doc. 96). O termo transversal significa que o projeto de pesquisa se enquadra e obtém recursos provenientes de diferentes fundos setoriais de ciência e tecnologia administrados pela FINEP.

hidrólise, fermentação e otimização energética (Doc. 97). Esperava-se que a tecnologia desenvolvida pudesse utilizar a infraestrutura produtiva das usinas de etanol e açúcar existentes no Brasil de modo a compartilhar os sistemas de tratamento do caldo extraído da cana-de-açúcar, fermentação, destilação, co-geração, tratamento e reciclagem de água e resíduos, bem como laboratórios, sistemas de instrumentação e controle automáticos, gestão e comercialização (Doc. 97).

A coordenação geral da Rede Bioetanol ficou a cargo do professor Cerqueira Leite e a coordenação científica sob a responsabilidade da professora Elba Bon, especialista na pesquisa em enzimas, bem como líder e fundadora do Laboratório de Tecnologia Enzimática (Enzitec) no Instituto de Química da UFRJ. Como o cerne do projeto conduzido pela Rede Bioetanol estava centrado nessa área de pesquisa, o Enzitec foi, entre os laboratórios envolvidos nas investigações, aquele que produziu as principais descobertas e avanços relativos ao processo de conversão enzimática de biomassa em etanol.

Utilizando bagaço de cana-de-açúcar enviado por uma usina localizada no estado de São Paulo, os pesquisadores desse laboratório conseguiram desenvolver um composto enzimático capaz de hidrolisar a biomassa em um processo livre de agentes químicos (ácidos), convertendo em açúcares fermentescíveis as suas frações celulósica e hemicelulósica. Embora não tenha sido possível encontrar na pesquisa documental evidências comprobatórias precisas, é provável que seja esse desenvolvimento tecnológico o fato gerador da patente requerida ao INPI em 19 de novembro de 2007 (Doc. 98), sob o título “Composição de enzimas, Uso da composição na hidrólise enzimática de material lignocelulósico, Processo de produção de enzimas que degradam a fração de polissacarídeos da biomassa, Processo de produção de álcool utilizando a composição de enzimas”⁶⁹[F2], requerida pela Fundação Universidade de Brasília (UNB), a UNICAMP e a UFRJ, conjuntamente.

Em 2005, além da criação da Rede Bioetanol houve dois outros eventos que contribuíram para a formação e desenvolvimento do STI do etanol 2G. O primeiro a ser mencionado, diz respeito à iniciativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em ampliar a sua participação no desenvolvimento da energia renovável com base em produtos e resíduos agropecuários com o lançamento do Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011, em 14 de outubro de 2005 (Doc. 99). Esse plano priorizava quatro cadeias agroenergéticas (etanol combustível, biodiesel, biomassa florestal e biogás), identificando

⁶⁹Patente publicada em 21/07/2009.

perspectivas e oportunidades de mercado e definindo estratégias de P&D, inovação e transferência tecnológica para cada uma delas. Embora parcimoniosamente indicasse em seu texto a existência de pesquisas em hidrólise de biomassa para a produção de etanol 2G, o Plano Nacional de Agroenergia estabeleceu apenas um objetivo muito genérico para essa área: “desenvolver novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar” (Doc. 99).

O outro evento ocorrido em 2005 foi a solicitação, em 11 de novembro, do depósito de patente nacional pela Petrobras relativo ao “Processo de Produção de Etanol a Partir do Hidrolisador da Fração Hemicelulósica do Bagaço de Cana-de-Açúcar em Reator do Tipo Prensa”⁷⁰ (Doc. 100) [F2]. Embora não se tratasse de um processo enzimático (e sim de hidrólise ácida da hemicelulose), sua principal contribuição estava na área biotecnológica na medida em que foi concebido para utilizar uma levedura específica (*Pichia stipitis*) para fermentar o hidrolisado da fração hemicelulósica do bagaço, cujo conteúdo de açúcares é de difícil fermentação pelas leveduras comercialmente conhecidas⁷¹. Desenvolvido numa parceria entre o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES) da Petrobras com o Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da UFRJ (na pessoa do professor Nei Pereira Júnior), esse processo marcou a entrada dessa empresa petroleira como ator ativo no STI do etanol 2G brasileiro.

Em 2006, o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 foi revisado, o que fez com que sua contribuição para o desenvolvimento da P&D em etanol 2G, no Brasil, passasse a ter lastros mais concretos, na medida em que estabeleceu como objetivo estratégico a criação da Embrapa Agroenergia (Doc. 101). Essa nova unidade da Embrapa foi oficialmente estabelecida em maio de 2006 (embora sem possuir instalações próprias) com o objetivo, entre outros, de coordenar a plataforma a PD&I em agroenergia e contribuir para a formulação de políticas públicas nessa área (Doc. 109).

No ano de 2006, a parceria entre o CENPES/Petrobras e a Escola de Química da UFRJ continuou a gerar mais resultados e um ano depois da primeira patente, outro requerimento foi apresentado ao INPI em 30 de novembro de 2006, dessa vez envolvendo tecnologia enzimática. Intitulado “Processo de Produção de Etanol a Partir de Materiais Lignocelulósicos por Via

⁷⁰Patente publicada pelo INPI em 07/08/2007.

⁷¹ Outra contribuição do processo patenteado foi o dimensionamento e construção de um reator do tipo prensa, de escala laboratorial, capaz de evitar a contaminação do hidrolisado obtido por metais durante o tratamento térmico.

Enzimática”⁷²(Doc. 102) [F2], este manteve o processo da patente anterior (hidrólise e fermentação de hemicelulose) e acrescentou uma etapa de sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas da fração celulósica do bagaço de cana.

O comprometimento da Petrobras com as pesquisas em etanol 2G aumentou ainda mais quando, em outubro de 2007, foi inaugurada no CENPES a primeira planta-piloto do Brasil e da América Latina para produção de etanol 2G por meio de hidrólise enzimática (Doc. 103) [F2]. Com capacidade para produzir 220 litros de etanol por tonelada de bagaço de cana⁷³, essa unidade-piloto foi construída em parceria com a UFRJ e outras universidades (Doc. 104). A intenção com essa infraestrutura era estabelecer as bases para que, em 2011, a empresa pudesse inaugurar um planta semi-industrial (escala de demonstração) com capacidade para processar até 10 toneladas de bagaço a cada 32 horas (Doc. 105).

Além da Petrobras, outros novos entrantes sentiram-se estimulados a explorar as oportunidades geradas pelo etanol 2G no Brasil e no mundo⁷⁴. Em abril de 2007, por exemplo, o conglomerado de empresas Votorantim, por meio da Votorantim Novos Negócios, anunciou a criação da empresa Biocell e a intenção de construir uma usina de etanol 2G até o ano de 2010 [F1] com um investimento estimado de US\$ 40 milhões (Doc. 107). Outra empresa que ingressou no STI do etanol 2G foi a Bioenzimas, pequeno empreendimento já atuante no mercado de enzimas para a indústria têxtil, localizado em Caruaru (PE), que, em 2007 [F1], decidiu apostar no potencial da hidrólise enzimática de biomassa. Essa empresa desenvolveu, em conjunto com a Universidade de Caxias do Sul, o “Processo de Obtenção de Enzimas Hidrolíticas, Processo Hidrolítico de Produção de Açúcares Fermentescíveis, Aditivos Compreendendo Açúcares Fermentescíveis e Processo de Produção de Etanol a Partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar”, cujo depósito de patente foi realizado em 06 de julho de 2007 [F2] (Doc. 108)⁷⁵. A Bioenzimas firmou uma parceria com a Biocell e com a Oxiteno para o desenvolvimento do processo de hidrólise, mas nenhuma dessas três empresas deu continuidade aos seus planos comerciais na área de etanol 2G (a Biocell e a Bioenzimas encerraram suas

⁷²Patente publicada em 15/07/2008.

⁷³ A pesquisa documental identificou que em 25/11/2007, essa planta estava processando apenas 10 quilos de bagaço (Doc. 105). Em 23/06/2008, uma reportagem veiculada no jornal O Estado de São Paulo informava que fontes de fora da Petrobras alegavam que a planta até então nunca chegara a funcionar plenamente, o que foi negado pela responsável pela referida infraestrutura (Doc. 106).

⁷⁴ Cabe ressaltar que a Petrobrás até 2008 não atuava no setor de biocombustíveis e suas pesquisas até então se davam no âmbito do CENPES. A partir de julho de 2008, foi criada a subsidiária Petrobrás Bioenergia que atua em sociedade com outras empresas na produção de etanol 1G e do biodiesel. No website da empresa (<http://sites.petrobras.com.br/minisite/petrobrasbiocombustivel/o-que-fazemos/>) ainda consta sua atuação na P&D em etanol 2G (provavelmente através do CENPES).

⁷⁵Patente publicada em 03/03/2009.

operações [F1], já a Oxiten reorientou sua estratégia para o seu *core business* no setor petroquímico [F1]).

Do lado da pesquisa, em agosto de 2007, a Embrapa Agroenergia começou, efetivamente, a operar com a contratação de seu primeiro pesquisador [F2]. Nesse mesmo ano, o primeiro projeto de pesquisa da empresa foi aprovado no CNPq, intitulado “Utilização da Metagenômica, Genômica e Proteômica Visando à Prospecção de Genes e Proteínas de Interesse Biotecnológico para o Setor Sucroalcooleiro”, com apoio financeiro de R\$ 347 mil [F4] (Doc. 109; Doc. 110). Diretamente interessado na hidrólise enzimática de biomassa, esse projeto financiado com recursos do fundo setorial CT-Agro, com vigência de 2007 a 2010, tinha como um de seus objetivos principais a identificação, por meio da metagenômica, de enzimas hidrolíticas de interesse da indústria sucroenergética (Doc. 111) [F2]. A sede da Embrapa Agroenergia, financiada com recursos da FINEP (cerca de R\$ 12 milhões [F4]), foi inaugurada somente em 2 de dezembro de 2010, em Brasília (DF) (Doc. 109; Doc. 110).

Em setembro de 2007 outra nova entrante, a empresa dinamarquesa Novozymes, firmou um acordo com o CTC que marcou o seu ingresso no processo de formação do STI do etanol 2G brasileiro (Doc. 112) [F1, F2]. Embora já atuasse no Brasil desde 2000 com o nome Novozymes (utilizado após a cisão da farmacêutica Novo Nordisk), até então a empresa ainda não oferecia ao mercado brasileiro enzimas para produção de etanol 2G. O objetivo do acordo com o CTC foi a realização conjunta de pesquisas com vistas ao desenvolvimento da produção de etanol baseado no bagaço de cana-de-açúcar e outras biomassas⁷⁶ (Doc. 112). Com a parceria, o CTC agregou a sua *expertise* ao desenvolvimento de tecnologias para a cadeia produtiva do etanol 1G, bem como os conhecimentos acumulados na parceria com a Dedini no processo DHR. Já a Novozymes trouxe a sua experiência em enzimas para conversão de biomassa em etanol acumulada nos Estados Unidos entre 2000 e 2003, por meio de um contrato com o DOE e o NREL, em um projeto que visava a redução do custo das enzimas para a viabilização da tecnologia de hidrólise enzimática naquele país (Doc. 97). A parceria CTC-Novozymes resultou, em 2009, na instalação de uma usina piloto de etanol 2G baseada em hidrólise enzimática – a segunda do Brasil (Doc. 113).

⁷⁶ Anos depois, a Novozymes tornou-se fornecedora de enzimas do CTC para o projeto de P&D em etanol 2G que envolve a operação de uma planta-piloto construída anexa à usina São Manuel, localizada em cidade do mesmo nome, no estado de São Paulo.

Enquanto parcerias eram seladas entre empresas⁷⁷ para o desenvolvimento de P&D em novos processos de conversão de biomassa em etanol 2G, novas patentes de processos já testados em escala de laboratório eram requeridas. Ao longo de 2008, por exemplo, foram formuladas três novas solicitações de depósito junto ao INPI, a seguir apresentadas em ordem cronológica. O CTC, em 23 de junho de 2008, requereu a patente de um “Processo fermentativo compreendendo etapa de pré-tratamento, hidrólise enzimática e produto fermentado utilizando biomassa vegetal lignocelulósica”⁷⁸ (Doc. 114). Essa patente descreve um processo genérico, com diversas possibilidades de fermentação de açúcares extraídos da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar), e que tem como requisitos prévios o pré-tratamento da biomassa pela técnica da explosão a vapor e a hidrólise enzimática do material resultante.

Em 4 de julho de 2008 foi a vez da UNICAMP requerer patente do “Processo de pré-tratamento e hidrólise de biomassa vegetal lignocelulósica e produto para a produção industrial de álcoois”⁷⁹ (Doc. 115) [F2] que, por seu turno, prevê o pré-tratamento alcalino da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar ou outros tipos de resíduos agrícolas) e que o material resultante seja submetido à hidrólise enzimática com fermentação do licor hidrolisado ao final (etapa opcional, já que a patente não dá ênfase a esta parte do processo). Esse processo foi resultado de um projeto de pesquisa de doutorado apoiado pela FAPESP e desenvolvido na Faculdade de Engenharia Química da Unicamp (Doc. 116).

A outra patente solicitada em 2008 originou-se, mais uma vez, das pesquisas conjuntas realizadas entre o CENPES da Petrobras e a UFRJ (grupo de pesquisa do professor Nei Pereira Júnior da Escola de Química). Intitulada como “Processo de produção de um preparado enzimático para hidrólise de celulose de resíduos lignocelulósicos e sua aplicação na produção de etanol”⁸⁰ (Doc. 117), a patente tem como cerne um processo de produção microbiana de enzimas baseado no crescimento do fungo *Penicillium funiculosum*, visando à obtenção de um composto de enzimas capaz de hidrolisar a celulose e a hemicelulose da biomassa para produção de etanol.

As três patentes acima mencionadas refletem resultados de pesquisas aplicadas conduzidas nos âmbitos privado (CTC), público (UNICAMP) e público-privado (CENPES e

⁷⁷ Cabe aqui registrar que o CTC a partir de janeiro de 2011 passou a ser uma empresa com fins lucrativos, o que permite afirmar que todas as parcerias relatadas nos últimos dois parágrafos ocorreram entre organizações empresariais.

⁷⁸ Patente publicada em 11/10/2011.

⁷⁹ Patente publicada em 09/03/2010.

⁸⁰ Patente publicada em 08/09/2010.

UFRJ). Esta última modalidade repetiu-se na UNICAMP, em 2008, por meio de um projeto de pesquisa em biocombustíveis 2G de cana-de-açúcar e seus resíduos, patrocinado pela empresa Shell Brasil como decorrência da chamada “cláusula do 1%” da Lei n. 9.478/1997 (Doc. 45) – que determina que os concessionários da exploração de petróleo e gás invistam em P&D valor equivalente a 1% da receita bruta que obtêm de campos de grande rentabilidade ou com grande volume de produção – e do Regulamento ANP n. 5/2005 (Doc. 119; Doc. 120) vigente à época⁸¹. Sob o título de “Programa de pesquisa para manufatura de biocombustíveis de segunda geração a baixo custo e alta sustentabilidade no Brasil: tecnologia integrada de pré-tratamento e hidrólise”, o projeto foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP [F2], no período 2008-2013, com recursos aprovados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) no montante previsto de aproximadamente R\$ 13 milhões, dos quais R\$ 9 milhões destinados para infraestrutura – que incluía a construção de um laboratório de caracterização de biomassa⁸² (Doc. 121) [F4].

Além da parceria Shell-UNICAMP, a cláusula do 1% beneficiou outros projetos relacionados ao etanol 2G entre 2007 e 2008, que totalizaram um montante de cerca de R\$ 3,5 milhões, valor este alocado somente pela Petrobras. Se considerado o aporte da Shell à UNICAMP, foram destinados à P&D do etanol 2G mais de R\$ 16 milhões nesse período [F4]. A relação dos projetos de pesquisa aprovados pela ANP, gestora da aplicação da referida cláusula está apresentada na Tabela 1 (Doc. 122).

Tabela 1: Relação de projetos de P&D aprovados pela ANP, de acordo com a Lei 9.478/97 e Res. ANP 5/2005 (2007-2008).

Título do Projeto	Instituição	Valor do Projeto (R\$)	Empresa Petrolífera Responsável	Ano de Aprovação
Infra-estrutura Predial, Operacional e Analítica para Implantação de Planta-Piloto Voltada para Projetos de Produção de Celulases com Microrganismos Naturalmente Ocorrentes e Produção de Etanol a partir de Resíduos Agrícolas e Agroindustriais	UFRJ/Escola de Química	2.009.300,00	Petrobras	2007
Estabelecimento de infra-estrutura laboratorial para caracterização da biomassa presente no bagaço de cana-de-açúcar, seus derivados após tratamentos de hidrólise e craqueamento térmico e catalítico	UFRJ/Instituto de Química	852.600,00	Petrobras	2007
Levantamento georreferenciado do potencial de resíduos de cana-de-açúcar	USP/CENBIO	313.280,00	Petrobras	2007

⁸¹ Esse regulamento foi substituído recentemente pelo Regulamento Técnico ANP n. 3/2015 (Doc. 123) e pela Resolução ANP n. 15/2016 (Doc. 124).

⁸² Esse laboratório foi inaugurado em 25/11/2013.

no Brasil visando a produção de álcool combustível através da tecnologia de Hidrólise Enzimática				
Seleção de microrganismos produtores de enzimas para hidrólise de material celulolítico visando à produção de biocombustível	EMBRAPA DF	338.308,95	Petrobras	2008
Projeto de pesquisa e desenvolvimento em biocombustíveis de segunda geração	UNICAMP	12.908.100,00	Shell	2008
	Total	16.421.588,95		

Fonte: Coletado no sítio da

ANP: <http://www.anp.gov.br/?pg=76517&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1465854459411> em 13/06/2016 (Doc. 122)

O fomento a projetos de pesquisa com foco em etanol 2G, tal como o desenvolvido no âmbito da parceria Shell-UNICAMP, parece ter ganhado um impulso significativo a partir de 2008, especialmente, no estado de São Paulo, quando a FAPESP criou o Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia⁸³ (BIOEN) [F2]. A concepção do BIOEN teve como objetivo principal contribuir para o aumento da produtividade do etanol e para a geração de energia com base na biomassa, por meio do estímulo tanto à pesquisa básica quanto à pesquisa aplicada. O programa foi estruturado em cinco vertentes: pesquisa em biomassa com foco no melhoramento da cana-de-açúcar; processo de fabricação de biocombustíveis; aplicações do etanol para motores automotivos; biorrefinarias e alcoolquímica; e impactos sociais e ambientais do uso de biocombustíveis (Doc. 59).

A missão estabelecida para o BIOEN foi a de promover pesquisas acadêmicas e tecnológicas abrangentes sobre cana-de-açúcar e outras fontes de biocombustíveis, de modo a posicionar o Brasil entre os líderes mundiais na pesquisa e no setor de bioenergia (Doc. 125). Outra pretensão do BIOEN era a de atrair e formar pessoal qualificado para pesquisa em bioenergia (Doc. 59). Isso parece, de certa forma, ter acontecido, pois até 2013, o BIOEN já tinha apoiado 426 projetos (260 concluídos) nas modalidades auxílio à pesquisa e de bolsas no Brasil e exterior, muitos deles na área de hidrólise enzimática (Doc. 126) [F2].

Um dos projetos apoiados pelo BIOEN (e também pelo CNPq), e com vinculação direta com a pesquisa científica em etanol 2G, foi o de criação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (INCT Bioetanol), em 2008, por meio do Edital n. 15/2008 MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/FAPEMIG/FAPERJ/FAPESP (Doc. 127), cujo objetivo era a criação de 45 novos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia no Brasil, em diversas áreas temáticas, incluindo a de biocombustíveis [F2]. A proposta apresentada pelo professor Marcos

⁸³ Em 2016, esse programa continuava a fazer parte dos instrumentos de apoio à pesquisa disponíveis na FAPESP.

Silveira Buckeridge, do Instituto de Biociências da USP, foi aprovada para receber apoio financeiro no período de 01 de março de 2009 a 28 de fevereiro de 2015 [F2], no valor de aproximadamente R\$ 3,4 milhões (Doc. 128) [F4].

O INCT Bioetanol foi implantado em 2009 como uma organização virtual, que congrega 29 laboratórios em seis estados do Brasil, com vistas à criação da base científica para o desenvolvimento de processos para a produção do etanol com base na biomassa de cana-de-açúcar [F2]. A essa entidade de ciência e tecnologia virtual foram atribuídos os seguintes objetivos: 1) aumentar a produtividade e a resistência da cana-de-açúcar a estresses; 2) desenvolver bases teóricas e tecnológicas para se obter a expressão das hidrolases e outras enzimas que degradam paredes celulares vegetais; 3) produzir microrganismos com produtividade melhoradas e enzimas de alto desempenho; 4) transferir ativamente o conhecimento produzido no instituto por meio de ações afirmativas de comunicação do INCT Bioetanol com a comunidade científica e empresarial (Doc. 129).

Parte significativa das pesquisas conduzidas e publicadas no âmbito do INCT Bioetanol até 2014 estava relacionada diretamente ao etanol 2G, às enzimas e aos fungos (Doc. 130), áreas de investigação que, a partir de 2009, aparentemente, ganharam um novo impulso, não só por conta dos recursos públicos alocados às pesquisas, mas também pela inserção destas no contexto internacional. Um dos eventos promotores desse processo de internacionalização foi o Edital CNPq 006/2009⁸⁴ Programa de Cooperarção Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração (Doc. 131), lançado em 27 de maio de 2009 [F2]. Tal edital foi um dos desdobramentos do acordo de cooperação científica e tecnológica que, em 2004, o Brasil firmou com a União Europeia para a realização de pesquisas conjuntas em treze diferentes áreas, incluindo a área de biocombustíveis (ver Nota n. 56⁸⁵). Um dos pré-requisitos desse edital era que a proposta de projeto de pesquisa submetida estivesse coordenada com uma proposta europeia submetida ao edital da Diretoria Geral de Pesquisa da União Europeia *FP7-Energy-2009-Brazil: Energy Second Generation Biofuels – EU Brazil Coordinated Call* (no contexto do 7º Programa Quadro de P&D da Comissão Europeia, na área de energia), que fizesse referência explícita à ação conjunta com a proposta brasileira (Doc. 131). Entre as temáticas que poderiam ser contempladas pelas propostas de pesquisa submetidas estavam a

⁸⁴ Edital CNPq n. 006/2009 – MCT/CNPq e Fundações de Amparo à Pesquisa: FAPEAM, FAPDF, FAPEMIG, FAPEPI, FAPESP, FAPERJ, FACEPE, FAPERGS.

⁸⁵ Doc. 132.

conversão bioquímica (por exemplo, hidrólise enzimática) ou termoquímica (por exemplo., hidrólise ácida) de materiais lignocelulolíticos [F3].

Esses editais coordenados foram lançados um mês após o Parlamento e o Conselho Europeus aprovarem a Diretiva n. 2009/28/CE (Doc. 133), em 23 de abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis no bloco europeu. Com essa medida, ficou determinado que até o ano de 2020 pelo menos 20% da energia consumida por cada estado-membro do bloco deveria ser proveniente de fontes renováveis e que, no caso da energia consumida pelo setor de transportes, 10% dela deveria, igualmente, ser oriunda de fontes renováveis. Essa meta para a energia nos transportes criou uma grande oportunidade para o etanol 2G e outros biocombustíveis avançados, à medida em que a referida Diretiva atribuiu a eles o dobro do peso de contribuição dos biocombustíveis convencionais no cálculo do atingimento das metas estabelecidas.

Duas propostas de projeto de pesquisa foram aprovadas no âmbito do edital do CNPq, uma submetida pela professora Elba Bon, do Instituto de Química da UFRJ, intitulada ProEthanol 2G [F2], e a outra submetida pelo professor Igor Polikarpov, do Instituto de Física da USP São Carlos, com o título Centro de Processos Biológicos e Industriais para Biocombustíveis (CEPROBIO) [F2].

A proposta do ProEthanol 2G foi articulada com o projeto europeu de mesmo nome, desenvolvido por um consórcio de pesquisadores formado por representantes de universidades, institutos de pesquisa e empresas de diferentes países da União Europeia, coordenado pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia de Portugal (LNEG). Do lado brasileiro, foi formado um consórcio formado por cinco universidades (UFRJ, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Universidade Regional de Blumenau – FURB), dois institutos de pesquisa (INT e Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais – IVIG) e duas empresas, sendo uma nacional (BIOMM Technology) e uma norte-americana (Blue Sugars Corp.) (Doc. 134).

O objetivo principal do projeto conjunto ProEthanol 2G, explicitamente formulado à luz da obrigação de se ter, até 2020 na União Europeia, ao menos 10% da energia consumida nos transportes proveniente de fontes renováveis, concentrou-se no desenvolvimento de tecnologias avançadas de biologia e engenharia para a produção de etanol 2G, com base nas duas principais biomassas disponíveis na Europa e no Brasil, isto é, palha de trigo e bagaço de

cana-de-açúcar, respectivamente (Doc. 134). A combinação de processos de pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação utilizando cepas adaptadas e robustas de microrganismos foi, também, enunciada como um dos objetivos do ProEthanol 2G. A execução do projeto ocorreu entre 2011 e 2015⁸⁶ e o valor contratado junto ao CNPq foi da ordem de R\$ 3 milhões somente para o consórcio brasileiro [F4] (Doc. 135; Doc. 138).

A proposta do CEPROBIO, por sua vez, foi concebida de forma coordenada com o consórcio de pesquisa europeu *Sustainable Liquid Biofuels from Biomass Biorefining* (SUNLIBB), formado por doze organizações distribuídas entre universidades, centros de pesquisa e empresas (Doc. 136). O CEPROBIO foi projetado para articular o trabalho colaborativo da pesquisa científica e tecnológica em várias áreas relacionadas aos biocombustíveis, envolvendo 44 universidades brasileiras de 12 estados e do Distrito Federal. Entre tais instituições as principais colaboradoras foram USP, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Universidade Federal de Viçosa (UFV), UNICAMP, CTBE e EMBRAPA (Doc. 136).

Com foco no etanol 2G e nas biomassas da cana-de-açúcar, no Brasil, e milho e *miscanthus*, na União Europeia, a iniciativa conjunta SUNLIBB/CEPROBIO estabeleceu cinco objetivos a serem perseguidos ao longo da execução do projeto entre 2011 e 2015⁸⁷: 1) aumentar a qualidade da lignocelulose nas lavouras destinadas à produção de biocombustíveis, de modo a se obter etanol a um custo competitivo; 2) agregar valor ao processo de biorrefino de biomassa, por meio da melhoria de resíduos, subprodutos e desenvolvimento de outros processos alternativos ao etanol; 3) melhorar o processo de conversão pelo qual os açúcares são liberados para fermentação; 4) desenvolver processos integrados que capturem o máximo valor da biomassa lignocelulósica; 5) assegurar que os novos processos desenvolvidos atendam aos requisitos de sustentabilidade (Doc. 137). Os recursos contratados pelo CEPROBIO junto ao CNPq foram de cerca de R\$ 4 milhões [F4] (Doc. 138).

Além dos projetos ProEthanol 2G e CEPROBIO, a União Europeia, por meio do 7º Programa Quadro de P&D, também apoiou o projeto *Conversion of Sugar Cane Biomass into Ethanol* (CANEBIOFUEL), iniciativa de natureza multi-institucional coordenada pela Novozymes A/S (matriz) e com a participação da Universidade Lund (Suécia), Novozymes Latin America (Brasil), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e CTC (Doc. 139) [F2]. Esse

⁸⁶ Apesar desse projeto ter sua execução entre 2011 e 2015, decidiu-se manter sua descrição nesta seção de modo a não se perder a contextualização sob a qual foi concebido e aprovado.

⁸⁷ Idem.

projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um processo economicamente e industrialmente viável para a conversão de bagaço e palha de cana-de-açúcar em açúcares fermentescíveis, bem como: 1) a integração de tal processo à infraestrutura de produção existente de etanol 1G; 2) a compreensão da estrutura da biomassa de cana-de-açúcar; 3) desenvolver um entendimento detalhado do impacto dinâmico entre pré-tratamento e hidrólise enzimática a fim de se projetar o processo e enzimas para conversão de celulose com eficiência de custos (Doc. 139).

O projeto CANEBIOFUEL foi executado entre 1º de março de 2009 e 28 de fevereiro de 2011 e para o seu desenvolvimento a Comissão Europeia disponibilizou cerca EUR\$ 1,6 milhão. Desse valor, pouco mais de EUR\$ 1 milhão foi aplicado no Brasil [F4], distribuído da seguinte maneira, EUR\$ 375.900,00 para a Novozymes Latin America, EUR\$ 327.660,00 para a UFPR e EUR\$ 367.080,00 para o CTC (Doc. 139). Embora a pesquisa documental não tenha encontrado evidências, é possível que o projeto CANEBIOFUEL tenha sido um dos desdobramentos da parceria firmada entre Novozymes e CTC, no ano de 2007, cujo objetivo declarado era o desenvolvimento de pesquisas da mesma natureza daquelas realizadas nesse projeto.

O apoio à P&D multi-institucional promovido pela Comissão Europeia não foi o único incentivo internacional às investigações em processos enzimáticos de conversão de biomassa em 2009. O Japão também colaborou para que a pesquisa avançasse nessa área, por meio do apoio ao projeto *Research on sustainable biofuel production from lignocellulosic biomass resources*, coordenado pela professora Elba Bon, do Instituto de Química da UFRJ [F2]. Esse projeto foi desenvolvido no âmbito do *Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development* (SATREPS), programa do governo japonês (*Japan Science and Technology Agency – JST/Japan International Cooperation Agency – JICA*) de apoio a projetos de pesquisa relacionados a questões globais que envolvam parcerias entre pesquisadores de países em desenvolvimento e pesquisadores japoneses (Doc. 135).

Executado no período 2009-2013 com recursos financeiros da FINEP e da JICA no Brasil e da JST no Japão – da ordem de R\$ 4 milhões⁸⁸ [F4]–, o referido projeto envolveu a colaboração entre pesquisadores da UFRJ, UFSC e do *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) que realizaram missões de intercâmbio no Brasil e no Japão, produziram artigos científicos publicados em periódicos de alto impacto e geraram,

⁸⁸Ou US\$ 2,4 milhões (Doc. 135).

inclusive, uma patente de processo⁸⁹. Como consequência da pesquisa desenvolvida cita-se a participação financeira da JICA na compra de equipamentos e construção do Laboratório do Bioetanol, no campus da UFRJ, o qual foi majoritariamente financiado com recursos da FINEP (Doc. 135).

O ano de 2009 não foi marcado apenas por projetos de P&D financiados com recursos internacionais. O governo brasileiro, por meio da FINEP, também aportou recursos significativos em um projeto de pesquisa de grande envergadura na área de hidrólise enzimática visando à produção de etanol. O projeto foi proposto pelo Instituto de Química da UFRJ, por intermédio da professora Elba Bon, sob o título *Escalonamento da produção de enzimas celulolíticas e acessórias e sua utilização na hidrólise da biomassa da cana e outras biomassas pré-tratadas* [F2], e foi aprovado em 24 de novembro de 2009, na modalidade “encomenda vertical” (FINEP 1421-08), com o valor em torno de R\$ 9,9 milhões (Doc.140; Doc. 135) [F4]. Esse projeto, também conhecido como *Projeto Bioetanol II*, começou a ser executado em 2009 e tem conclusão prevista para 2016. Sua execução resultou na construção do Laboratório do Bioetanol⁹⁰, inaugurado em 2013. As organizações envolvidas no projeto são a UFRJ – por meio do Instituto de Química (Laboratório de Tecnologia Enzimática, Laboratório de Investigação de Fatores de Estresse, Laboratório de Biologia Molecular e Laboratório de Química de Proteínas), Instituto de Microbiologia (Laboratório de Biotecnologia de Actinomicetos) e COPPE (Instituto Internacional de Mudanças Globais) –, INT (Laboratório de Biocatálise), UFSC (Laboratório de Biologia Molecular e Biotecnologia de Leveduras) e a empresa BIOMM (Doc. 141).

Nota-se, portanto, que o ano de 2009 foi caracterizado por ser um período fértil para o desenvolvimento de grandes projetos multi-institucionais de pesquisa científica e tecnológica, em sua maioria de alcance internacional, o que gerou significativa mobilização de recursos financeiros e humanos. O ano de 2010, por sua vez, aparentemente não chegou a registrar eventos dessa mesma natureza e magnitude; contudo, foi um ano marcante para o STI do etanol à medida em que encerrou uma década de formação e desenvolvimentos institucionais e tecnológicos que estabeleceram as bases para um novo período de sua evolução, em que os interesses começaram a convergir para a produção comercial do etanol 2G.

⁸⁹ Por ter sido requerida no ano de 2013, essa patente será mencionada na seção 3.3.

⁹⁰ Por se referir a um evento que ocorreu em 2013, o mesmo será abordado na seção 3.3.2.

Nessa década, cabe observar, que a pesquisa acadêmica continuou a ter em seus três principais fóruns de comunicação científica (SHEB, ENZITEC e SINAFERM) um espaço assegurado para a divulgação de resultados de investigações sobre processos bioquímicos relacionados à obtenção de etanol (1G e 2G), baseado em diversos tipos de biomassas, incluindo o bagaço de cana-de-açúcar, o que parece ter fortalecido o intercâmbio de conhecimentos no âmbito do STI do etanol 2G brasileiro. O SHEB teve no período de 2001 a 2010 três edições (2002, 2005 e 2009), o ENZITEC foi realizado por quatro vezes (2002, 2004, 2006, 2008) e o SINAFERM também por quatro ocasiões (2003, 2005, 2007 e 2009) [F2]. A pesquisa documental não teve acesso aos anais desses eventos, mas a julgar pela programação das palestras e sessões de apresentação de trabalhos de um deles, o SHEB, ficou evidente que nas edições de 2005 e 2009 a temática do etanol 2G obtido por processos enzimáticos ganhou proeminência [F3], haja vista ter sido o assunto tratado em seções específicas por conferencistas convidados (incluindo representantes da iniciativa privada), sem mencionar os trabalhos de pesquisa apresentados oralmente ou em pôsteres (Doc. 142; Doc.143). Esse fato parece configurar uma tendência que coincide com o período em que o interesse pela pesquisa e desenvolvimento em etanol 2G e hidrólise enzimática tiveram grande ímpeto no Brasil, tanto por parte da comunidade científica quanto por parte do governo federal e de empresas.

No ano de 2010, esse interesse parece ter permanecido ativo, uma vez que novos eventos sugerem a continuidade das movimentações da P&D, das parcerias tecnológicas e do próprio poder público em direção à viabilização do etanol 2G. No campo da P&D, cabe registrar que em 14 de julho de 2010 houve a solicitação do depósito de patente do “Processo de produção de etanol a partir da hidrólise enzimática de biomassa, processo de separação de matéria-prima de hidrólise e uso de células de parênquima para a obtenção de etanol”⁹¹ (Doc. 144) [F2], resultado originado do projeto de pesquisa conjunta entre Shell-Unicamp, iniciado em 2008. Como novidade, esse processo ofereceu a possibilidade de se promover a hidrólise enzimática da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar, entre outros materiais) sem a necessidade de se realizar a etapa de pré-tratamento que utiliza métodos físico-químicos.

No que concerne às parcerias tecnológicas, dois acordos celebrados entre empresas se destacaram em 2010. O primeiro envolveu as firmas Novozymes e Dedini que, em julho de 2010, após quatro anos de conversações, assinaram um memorando de entendimento visando ao desenvolvimento de um processo de hidrólise enzimática para a conversão de bagaço de

⁹¹Patente publicada em 05/06/2012.

cana-de-açúcar em etanol e à construção de uma planta de demonstração acoplada à uma usina de etanol 1G (Doc. 145). Chama a atenção nessa parceria o retorno da Dedini aos esforços de P&D em etanol 2G após seu envolvimento por duas décadas com a tecnologia de hidrólise ácida que, por sua vez, não resultou em um processo técnica e economicamente viável. Ficou acordado entre as empresas, nessa ocasião, que na parceria a Dedini colaboraria com seus conhecimentos em hidrólise acumulados durante o desenvolvimento do projeto DHR, bem como forneceria os equipamentos para a instalação da usina de demonstração, enquanto a Novozymes proveria as enzimas (Doc. 145). Apesar da divulgação oficial das intenções subjacentes a esse acordo de cooperação tecnológica por parte de ambas as empresas, a pesquisa documental não encontrou evidências de que tenha havido implementação dos objetivos mutuamente avençados.

A segunda parceria tecnológica a ser mencionada foi a estabelecida entre a Petrobras e a KL Energy Corporation (KLE), as quais, em agosto de 2010, assinaram um termo de desenvolvimento conjunto, com duração de 18 meses, para o aprofundamento dos conhecimentos que a petroleira brasileira havia acumulado até então sobre etanol 2G de bagaço de cana-de-açúcar, por meio do CENPES (Doc. 146) [F2]. Para a implementação do acordo, a Petrobras investiu cerca de US\$ 6 milhões para a adaptação de uma planta de demonstração da KLE, localizada em Upton, no estado americano do Wyoming, que até então processava madeira para a obtenção de etanol (Doc. 147) [F4]. O objetivo dessa adaptação era o de se utilizar bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima e validar, por meio de testes, um novo processo para a produção de etanol 2G (Doc. 146) baseado na tecnologia da KLE de pré-tratamento termo-mecânico e hidrólise enzimática da biomassa. Paralelamente, as duas companhias tinham a intenção de desenvolver um projeto de uma planta de etanol 2G, em escala comercial, que deveria ser integrada a uma das usinas de etanol 1G da Petrobras no Brasil. Para tanto, a empresa brasileira adquiriria a licença da tecnologia da KL Energy por US\$ 5 milhões (Doc. 148).

A Petrobras alegou à época do acordo, por meio de um de seus executivos, que embora a companhia já estivesse envolvida com pesquisas em etanol 2G desde 2004, decidiu-se fazer uma parceria com uma empresa estrangeira, em vez de uma empresa ou universidade brasileira, porque a KLE já estava em estágio avançado de sua P&D (Doc. 149). A KLE, de sua parte, considerava que o fato de possuir uma planta de demonstração, passível de adaptação para o processamento de bagaço de cana em seis meses, economizaria pelo menos um ano e meio de

P&D, uma vez que esse tipo de instalação somente poderia ser construído em dois anos (Doc. 149).

No que diz respeito ao papel do poder público, o ano de 2010 parece ter sido a gênese de mais uma mudança de postura governamental em relação ao apoio à viabilização do etanol 2G. Um artigo publicado por técnicos do Departamento de Biocombustíveis do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da FINEP⁹², intitulado “A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada” (Doc. 150), defendeu o argumento de que a União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil estavam em meio a uma corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração, envidando esforços de PD&I⁹³, criando ambientes institucionais favoráveis e provendo apoio financeiro para a sua viabilização técnica e econômica.

Em vista disso, os autores dirigiram o seu enfoque para o etanol 2G produzido com base em materiais lignocelulósicos, analisando as condições brasileiras para a viabilização desse biocombustível com base na análise das seguintes categorias: papel do governo como criador do ambiente institucional indutor da PD&I em etanol 2G (políticas públicas instituídas pelos diversos ministérios federais), agentes realizadores da PD&I (universidades, centros de pesquisas e empresas privadas e públicas) e responsáveis pelo apoio financeiro (agências de fomento, fundações de amparo à pesquisa e bancos de investimentos públicos e privados). A análise realizada demonstrou a desvantagem relativa do Brasil diante da União Europeia e Estados Unidos, bem como a falta de coordenação de ações do BNDES e da FINEP no apoio financeiro à PD&I em etanol 2G em função de prioridades distintas (e da multiplicidade de projetos apoiados) que cada uma dessas organizações tinha em relação ao suporte a esse biocombustível avançado (Doc. 150).

Em face dessa constatação, o artigo propôs a revisão do modelo de ações descoordenadas utilizadas por BNDES e FINEP, de modo que os recursos de crédito e fomento destinados à viabilização do etanol 2G no Brasil fossem aplicados de forma concatenada [F3]. Com isso, o Brasil teria mais chances de desenvolver o etanol 2G e ainda avançar em outras três frentes: “uso da cana-de-açúcar como matéria-prima para outros produtos de maior valor agregado; valorização dos subprodutos da cana-de-açúcar, especialmente a palha e o bagaço; e o desenvolvimento de novas aplicações para o etanol como insumo para indústrias e processos”

⁹²Nyko, Garcia, Milanez & Dunham (2010).

⁹³ Pesquisa, desenvolvimento e inovação.

(Doc. 150, p. 46). Essa proposta foi acolhida pelo corpo dirigente de ambas as organizações e deu origem a um acordo de cooperação técnica que permitiu, a partir de 2011, a criação de um plano de apoio à PD&I em etanol 2G que levou o processo de formação do STI a um novo nível de sua trajetória evolutiva, mais focado na viabilização do etanol 2G em escala comercial. A seção 3.5 abordará esse e outros eventos que marcaram o período 2011-2015.

No período 1987-2010, portanto, foram identificados 83 eventos na descrição da formação do STI do etanol 2G (Figura 26). A função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] foi a que concentrou o maior número de eventos, 45 ao todo, o que reflete a predominância dos esforços, por parte dos atores do sistema, visando ao avanço da P&D em processos de obtenção de etanol 2G, bem como intercâmbio de conhecimentos e geração de patentes. A função mobilização de recursos [F4] foi a segunda função com maior quantidade de eventos (18), os quais, por sua vez, corresponderam ao incremento dos investimentos de recursos públicos e privados para que as atividades de P&D fossem desempenhadas, sobretudo na área de hidrólise enzimática de biomassa.

A função influência sobre a direção da busca [F3] apresentou nove eventos, cuja ocorrência influenciou, principalmente, a transição das atividades de P&D em hidrólise ácida para a hidrólise enzimática. A função experimentação empreendedora/empresarial [F1] teve cinco eventos referentes ao ingresso ou saída de empresas do STI do etanol 2G, ao passo que a função legitimação [F7] apresentou quatro eventos que expressaram as atividades dos atores do STI com o objetivo de tornar a P&D e o etanol 2G desejado e aceito socialmente. A função desenvolvimento de externalidades positivas [F6], com dois eventos a ela associados, refletiu os benefícios indiretos provocados pelos esforços de se viabilizar comercialmente o etanol 2G no Brasil. Nenhum evento relacionado à função formação de mercado [F5] foi identificado no superperíodo 1987-2010.

Função	Descrição dos eventos (ano)
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	<ul style="list-style-type: none"> • Dedini implanta, com recursos da FAPESP, uma planta de demonstração (UDP), com capacidade para processar cerca de 2 mil quilos/hora de bagaço de cana-de-açúcar e produzir 5 mil litros/dia de etanol 2G (2002). • Criação da Biocell pela Votorantim Novos Negócios (2007). • Entrada da Bioenzimas no negócio de enzimas para produção de etanol 2G (2007). • Novozymes inicia atuação no Brasil para o desenvolvimento da produção comercial do etanol 2G no país (2007). • Dedini desativa sua planta de demonstração (2008-2010).
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	<ul style="list-style-type: none"> • Dedini realiza testes de laboratório que a levam a concluir que é preferível realizar a hidrólise ácida do bagaço de cana-de-açúcar em uma única etapa (data imprecisa, mas aparentemente por volta de 1986-1987). • Dedini e Rhodia firmam parceria para a P&D em hidrólise ácida (data imprecisa, mas aparentemente por volta de 1986-1987). • Criação do ENZITEC (Seminário Nacional de Tecnologia Enzimática), evento científico bianual que, entre outros temas, discute produção de biocombustíveis por via enzimática (1993). • Retomada do Simpósio de Hidrólise Enzimática após 7 anos da última edição (1994). • Dedini deposita a patente PI-9600672-2 do <i>Processo de Hidrólise Ácida Rápida de Material Lignocelulósico e Reator de Hidrólise</i> (1996). • Rhodia decide encerrar a parceria com a Dedini (1996). • Dedini e CTC firmam acordo de parceria para a continuidade do desenvolvimento do processo de hidrólise rápida que passou a ser chamado Dedini Hidrólise Rápida (DHR); como parte do acordo, a planta-piloto da Dedini foi transferida para o CTC (1997). • Parceria entre Dedini, CTC e FAPESP é firmada, mediante o programa Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (PITE) da FAPESP, para desenvolvimento do projeto <i>Processo DHR: projeto, implantação e operação da unidade de desenvolvimento de processo (UDP)</i>(2002). • Publicado o estudo <i>Estado da arte e tendências das tecnologias para energia</i>, de autoria do professor Isaías Macedo, da UNICAMP, e encomendado pela Secretaria do CT-Energ (2003). • Publicação do estudo <i>Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil</i>, encomendado pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República ao CGEE, por meio do MCT (2004). • Dedini deposita a patente PI-0505212-2 <i>-Aperfeiçoamentos em Processo de Hidrólise Ácida Rápida de Material Lignocelulósico e em Reator de Hidrólise</i>(2005). • Depósito da patente (PI-0505299-8) <i>Processo de Produção de Etanol a Partir do Hidrolisador da Fração Hemicelulósica do Bagaço de Cana-de-Açúcar em Reator do Tipo Prensa</i> pela Petrobras (2005). • Publicação da primeira fase do <i>Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção no País de Grandes Quantidades de Etanol, Visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo</i>, no qual os processos de hidrólise da Iogen e Dedini são discutidos (2005). • Oxiteno firma parceria com FAPESP para o desenvolvimento de pesquisas de interesse da empresa nas áreas de alcoolquímica e sucroquímica visando à colocação em prática do conceito de biorrefinarias (2006). • FAPESP lança chamada de propostas de pesquisa FAPESP-Oxiteno contendo 8 áreas temáticas relacionadas à hidrólise (ácida e enzimática) de biomassa (2006). • Formação da Rede Bioetanol e aprovação pela FINEP do projeto de pesquisa <i>Produção de Etanol por Hidrólise Enzimática da Biomassa da Cana- de-Açúcar</i>(2006).

	<ul style="list-style-type: none"> • Depósito da patente (PI-0605017-4) <i>Processo de Produção de Etanol a Partir de Materiais Lignocelulósicos por Via Enzimática</i> pela Petrobras (2006). • Publicação da segunda fase do <i>Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção no País de Grandes Quantidades de Etanol, Visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo</i>, no qual os processos de hidrólise da Iogen e Dedini são avaliados (2007). • Inauguração pelo CENPES/Petrobras de planta-piloto para produção de etanol 2G por meio de hidrólise enzimática (2007). • Fim do projeto <i>Processo DHR: projeto, implantação e operação da unidade de desenvolvimento de processo (UDP)</i>, apoiado pela FAPESP, com a conclusão de que o processo DHR era inviável economicamente (2007). • Dedini celebra novo convênio com a FAPESP, segundo o qual seriam aportados R\$ 100 milhões para o apoio a projetos de pesquisa de interesse da empresa, parte deles relacionado ao etanol 2G (2007). • Início do funcionamento da Embrapa Agroenergia e aprovação no CNPq do projeto <i>Utilização da Metagenômica, Genômica e Proteômica Visando à Prospecção de Genes e Proteínas de Interesse Biotecnológico para o Setor Sucroalcooleiro</i>(2007). • Criação do Centro de Tecnologia do Bioetanol (CTBE) com infraestrutura para realização de pesquisas em hidrólise enzimática, a exemplo da Planta-Piloto para Desenvolvimento de Processos, inaugurada em 2010 (2007). • Depósito da patente (PI-0703302-8) <i>Processo de Obtenção de Enzimas Hidrolíticas, Processo Hidrolítico de Produção de Açúcares Fermentescíveis, Aditivos Compreendendo Açúcares Fermentescíveis e Processo de Produção de Etanol a Partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar</i> pela empresa Bioenzimas e Universidade de Caxias do Sul, conjuntamente (2007). • Depósito da patente (PI-0705744-0), <i>Composição de enzimas, Uso da composição na hidrólise enzimática de material lignocelulósico, Processo de produção de enzimas que degradam a fração de polissacarídeos da biomassa, Processo de produção de álcool utilizando a composição de enzimas</i>, requerida pela Fundação Universidade de Brasília (UNB), a UNICAMP e a UFRJ, conjuntamente (2007). • Oficialização da parceria entre Novozymes e CTC para a realização conjunta de pesquisas com vistas ao desenvolvimento da produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar e outras biomassas (2007). • Aprovação do projeto <i>Infra-estrutura predial, operacional e analítica para implantação de planta-piloto voltada para projetos de produção de celulasas com microrganismos naturalmente ocorrentes e produção de etanol a partir de resíduos agrícolas e agroindustriais</i> (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2007). • Aprovação do projeto <i>Estabelecimento de infraestrutura laboratorial para caracterização da biomassa presente no bagaço de cana-de-açúcar, seus derivados após tratamentos de hidrólise e craqueamento térmico e catalítico</i> (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2007). • Aprovação do projeto <i>Levantamento georreferenciado do potencial de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil visando à produção de álcool combustível através da tecnologia de hidrólise enzimática catalítico</i> (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2007). • FAPESP lança chamada de propostas de projetos de pesquisa em áreas de interesse da Dedini, entre elas a hidrólise ácida (para o desenvolvimento do processo DHR) e a hidrólise enzimática (2008). • Depósito da patente (PI-0802153-8) <i>Processo fermentativo compreendendo etapa de pré-tratamento, hidrólise enzimática e produto fermentado utilizando biomassa vegetal lignocelulósica</i> pelo CTC (2008). • Depósito da patente (PI-0802559-2) <i>Processo de pré-tratamento e hidrólise de biomassa vegetal lignocelulósica e produto para a produção industrial de álcoois</i> pela UNICAMP (2008).
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Depósito da patente (PI-0805560-2) <i>Processo de produção de um preparado enzimático para hidrólise de celulose de resíduos lignocelulósicos e sua aplicação na produção de etanol</i> pela Petrobras (2008). • Aprovação do projeto <i>Programa de pesquisa para manufatura de biocombustíveis de segunda geração a baixo custo e alta sustentabilidade no Brasil: tecnologia integrada de pré-tratamento e hidrólise</i>, por meio da parceria UNICAMP e Shell (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2008). • Aprovação do projeto <i>Seleção de microrganismos produtores de enzimas para hidrólise de material celulolítico visando à produção de biocombustível</i> (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2008). • Criação do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN) (2008). • Aprovação da criação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol com recursos do CNPq e do Programa BIOEN da FAPESP (2008). • Aprovação da proposta do projeto ProEthanol 2G (coordenado pelo IQ/UFRJ), articulada com o projeto europeu homônimo, no âmbito do edital CNPq 006/2009 - Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração (2009). • Aprovação da proposta do projeto CEPROBIO (coordenado pela USP São Carlos), coordenada com o consórcio de pesquisa europeu <i>Sustainable Liquid Biofuels from Biomass Biorefining</i> (SUNLIBB), no âmbito do edital CNPq 006/2009 - Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração (2009). • Aprovação do projeto <i>Conversion of Sugar Cane Biomass into Ethanol</i> (CANE BIOFUEL), no âmbito da União Europeia, por meio do 7º Programa Quadro de P&D (2009). • Aprovação do projeto <i>Research on sustainable biofuel production from lignocellulosic biomass resources</i> no âmbito do programa do governo japonês <i>Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development</i> (SATREPS) e com apoio financeiro da <i>Japan International Cooperation Agency</i> (JICA) e FINEP (2009). • Aprovação pela FINEP do projeto <i>Escalonamento da produção de enzimas celulolíticas e acessórias e sua utilização na hidrólise da biomassa da cana e outras biomassas pré-tratadas</i> (Projeto Bioetanol II - UFRJ) (2009). • Depósito da patente (PI-1004486-8) <i>Processo de produção de etanol a partir da hidrólise enzimática de biomassa, processo de separação de matéria-prima de hidrólise e uso de células de parênquima para a obtenção de etanol</i> pela UNICAMP (2010). • Novozymes e Dedini assinam memorando de entendimento visando ao desenvolvimento de um processo de hidrólise enzimática para conversão de bagaço de cana-de-açúcar em etanol e à construção de uma planta de demonstração acoplada à uma usina de etanol 1G (2010). • Petrobras e KLEnergy Corporation assinam um termo de desenvolvimento conjunto, com duração de 18 meses, para o aprofundamento dos conhecimentos sobre etanol 2G de bagaço de cana-de-açúcar (2010).
Influência sobre a direção da busca [F3]	<ul style="list-style-type: none"> • Os eventos ENZITEC e SHEB tornam-se os principais fóruns científicos sobre processos biotecnológicos no Brasil, em especial na área de processos biotecnológicos de obtenção de etanol (a partir de 1993 e 1994, respectivamente). • O estudo <i>Estado da arte e tendências das tecnologias para energia</i> recomenda que se reúnam grupos de pesquisadores brasileiros interessados no desenvolvimento das tecnologias ácida, enzimática e <i>organosolv</i>, tendo em vista o potencial de biomassa disponível a baixo custo no Brasil (2003). • O estudo <i>Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil</i>, faz estimativas do custo do litro do etanol 2G assumindo como referência a ser seguida no Brasil a configuração do processo desenvolvido no NREL (2004).

	<ul style="list-style-type: none"> • Regras da chamada de propostas de pesquisa FAPESP-Oxiteno de sugere a emergência de uma tendência na direção do desenvolvimento da pesquisa em hidrólise enzimática (2006). • Na segunda fase do <i>Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção no País de Grandes Quantidades de Etanol, Visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo</i>, o Prof. Cerqueira Leite recomenda ao governo federal: 1) a promoção de novos processos de produção de etanol, por meio de biotecnologia aplicada à conversão de biomassa; 2) a implantação de um centro de excelência em pesquisa e desenvolvimento de bioetanol de classe internacional, capaz de complementar e incrementar as competências nacionais em hidrólise de materiais lignocelulósicos entre outras rotas tecnológicas; 3) a implantação de duas plantas-piloto de hidrólise enzimática (2007). • Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) 2007-2010 incorpora recomendações do <i>Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção no País de Grandes Quantidades de Etanol, Visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo</i> e define como ações prioritárias o apoio à pesquisa em hidrólise enzimática a implantação do CTBE (2007) • Regras da chamada de propostas de pesquisa FAPESP-Dedini sugerem a emergência de uma tendência na empresa em direção ao desenvolvimento da pesquisa em hidrólise enzimática (2008). • Lançamento do Edital CNPq 006/2009 - Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração, com chamada de propostas de projetos de pesquisas coordenadas com projetos submetidos ao edital da Diretoria Geral de Pesquisa da União Europeia <i>FP7-Energy-2009-Brazil: Energy Second Generation Biofuels – EU Brazil Coordinated Call</i> (no contexto do 7º Programa Quadro de P&D da Comissão Europeia, na área de energia) (2009). • Publicação do artigo <i>A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada</i> (Nyko, Garcia, Milanez & Dunham, 2010) propondo a revisão do modelo de ações descoordenadas utilizadas por BNDES e FINEP, de modo que os recursos de fomento e crédito destinados à viabilização do etanol 2G no Brasil fossem aplicados de forma concatenada (2010).
Mobilização de recursos [F4]	<ul style="list-style-type: none"> • Dedini obtém empréstimo do Banco Mundial, por intermédio da Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC, para instalação de um planta-piloto com capacidade para 100 litros de etanol/dia (data imprecisa, mas aparentemente por volta de 1986-1987). • Dedini obtém empréstimo junto à FINEP para complementação de sua planta-piloto e laboratório (1992). • FAPESP, por meio do programa PITE, desembolsou inicialmente R\$ 1,75 milhão (no total aproximadamente R\$ 3,8 milhões após contratos aditivos) em recursos subvencionados para a implantação da planta de demonstração da Dedini (em parceria com CTC), com uma contrapartida de R\$ 1,82 por parte da empresa (2002). • O governo brasileiro aplica mais de R\$ 1 milhão no estudo prospectivo <i>Energias Renováveis: etanol da cana</i> (ou <i>Projeto Etanol</i>), coordenado pelo Prof. Rogério Cerqueira Leite, através do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) (2005). • FINEP assina convênio com a FUNCAMP no valor de R\$ 3 milhões para a execução do projeto <i>Produção de Etanol por Hidrólise Enzimática da Biomassa da Cana-de-Açúcar</i>(2006). • Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) 2007-2010 programa a alocação de cerca de R\$ 200 milhões [F4] para o suporte de projetos e ações relacionados ao tema do etanol (2007). • Investimento de R\$ 38 milhões para o início da implantação do CTBE (R\$ 69 milhões de investimento total até 2010) e constituição de corpo profissional (227 funcionários ao fim de 2015) (2007). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 2 milhões, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Infra-estrutura predial, operacional e analítica para implantação de planta-piloto voltada para projetos de produção de celulasas com microrganismos naturalmente ocorrentes e produção de etanol a partir de resíduos agrícolas e agroindustriais</i> (2007).

	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 850 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Estabelecimento de infraestrutura laboratorial para caracterização da biomassa presente no bagaço de cana-de-açúcar, seus derivados após tratamentos de hidrólise e craqueamento térmico e catalítico</i> (2007). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 313 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Levantamento georreferenciado do potencial de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil visando à produção de álcool combustível através da tecnologia de hidrólise enzimática catalítico</i> (2007). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 13 milhões, por parte da Shell, para o projeto <i>Programa de pesquisa para manufatura de biocombustíveis de segunda geração a baixo custo e alta sustentabilidade no Brasil: tecnologia integrada de pré-tratamento e hidrólise</i> (2008 - 2013). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 338 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Seleção de microrganismos produtores de enzimas para hidrólise de material celulolítico visando à produção de biocombustível</i> (2008) • Alocação de R\$ 3 milhões pelo CNPq para o consórcio brasileiro envolvido no projeto ProEthanol 2G, no âmbito do edital CNPq 006/2009, para execução no período 2011-2015 (2009). • Alocação de R\$ 4 milhões pelo CNPq para o consórcio brasileiro envolvido no projeto CEPROBIO, no âmbito do edital CNPq 006/2009, para execução no período 2011-2015 (2009). • Alocação de cerca de EUR\$ 1 milhão, por parte do 7º Programa Quadro de P&D da União Europeia, à Novozymes Latin America (Brasil) para execução do projeto CANEBIOFUEL (2009). • Alocação de cerca de R\$ 4 milhões, por parte da JICA e FINEP, para a execução do projeto <i>Research on sustainable biofuel production from lignocellulosic biomass resources</i> no período 2009-2013 (2009). • Alocação de cerca de R\$ 9,9 milhões, por parte da FINEP, para a execução do projeto <i>Escalonamento da produção de enzimas celulolíticas e acessórias e sua utilização na hidrólise da biomassa da cana e outras biomassas pré-tratadas</i>(Projeto Bioetanol II - UFRJ)(2009). • Petrobras investe US\$ 6 milhões na adaptação de uma planta de demonstração da KLEnergy, localizada no estado americano do Wyoming, visando testar o bagaço de cana-de-açúcar brasileiro como matéria-prima e validar, por meio de testes, um novo processo para a produção de etanol 2G baseado na tecnologia da KLE de pré-tratamento termo-mecânico e hidrólise enzimática (2010).
Formação de mercado [F5]	Não houve evento(s).
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	<ul style="list-style-type: none"> • A implantação do CTBE pelo governo federal permitiu reunir em um só lugar um corpo de pesquisadores e técnicos especializados que além de atuarem na P&D de processos relacionados à produção do etanol 2G, ampliaram sua atuação para outras linhas de investigação sobre conversão de biomassa em energia e materiais (2007-2012). • A criação do Programa BIOEN pela FAPESP surge como uma iniciativa de atrair e formar pessoal qualificado para pesquisa em bioenergia (sobretudo em etanol), o que parece ter ocorrido, pois até 2013 já tinha apoiado 426 projetos (260 concluídos) nas modalidades auxílio à pesquisa e de bolsas no Brasil e exterior, muitos deles na área de hidrólise enzimática (2008-2013).
Legitimação [F7]	<ul style="list-style-type: none"> • O CTC, na condição de centro de pesquisa habilitado a receber recursos públicos de fomento, conferiu legitimidade à Dedini a convencer a FAPESP a apoiar o projeto DHR (2002).

	<ul style="list-style-type: none">• Mesmo sem a parceria do CTC, o histórico comprometimento de recursos financeiros e humanos da Dedini com a P&D dedicada ao projeto DHR, bem como a sua importância como fornecedora de equipamentos para o setor sucroenergético nacional, lhe conferiram legitimidade para celebrar convênio de R\$ 100 milhões junto à FAPESP (2007).• A autoridade técnica da análise prospectiva e das recomendações contidas na série de estudos coordenados pelo Prof. Rogério Cerqueira Leite (<i>Energias Renováveis: etanol da cana ou Projeto Etanol</i>), convenceram o governo federal e legitimaram o seu apoio à expansão da pesquisa em hidrólise e bioprocessos relacionados ao etanol no Brasil (2007).• A autoridade técnica da análise prospectiva e das recomendações contidas na série de estudos coordenados pelo Prof. Rogério Cerqueira Leite (<i>Energias Renováveis: etanol da cana ou Projeto Etanol</i>), convenceram o governo federal e legitimaram o seu apoio à construção do CTBE (2007).
--	--

Figura 25: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 1987 e 2010.

Fonte:Dados da pesquisa

3.4 Análise do período 1987-2010

A análise interpretativa da descrição dos eventos do período 1987-2010, relacionados na Figura 22, permite inferir como se manifestaram as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas na formação do STI do etanol 2G e de que forma influenciaram esse processo no (Figura 27). A influência e a vinculação de cada uma das manifestações dessas categorias institucionais serão tratadas nas seções 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3.

Instituições	Manifestação	Funções do STI do etanol 2G vinculadas
Regulatórias	Regras formais do programa Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (PITE) da FAPESP favoreceram a continuidade da P&D em hidrólise ácida pela Dedini.	F1, F2, F3, F4, F7
	Regras formais estabelecidas pela Chamada de Propostas FAPESP-Oxiten , com base no programa PITE, definiram áreas temáticas que direcionaram propostas de pesquisa para em hidrólise ácida e hidrólise enzimática que atendiam ao interesse da Oxiten na implantação de biorrefinarias.	F2, F3, F4
	Regras formais da Chamada de Propostas FAPESP-Dedini , também elaborado à luz dos critérios do programa PITE, áreas temáticas de interesse da Dedini, das quais duas estavam voltadas à hidrólise de biomassa: uma direcionada para a hidrólise ácida, como forma de dar continuidade à P&D do processo DHR, e outra direcionada para a hidrólise enzimática e gaseificação de biomassa.	F2, F3
	Regras formais do Edital CNPq 006/2009 Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração , lançado em 27 de maio de 2009, direcionaram as propostas de pesquisa em produção de biocombustíveis por hidrólise enzimática, uma vez que o interesse científico e tecnológico pela hidrólise ácida havia, aparentemente, perdido força.	F2, F3, F4
	Lei 9.478/97 e Regulamento ANP 5/2005 que, respectivamente, determina a aplicação de 1% da receita bruta das empresas petrolíferas em P&D e rege a aplicação da referida lei. Cinco projetos de pesquisa relacionados ao etanol 2G, no valor total de cerca de R\$ 16,5 milhões, foram apoiados no âmbito dessa legislação pelas empresas Shell e Petrobras.	F2, F4
	Lei 9.279/96 que introduziu o novo código de propriedade industrial (que substituiu a Lei n. 5.772/1971). Embora não explicitada, essa legislação estava implícita nas patentes requeridas e publicadas pelo INPI.	F2
Normativas	Economicidade (custo e viabilidade econômica) dos processos de conversão de biomassa	F1, F2, F4, F7
	Sustentabilidade ambiental implícita nas decisões governamentais e no interesse de pesquisadores no que se refere ao desenvolvimento de tecnologias de conversão de biomassa em etanol	F2, F3, F4, F6, F7
	Internacionalização da pesquisa acadêmica e das parcerias tecnológica sem grandes projetos de P&D	F2, F4
Cultural-Cognitivas	Paradigma da hidrólise ácida permanece, ainda que em menor intensidade, e apenas com o processo DHR da Dedini, a influenciar a P&D relacionada ao etanol 2G, pelo menos entre 1987 a 2002.	F1, F2, F3, F4, F7
	Paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial começa a se consolidar como	F1, F2, F3, F4, F7

	orientação para a P&D em lugar do paradigma da hidrólise ácida	
	Paradigma da pesquisa em rede (incluindo redes de colaboração pesquisadores-empresas) emerge como forma de arranjo interorganizacional nas atividades de P&D relacionadas ao etanol 2G	F2, F3, F4, F7

Figura 26: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 1987-2010, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.4.1 Instituições regulatórias

Ao longo do interregno 1987-2010 foi possível identificar as instituições de natureza regulatória que cumpriram papel relevante no redirecionamento do STI do etanol 2G para a rota enzimática de conversão da biomassa em etanol, o que significou, praticamente, o abandono da P&D em hidrólise ácida (alvo dos esforços de uma única empresa: a Dedini) na segunda metade dos anos 2000. Verificou-se que as principais manifestações institucionais regulatórias se deram por meio de regras formais contidas em três chamadas de propostas de pesquisa e em um edital, as quais exerceram influência no direcionamento da busca de soluções tecnológicas e na mobilização de recursos para a viabilização do etanol 2G. Embora o alcance dessas regras tenha se restringido somente ao campo de influência dessas chamadas de propostas e do edital, a sua contribuição para o processo formativo do STI do etanol 2G foi notória.

A primeira evidência institucional nesse sentido a ser destacada, diz respeito ao conjunto de regras formais contidas no programa Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (PITE) da FAPESP que, por sua vez, favoreceu à continuidade da P&D em hidrólise ácida no Brasil protagonizada desde os anos 1980 pela empresa Dedini. A exigência de se ter uma instituição de pesquisa envolvida no processo de P&D a ser financiado, feita por esse programa, permitiu com que a tecnologia DHR e sua inventora, a Dedini, ganhassem legitimidade [F7] (ou elegibilidade) perante à FAPESP, uma vez que o CTC era, por meio de um acordo de cooperação, parceira da empresa. Após a FAPESP avaliar, com base nos critérios previstos pelo PITE, o tipo de inovação e risco tecnológicos associados ao projeto submetido por Dedini-CTC, sua decisão foi pela concessão do apoio financeiro que, ao todo, alcançou cerca de R\$ 3,8 milhões [F4] para a construção de uma usina de demonstração [F1] acoplada a uma usina de etanol 1G, com o objetivo de produzir conhecimentos adicionais sobre determinados parâmetros da tecnologia DHR em um escala pré-comercial. Os testes e avaliações realizados a partir da operação dessa planta geraram novos conhecimentos sobre a rota da hidrólise ácida que permitiram o aperfeiçoamento do processo DHR, gerando inclusive uma nova patente [F2].

Por outro lado, essa mesma unidade semi-industrial foi responsável por demonstrar a inviabilidade econômica do processo DHR – que coincidiu com o término da vigência do programa PITE e com o fim da parceria com o CTC -, o que, em última análise, redirecionou a atenção da P&D da Dedini para os desenvolvimentos em hidrólise enzimática que já estavam em curso no Brasil [F3]. As funções vinculadas ao conjunto de regras definidas pelo PITE se vincularam, portanto, com as seguintes funções do STI do etanol 2G: F1, F2, F3, F4, F7.

O efeito regulatório do programa PITE foi estendido para duas outras iniciativas da FAPESP, isto é, as chamadas de propostas de pesquisa FAPESP-Oxiten-BNDES e FAPESP-Dedini. Elaborados à luz dos critérios de seleção definidos por aquele programa, tais chamadas foram decisivas para a inflexão da P&D empresarial na direção da hidrólise enzimática. No caso da Oxiten, o seu maior interesse estava na geração de conhecimentos sobre processos de conversão de biomassa para aplicá-los ao desenvolvimento do conceito de biorrefinarias [F2]. Para o financiamento dos projetos de pesquisa selecionados foi disponibilizado um montante de até R\$ 6 milhões [F4], sendo R\$ 1,5 milhão provenientes da FAPESP, R\$ 1,5 milhão do BNDES e R\$ 3 milhões disponibilizados pela Oxiten. A maior parte dos temas pré-estabelecidos na chamada cobria linhas de pesquisa relacionadas à hidrólise ácida e enzimática. Apesar de apenas três projetos, dos sete selecionados, terem sido apoiados com recursos financeiros, um deles voltado ao estudo de hidrólise enzimática, baseado no texto do documento da chamada de propostas, é uma evidência de que esta rota tecnológica estava emergindo como objeto de interesse da P&D empresarial. Isso parece indicar o início de um novo direcionamento da busca tecnológica [F3], deslocando o paradigma da hidrólise ácida, até então prevalente, para uma posição secundária na agenda da pesquisa em conversão de biomassa e etanol 2G. As funções vinculadas ao conjunto de regras da chamada Fapesp-Dedini foram: F2, F3, F4.

No caso da Dedini, das cinco áreas temáticas definidas em seu respectivo documento de chamada de propostas, duas estavam voltadas à hidrólise de biomassa, sendo uma direcionada para a hidrólise ácida – como forma de dar continuidade à P&D do processo DHR – e outra direcionada para a hidrólise enzimática e à gaseificação de biomassa. Tal como evidenciado na chamada FAPESP-Oxiten, a chamada FAPESP-Dedini sinalizou a emergência da pesquisa em hidrólise enzimática como temática concorrente da hidrólise ácida [F3] na busca por recursos para a realização de pesquisas e geração de novos conhecimentos [F2] – embora apenas um projeto tenha sido apoiado com recursos e, mesmo assim, em área diversa da hidrólise. No entanto, a Dedini, por conta de seu envolvimento e investimentos históricos com a hidrólise ácida, parecia relutar em deslocar essa rota tecnológica para uma posição secundária em sua

agenda de P&D. As funções que se vincularam às regras do edital FAPESP-Dedini foram F2 e F3.

A exemplo das chamadas de propostas de pesquisa acima mencionadas, as regras contidas no edital CNPq 006/2009 Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de biocombustíveis de Segunda Geração, de 2009, também tiveram o condão de direcionar a P&D desenvolvida no STI do etanol 2G para a hidrólise enzimática. Esse edital, de natureza internacional, foi elaborado com lastro no acordo de cooperação científica e tecnológica que o Brasil firmou em 2004 com a União Europeia para realização de pesquisa em treze diferentes áreas. Uma de suas temáticas de pesquisa era a conversão bioquímica ou termoquímica de matérias lignocelulósicas, o que, em outras palavras, abria margem para submissão de propostas de pesquisa que contemplassem tanto a hidrólise ácida como a hidrólise enzimática (ou ambas). Como no ano de 2009 os esforços de pesquisa em hidrólise ácida pareciam ter perdido força, essa pré-definição temática favoreu o direcionamento das propostas de pesquisa submetidas para a área de hidrólise enzimática [F3], pois os dois projetos selecionados, o CEPROBIO, da USP São Carlos, e o Proethanol 2G, da UFRJ, estavam assentados, especificamente, na geração de novos conhecimentos em processos enzimáticos [F2]. Os recursos mobilizados para a execução desses projetos totalizaram R\$ 7 milhões [F4]. As funções vinculadas às regras desse edital foram, portanto, F2, F3 e F4.

Além das regras formais constantes das chamadas de propostas de pesquisa e do edital acima mencionados, o processo de formação do STI do etanol 2G foi influenciado por instituições regulatórias de caráter mais abrangente que também contribuíram para que as atividades de P&D fossem impulsionadas. Tais instituições se manifestaram através da Lei n. 9.478/97 (1997) – que determina que os concessionários da exploração de petróleo e gás invistam em P&D valor equivalente a 1% da receita bruta que obtêm de campos de grande rentabilidade ou com grande volume de produção – e do Regulamento n. 5/2005 (2005) que, por sua vez, ordena a aplicação da referida lei. Por meio desses instrumentos legais impositivos (embora não necessariamente direcionados ao etanol 2G, já que a decisão sobre a área de P&D onde aplicar os recursos cabe a cada empresa), a geração e difusão de conhecimentos foi favorecida com pelo menos cinco projetos de pesquisa apoiados [F2], para os quais foram mobilizados, por parte das duas empresas petrolíferas, recursos próximos de R\$ 16,5 milhões [F4] somente entre 2007 e 2008. Um dos projetos, de valor expressivo (cerca de 13,5 milhões), foi financiado pela empresa Shell numa parceria com a UNICAMP e, os quatro restantes, foram apoiados pela Petrobras, no valor de, aproximadamente, R\$ 3,5 milhões, destinados à Escola

de Química e ao Instituto de Química da UFRJ, à USP e à EMBRAPA. Essas manifestações institucionais regulatórias vincularam-se, portanto, às seguintes funções do STI do etanol 2G: F2 e F4.

Por fim, outra instituição regulatória que contribuiu para a formação do STI do etanol 2G no período 1987-2010, ainda que de forma discreta, foi a Lei n. 9.279/96 (1996), nova lei de propriedade industrial que substituiu a Lei n. 5.772/71 (1971). Foi já sob essa nova legislação que a patente do conhecimento gerado [F2] pela P&D da Dedini em seu processo DHR foi publicada em 2007. O reconhecimento dessa lei é mandatório não somente por representar o arcabouço legal principal que, de 2006 em diante, passou a garantir a proteção dos direitos de propriedade intelectual no Brasil, mas porque ela abriu a possibilidade de proteção intelectual dos produtos e processos do setor de biotecnologia, tais como microrganismos geneticamente modificados. Com a introdução dessa novidade, o STI do etanol 2G obteve de forma antecipada o amparo legal para a proteção patentária, por exemplo, de processos de hidrólise enzimática, baseados em microrganismos, que nos anos 2000 começaram a se tornar possíveis por conta do redirecionamento das atividades de P&D para essa rota tecnológica. A Lei n. 9.279/96 (1996) vinculou-se, portanto, à função F2.

A Figura 28 ilustra as vinculações entre instituições regulatórias e as funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

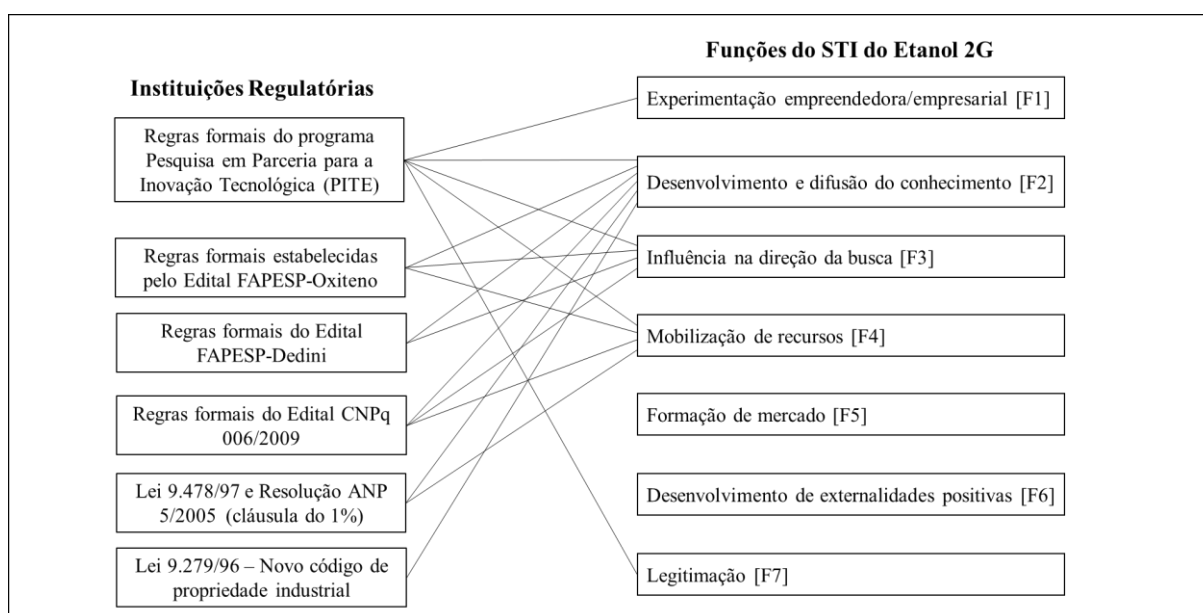


Figura 27: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.4.2 Instituições normativas

A análise da trajetória da formação do STI do etanol 2G entre 1987 e 2010 permitiu identificar três manifestações institucionais de caráter normativo que parecem ter influenciado a dinâmica dos esforços de P&D dos atores do sistema nesse período: norma da economicidade, imperativo ambiental e internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas.

A norma da economicidade, a exemplo do período 1975-1986, e como parece ser típico em muitos processos de inovação em geral, esteve implícita ao longo de todos os esforços dos atores do STI do etanol 2G, porém com maior intensidade no período em que a Dedini e CTC, apoiadas com recursos financeiros próprios e da FAPESP [F4], trabalharam juntas para viabilizar a hidrólise ácida (projeto DHR) em escala comercial no Brasil entre 2002 e 2007. A busca por economicidade dessa tecnologia foi a razão pela qual a Dedini desenvolveu parcerias com essas duas organizações para ampliar a escala de sua P&D [F2] de piloto para demonstração. Construída a planta de demonstração [F1] e após realizar testes mediante a sua operação, o custo final de produção do etanol 2G obtido foi, de fato, reduzido, mas não o suficiente para competir com o etanol 1G. Outro problema que afetou a economicidade do processo DHR tinha a ver com a abrasão e corrosão do equipamento utilizado, o que exigiria mais investimentos caso o seu desenvolvimento fosse continuado. Em suma, a falta de eficiência econômica do processo DHR, foi a principal causa da sua descontinuidade. No caso das pesquisas realizadas com hidrólise enzimática [F2], nota-se também uma preocupação implícita dos atores do STI em relação aos custos dessa rota tecnológica ante a hidrólise ácida e ao próprio etanol 1G. Todavia, por se tratar de uma linha de investigação emergente no Brasil, a prioridade da alocação de fundos do governo federal [F4] e da comunidade de pesquisadores parece que estava, em um primeiro momento, mais concentrada na multiplicação de esforços de P&D que contribuíssem para o nivelamento (ou superioridade) do país em relação ao estado-da-arte da pesquisa científica e tecnológica internacional em conversão enzimática de biomassa em etanol, do que propriamente com a efetiva eficiência econômica. Mas, ainda assim, esta continuava a ser um importante critério para legitimar ou deslegitimar [F7] a utilidade das tecnologias em desenvolvimento. Portanto, a instituição normativa da eficiência econômica vinculou-se às funções F1, F2, F4, F7.

Outra instituição normativa identificada foi a sustentabilidade ambiental, imperativo social implícito nas decisões governamentais e no interesse de pesquisadores no que se refere ao desenvolvimento de tecnologias de conversão de biomassa lignocelulósica em etanol

baseadas em hidrólise enzimática. A relação entre essa rota tecnológica e a sustentabilidade ambiental foi suscitada pelo terceiro e quarto relatórios de avaliação do clima produzidos pelo IPCC da ONU em 2001 e 2007, respectivamente. Nesses relatórios a tecnologia de hidrólise enzimática, entre outras, é apontada como tendo grande potencial para a produção de biocombustíveis, o que contribuiria, assim, para a substituição de parte dos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a redução de gases de efeito estufa. Esse prognóstico, e o estado-da-arte das pesquisas e as tecnologias de hidrólise desenvolvidas à época no mundo, parecem ter influenciado as recomendações que autores de estudos prospectivos fizeram ao governo brasileiro quanto à necessidade e a oportunidade de se estruturar a P&D no Brasil em etanol 2G, baseada principalmente em hidrólise enzimática. O argumento da sustentabilidade ambiental contido nessas recomendações, juntamente com a argumentação técnica e estratégica, foi acolhido pela esfera governamental, contribuindo para o direcionamento da busca por soluções e conhecimentos tecnológicos [F3]. Além disso, conferiu legitimidade [F7] às iniciativas de alocação de recursos e de formulação de política pública (vide PACTI 2007-2010) que impulsionaram as atividades de P&D em hidrólise enzimática no Brasil entre 2006 e 2010, conforme segue.

No intervalo 2006-2010, em particular, merecem destaque quatro projetos de pesquisa de grande envergadura apoiados no Brasil, a saber: os projetos “Produção de Etanol por Hidrólise Enzimática da Biomassa da Cana-de-Açúcar (Rede Bioetanol)” e “Escalonamento da Produção de Enzimas Celulolíticas e Acessórias e sua Utilização na Hidrólise da Biomassa da Cana e Outras Biomassas Pré-tratadas (Projeto Bioetanol II)”, no âmbito da FINEP; e os projetos ProEthanol 2G e CEPROBIO, no âmbito do edital do CNPq 006/2009, em parceria com a União Europeia [F2]. Todos esse projetos foram voltados à produção de etanol via hidrólise enzimática e movimentaram recursos que, somados, atingiram cerca de R\$ 20 milhões [F4]. Em termos de infraestrutura de pesquisa o governo federal proveu recursos da ordem de R\$ 69 milhões [F4] para a implantação do CTBE, centro de pesquisas especializado em tecnologia para o etanol, em especial processos baseados em hidrólise enzimática. Todas essas iniciativas em nível federal se somaram a outras ações promotoras do etanol 2G por hidrólise enzimática ocorridas no país, por meio da parceria entre FAPESP, empresas (Dedini e Oxiten) e universidades (Programa BIOEN) ou por meio de novas patentes de processos de obtenção de etanol 2G (ao todo seis) resultantes de projetos de P&D desenvolvidos individualmente ou em parceria [F2]. Como consequência de todos esses eventos, em especial a criação do CTBE e do Programa BIOEN, uma importante externalidade positiva começou a ganhar corpo, ou

seja, iniciou-se um gradativo processo de formação de mão de obra qualificada [F6] envolvida diretamente na pesquisa científica e tecnológica voltada à viabilização do etanol 2G no Brasil. Em suma, a sustentabilidade ambiental, enquanto manifestação institucional normativa, vinculou-se às funções F2, F3, F4, F6 e F7.

Por último, a análise da descrição do processo de formação do STI do etanol 2G apontou a emergência de outra instituição de caráter normativo: a internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas, sobretudo no que diz respeito a grandes projetos de investigação relacionados ao etanol 2G. O primeiro movimento nesse sentido foi dado a partir da formação, em 2005, da Rede Bioetanol com vistas à execução, a partir de 2006, do projeto de pesquisa “Produção de Etanol por Hidrólise Enzimática da Biomassa da Cana-de-Açúcar”, cujo arranjo interorganizacional envolveu mais de 150 pesquisadores de 15 universidades brasileiras e 4 estrangeiras, assim como empresas nacionais e do exterior (orçado em R\$ 3 milhões) [F2, F4]. Em 2009, a tendência à internacionalização se fortaleceu, à medida que outros projetos de pesquisa foram aprovados e operacionalizados por meio de parcerias internacionais entre instituições de pesquisa, órgãos de governo e empresas, tais como: o ProEthanol 2G e CEPROBIO (orçados em cerca de R\$ 3 milhões e R\$ 4 milhões, respectivamente), o CANEBIOFUEL (orçado em cerca de EUR\$ 1 milhão) e o *Research on sustainable biofuel production from lignocellulosic biomass resources*, realizado sob a parceria JICA-UFRJ (orçado em cerca de R\$ 4 milhões) [F2, F4]. Portanto, além da contribuição para a geração e difusão de conhecimentos sobre hidrólise enzimática e produção de etanol 2G, todos esses projetos internacionais, para serem levados a efeito, mobilizaram recursos de significativa monta que dinamizaram a formação do STI.

No que diz respeito às parcerias tecnológicas, a mesma tendência internacionalizante parece ter ocorrido. Em 2007, o primeiro evento de parceria internacional de P&D [F2] foi o que envolveu a empresa dinamarquesa Novozymes e o CTC (parceria de natureza similar foi firmada com a Dedini em 2010, mas aparentemente não prosperou). Embora a Novozymes já tivesse operações no Brasil, a P&D de enzimas voltadas à produção de etanol 2G constituía uma nova área de negócios da empresa cujo desenvolvimento, até então, estava sendo realizado em outros países, como, por exemplo, nos Estados Unidos, por meio da cooperação da empresa com o DOE e NREL entre 2000 e 2003. Outro exemplo de parceria internacional se deu em 2010 entre a Petrobras e a empresa norte-americana KL Energy (posteriormente chamada Blue Sugars Corp.), em que a primeira investiu US\$ 6 milhões para a adaptação de uma planta de demonstração da segunda, localizada em Upton no estado americano do Wyoming, com o

objetivo de utilizar bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima e validar, por meio de testes, um novo processo para a produção de etanol 2G [F2]. Portanto, a internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas, enquanto instituição normativa, vinculou-se com as funções F2 e F4 do STI do etanol 2G.

A Figura 29 representa as vinculações entre instituições normativas e as funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

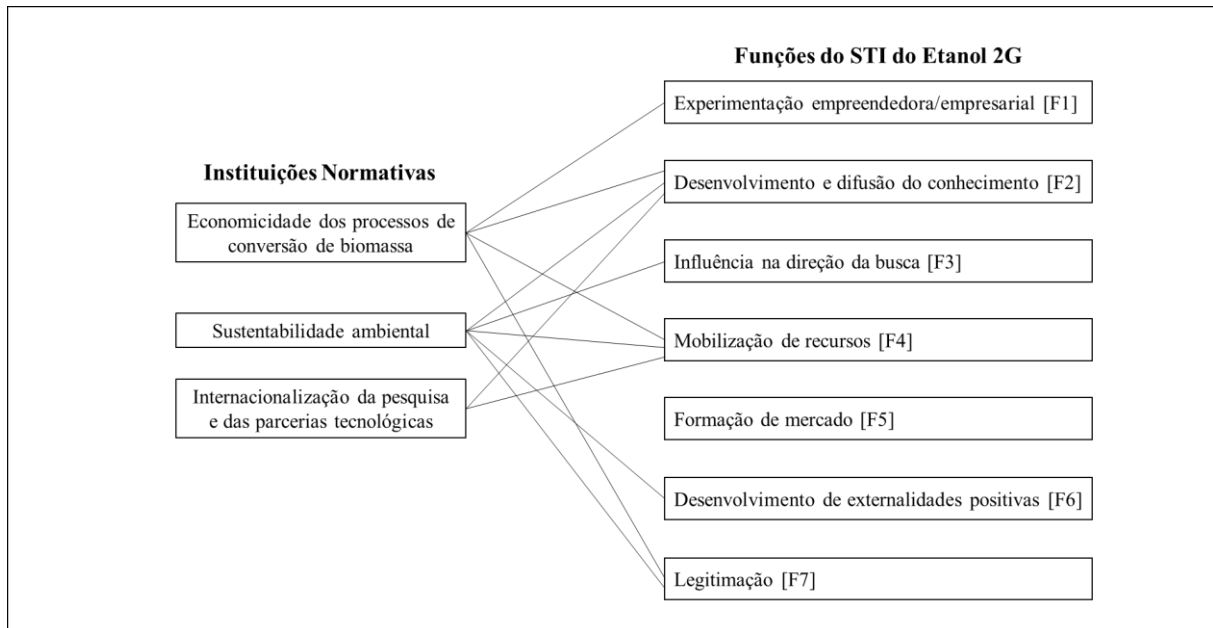


Figura 28: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.4.3 Instituições cultural-cognitivas

No campo das instituições cultural-cognitivas, o caso da formação do STI do etanol 2G brasileiro aponta para a existência de, pelo menos, três forças institucionais que parecem ter moldado as ações dos atores do sistema ao longo do período 1987-2010: o paradigma da hidrólise ácida, o paradigma da hidrólise enzimática e a pesquisa organizada em rede.

O paradigma da hidrólise ácida, herdado do início da formação do STI do etanol 2G, permaneceu influenciando a direção da busca [F3] da Dedini (posteriormente em conjunto com o CTC) que insistiu em viabilizar o processo DHR entre 1987 a 2008. Nesse período, a tecnologia desenvolvida pela Dedini era a única solução nacionalmente disponível para a conversão de biomassa em etanol, o que a tornou, portanto, a única referência conhecida sobre inovação nessa área. Por falta de concorrência tecnológica, a Dedini com o suporte do CTC,

obteve legitimidade [F7] para estabelecer um acordo com a FAPESP (Programa PITE), por meio do qual as atividades de geração (e difusão) de conhecimentos [F2] relacionados ao processo DHR avançaram para a escala de planta de demonstração [F1]. Entretanto, a viabilidade técnica e econômica do processo não foi provada, o que frustrou os planos da Dedini, CTC e FAPESP de promoverem o DHR para a escala comercial e, com isso, compartilharem os ganhos de seu licenciamento. Apesar desse revés, a crença de que a hidrólise ácida ainda fosse promissora fez com que significativos montantes [F4] continuassem a ser investidos no apoio ao desenvolvimento dessa rota tecnológica, seja por meio de uma parceria da FAPESP com a empresa petroquímica Oxiteno (que também acreditava na hidrólise ácida como tecnologia de base para biorrefinarias), seja por meio da renovação da parceria da FAPESP com a Dedini (porém, sem o CTC). Ambas as parcerias se traduziram em chamadas de propostas de pesquisas, lançadas em 2006 e 2008, respectivamente, que definiram, entre outros temas de investigação, a hidrólise ácida – numa visível tentativa de manter a direção da busca alinhada a essa rota tecnológica [F3]. O paradigma da hidrólise ácida vinculou-se às seguintes funções do STI do etanol 2G: F1, F2, F3, F4, F7.

Com o declínio do paradigma da hidrólise ácida, devido à sua inviabilidade, começou a emergir um outro paradigma tecnológico com forte influência sobre a direção do processo de busca dos atores do STI do etanol 2G: o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial. Os desenvolvimentos em curso no final dos anos 1990 nos Estados Unidos (NREL) e no Canadá (Iogen), somados às avaliações constantes do terceiro e quarto relatórios produzidos pelo IPCC, no início dos anos 2000, eram evidências fortes de que a hidrólise enzimática estava na agenda da P&D em biocombustíveis em outros países. As notícias sobre esses acontecimentos chegaram ao Brasil e geraram recomendações à Presidência da República, por meio de estudos prospectivos sobre a área de biocombustíveis encomendados ao CGEE, que sugeriam a organização da P&D em torno da hidrólise enzimática, bem como a mobilização de recursos financeiros e humanos para a realização de projetos de pesquisa e implantação de infraestrutura especializada.

Impulsionado por essas recomendações, o governo federal alocou recursos financeiros substanciais, via MCT, FINEP e CNPq, ao apoio de projetos e infraestrutura de pesquisa (CTBE, Embrapa Agroenergia) com base na hidrólise enzimática de resíduos agrícolas (palha) e industriais (bagaço) da cana-de-açúcar, o que estimulou e legitimou [F7] ainda mais o interesse de pesquisadores, empresas e outros órgãos de fomento por essa rota, direcionando, assim, a busca tecnológica para o campo da biotecnologia (microrganismos e enzimas) aplicado

àquela biomassa [F3]. Com a formação desse novo ambiente, mais recursos privados e públicos (nacionais e internacionais) [F4] foram destinados à geração e difusão de conhecimentos em etanol 2G [F2], novos empreendimentos foram atraídos para o STI do etanol 2G (Biocell, Bioenzimas e Novozymes) [F1], projetos de pesquisas sobre processos de hidrólise enzimática para produção de etanol a partir da cana-de-açúcar se multiplicaram [F2], infraestruturas foram implantadas (laboratórios e plantas-piloto) e, pelo menos, cinco patentes foram requeridas e publicadas. Todos esses eventos geraram, como externalidade positiva, o surgimento de um contingente de mão de obra especializada com conhecimentos de ponta no que se refere a processos de pré-tratamento de biomassa (sobretudo bagaço), hidrólise e produção de etanol 2G [F6]. Portanto, o paradigma da hidrólise enzimática se vinculou às funções F1, F2, F3, F4, F6 e F7.

Finalmente, a terceira força institucional de caráter cultural-cognitivo identificada foi o paradigma da pesquisa em rede. Essa forma de arranjo interorganizacional parece ter se iniciado como prática no STI do etanol 2G, a partir de 2006, com o primeiro grande projeto de pesquisa sobre hidrólise enzimática, coordenado pelo professor Rogério Cerqueira Leite (UNICAMP) com recursos da FINEP, o qual envolveu mais de 150 pesquisadores de 15 universidades brasileiras e quatro estrangeiras, assim como empresas nacionais e do exterior. Porém, foi no ano de 2009 que as redes multiorganizacionais ganharam força com os projetos ProEthanol, CEPROBIO e CANEBIOFUEL (instituições de pesquisa do Brasil e países da União Europeia), *Research on sustainable biofuel production from lignocellulosic biomass resources* (instituições de pesquisa do Brasil e Japão) e INCT Bioetanol e *Projeto Bioetanol II* (instituições de pesquisa brasileiras) [F2]. A formação dessas redes, além de permitir a troca e a complementaridade de conhecimentos necessários à geração e difusão de conhecimentos [F2], parece ter legitimado [F7] e justificado os substanciais montantes de recursos [F4] nelas aportados pelas entidades de fomento (uma vez que, em alguns casos, sua formação era exigida em edital), bem como facilitado o compartilhamento de uma direção de busca tecnológica comum que convergiu para a hidrólise enzimática [F3]. A colaboração em rede, como expressão institucional cultural-cognitiva, estabeleceu, portanto, vínculos com o STI do etanol 2G por meio das funções F2, F3, F4, F7.

A Figura 30 representa as vinculações entre instituições cultural-cognitivas e as funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

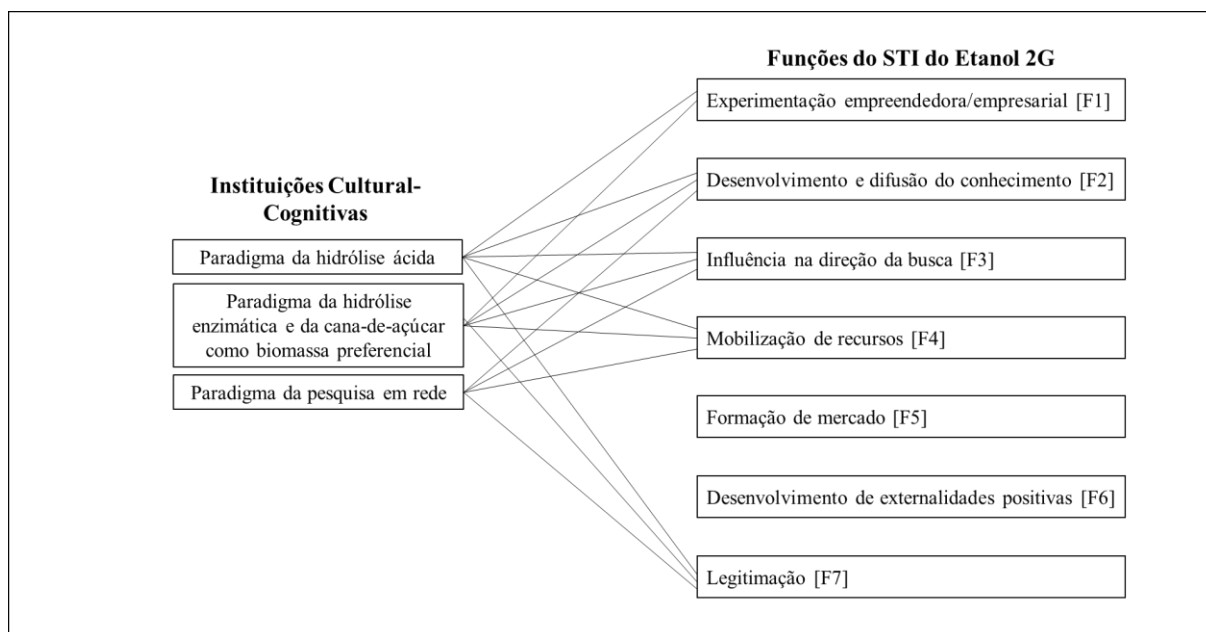


Figura 29: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.5 Período 2011-2015

3.5.1 O estímulo governamental à produção do etanol 2G em escala comercial

O último período da análise aqui realizada iniciou-se com um evento que redirecionou o STI do etanol 2G para mais próximo da concretização da viabilidade comercial dos desenvolvimentos tecnológicos promovidos entre 1987 e 2010. Isso ocorreu porque após a publicação, em 2010, do estudo realizado por técnicos do Departamento de Biocombustíveis do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da FINEP⁹⁴ (Doc. 150), em que diagnosticaram a posição de desvantagem do Brasil na corrida mundial pelos biocombustíveis celulósicos, o BNDES e a FINEP uniram esforços e, em março de 2011, lançaram o edital do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico⁹⁵ (PAISS Industrial). Com R\$ 1 bilhão de previsão orçamentária inicial [F4], esse programa de financiamento objetivou, a exemplo do que já fora conquistado no etanol 1G, direcionar novas iniciativas empresariais que visassem

⁹⁴ Nyko, Garcia, Milanez & Dunham (2010).

⁹⁵ Neste trabalho será tratado com maior destaque a primeira edição do PAISS por estar diretamente relacionada ao etanol 2G. O PAISS teve uma segunda edição, o PAISS Agrícola, lançado em 17 de fevereiro de 2014, cujo foco era: 1) o desenvolvimento e produção pioneira de tecnologias agrícolas; e 2) adaptação de sistemas industriais; ambos inseridos nas cadeias produtivas da cana-de-açúcar e/ou de outras culturas energéticas compatíveis, complementares e/ou consorciáveis com o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar (Doc. 151).

ao protagonismo produtivo e tecnológico do etanol 2G brasileiro no plano internacional [F3] (Doc. 150).

O PAISS Industrial foi resultado de um grande esforço de articulação e coordenação entre as equipes do BNDES e da FINEP e entre essas equipes e os patrocinadores internos e externos, tais como as diretorias de ambas as organizações e os ministérios envolvidos na iniciativa, em particular, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)⁹⁶. Sua criação surgiu da constatação de que a tecnologia industrial de produção do etanol 1G estava próxima de seus limites teóricos de aumento de produtividade e do reconhecimento, por outro lado, de que se as novas tecnologias de conversão de biomassa de segunda geração em desenvolvimento no Brasil e no mundo fossem adotadas, ganhos substanciais de produtividade, em torno de 50% em termos de litros de etanol por hectare, poderiam ser adicionados à produção nacional de etanol 1G – ou seja, cerca de 10 bilhões de litros a mais e R\$ 12 bilhões de faturamento extra para o setor sucroenergético (Doc. 150).

No diagnóstico que precedeu à formulação do PAISS Industrial, realizado em 2010, verificou-se, no entanto, que essas novas rotas tecnológicas contavam com baixo investimento privado de P&D no Brasil, contrastando com o maior investimento realizado por empresas públicas e instituições de C&T. Estas, por seu turno, estavam desprovidas de visão estratégica de mercado, seus projetos, além de escassos, eram difusos e de pouca envergadura, as pesquisas realizadas eram consideradas pouco ambiciosas, descoordenadas e com pouco ou nenhum viés comercial e, além disso, havia no país apenas duas plantas-piloto de etano 2G (CENPES/Petrobras e CTC) e nenhuma planta demonstrativa ou comercial (Doc. 150).

Diante dessas condições, a solução encontrada pela equipe conjunta (BNDES e FINEP), responsável pela formulação do PAISS Industrial, foi restringir esse novo instrumento de apoio financeiro apenas às empresas interessadas em investir na P&D e exploração comercial de tecnologias inovadoras para a produção de etanol 2G e, em vez de requerer planos de desenvolvimento tecnológico dos postulantes do financiamento, solicitar a submissão de planos de negócios. A ideia subjacente a esse procedimento era a de comparar entre si os planos de negócio e, uma vez selecionados os melhores, indicar aos postulantes o instrumento de apoio do BNDES ou FINEP mais apropriado para cada etapa da inovação pretendida (crédito,

⁹⁶ Além do MCTI, os outros ministérios envolvidos na formulação do PAISS Industrial foram Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) e Ministério de Minas e Energia (MME). No caso da formulação do PAISS Agrícola, além desses ministérios, houve a colaboração do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

participação acionária, recursos não reembolsáveis para projetos cooperativos entre empresa e instituição de C&T, ou subvenção econômica), a depender da natureza e do estágio de seu desenvolvimento – o que do ponto de vista das práticas até então em uso nas duas instituições foi considerado algo inédito (Doc. 150).

O edital do PAISS Industrial orientou a direção da busca tecnológica [F3] de forma bem focalizada à medida que definiu, *a priori*, três linhas temáticas gerais (Linha 1: etanol celulósico; Linha 2: novos produtos; Linha 3: tecnologias de gaseificação) e linhas específicas, as quais estabeleceram que: a biomassa da cana-de-açúcar deveria, necessariamente, estar na base de todas as propostas submetidas; a rota biotecnológica, de forma ampla, deveria alicerçar as linhas temáticas do etanol 2G e novos produtos; enquanto as tecnologias de gaseificação seguiriam a rota termo-química [F3, F7] (Doc. 150). O processo de análise e seleção de propostas foi organizado em três etapas: manifestação de interesse de empresas; submissão de planos de negócios por parte de empresas selecionadas; estruturação de plano de suporte conjunto, com vistas à indicação dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis no BNDES e na FINEP mais adequados a cada plano de negócio selecionado (Doc. 152).

Na etapa de manifestação de interesse, que se deu entre março e junho de 2011, 57 empresas se apresentaram como postulantes aos recursos do PAISS Industrial. Em agosto de 2011, foi divulgado o resultado dessa primeira etapa, ou seja, anunciou-se que 39 empresas haviam sido selecionadas, para as quais foi solicitada a submissão dos respectivos planos de negócios (Doc. 150). Após o processo de análise, em dezembro de 2011, o BNDES e FINEP divulgaram o resultado final do PAISS, registrando que 35 planos de negócios, de 25 empresas diferentes, foram selecionados (Doc. 150). Os projetos derivados desses planos de negócios somaram R\$ 3,3 bilhões, dos quais R\$ 2,4 bilhões já estavam aprovados ou contratados em 2013 (Doc. 153). Nesta seção analítica, serão abordados três projetos apoiados pelo PAISS: sendo um de produção em escala de demonstração (CTC) e dois de produção em escala comercial (GranBio e Raízen), todos baseados em tecnologias de hidrólise enzimática⁹⁷. Seguindo a cronologia dos eventos, serão descritos os empreendimentos CTC, GranBio e Raízen, nessa ordem.

⁹⁷ Aparentemente, outros três projetos foram aprovados, sendo um da Petrobras (planta comercial de 40 milhões de litros/ano), um da Abengoa (planta comercial de 64 milhões de litros/ano) e outro da Odebrecht Agroindustrial (planta demonstrativa de 3 milhões de litros/ano). Contudo, tais projetos parecem não ter sido executados até o momento em que se realizou a pesquisa documental para este trabalho, pois não foram encontradas evidências que indicassem o contrário.

A primeira empresa a contratar e investir recursos do PAISS para a construção de infraestrutura para a produção de etanol 2G foi o CTC, cuja experiência na P&D em hidrólise enzimática remonta a 2007, quando estabeleceu uma parceria com a Novozymes, e a 2009, com a instalação da planta-piloto resultante dessa parceria⁹⁸. Logo após assinar o contrato com BNDES e FINEP, em dezembro de 2012, no valor inicial de R\$ 227 milhões [F4] (que após suplementação alcançou R\$ 350 milhões), o CTC firmou contrato com a Usina São Manoel, localizada em São Manoel (SP), para a construção de uma planta demonstrativa de etanol 2G acoplada à sua infraestrutura de produção de etanol 1G (Doc. 154). As obras dessa planta semi-industrial começaram em 2013 e, após quase um ano de trabalhos e investimentos, da ordem de R\$ 80 milhões, foi inaugurada em julho de 2014 [F1].

Com capacidade para produzir 3 milhões de litros/ano (220 dias), a planta do CTC foi concebida com o objetivo de permitir o *scale-up* do processo de conversão da biomassa utilizado para a fase comercial e, ao mesmo, tempo possibilitar o seu contínuo desenvolvimento tecnológico (Doc. 155). Os principais parceiros para a operação da planta foram a empresa austríaca Andritz, que forneceu equipamentos para os processos de pré-tratamento e hidrólise e a Novozymes, para o fornecimento de enzimas (Doc. 156).

A missão estabelecida pelo CTC para o etanol 2G foi enunciada nos seguintes termos: “oferecer ao setor sucroenergético nacional o pacote tecnológico mais competitivo para a produção de etanol celulósico, integrado ao sistema de produção de primeira geração, criando valor aos seus acionistas” (Doc. 113, p. 13). Com base nessa declaração de missão, depreende-se que o CTC, seguindo a sua tradição de fornecedor de tecnologia para a indústria brasileira de etanol e açúcar, optou por vender a esse setor seu pacote tecnológico proprietário para produção de etanol 2G, em vez de produzi-lo comercialmente com plantas próprias.

A proposta de valor estabelecida pelo CTC para a comercialização futura de seu processo tecnológico consistia dos seguintes itens: planta de etanol 2G integrada ao processo industrial do etanol 1G; recolhimento sustentável da palha de cana-de-açúcar; desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar mais apropriadas para o etanol 2G; engenharia conceitual e de processo; Laboratório de Biotecnologia Industrial; Programa de desenvolvimento contínuo e otimização da tecnologia de etanol 2G (Doc. 113). Para a entrega dessa proposta de valor, a empresa definiu como estratégia comercial licenciar o processo desenvolvido por meio da cobrança de um adiantamento de honorário tecnológico (*upfront fee*)

⁹⁸ Aparentemente os testes com essa planta-piloto ocorreram, efetivamente, em 2011 (Doc. 113).

e *royalties* por produção, homologação e recomendação de empresas de enzimas e leveduras, cobrando honorários de indicação (*referral fee*) e, por fim, homologação de principais fornecedores de equipamentos e provedores de EPC (*Engineering, Procurement and Construction*), cobrando pelos serviços prestados (Doc. 113).

A GranBio, segunda empresa apoiada pelo PAISS, foi criada em junho de 2011 por Bernardo Gradin, ex-presidente da empresa petroquímica Braskem pertencente ao grupo Odebrecht, numa iniciativa empreendedora na área de biocombustíveis e com interface com o segmento da bioquímica [F1] (Doc. 157). Decidido a produzir etanol 2G com base na biomassa de cana-de-açúcar, o empresário e sua equipe recorreram ao BNDES e à FINEP, submetendo o seu plano de negócios para avaliação. A proposta foi selecionada e, com isso, a GranBio recebeu, em maio de 2013, a aprovação do financiamento de R\$ 300 milhões [F4] para investimentos em sua primeira unidade produtiva⁹⁹. Mas, antes disso, em dezembro de 2012, o BNDES, por intermédio da BNDES Participações (BNDESPAR), tornou-se sócio da GranBio adquirindo 15% de participação acionária para a BNDES Participações, o que resultou em um aporte de R\$ 600 milhões em seu capital [F4] (Doc. 158)

A autorização para o início das obras, porém, foi expedida em 07 de outubro de 2013, por meio da Autorização ANP N° 758¹⁰⁰ (Doc. 159) [F5], alguns dias antes da inauguração da primeira planta comercial de etanol 2G do mundo, construída pela Beta Renewables, em Crescentino (Itália), e baseada no processamento de palha de arroz, palha de trigo e cana do reino (*Arundo Donax*). A Beta Renewables foi fundada em 2011 como resultado da *joint venture* entre a Biochemtex, empresa do grupo italiano Mossi & Ghisolfi (M&G), e o fundo de investimentos americano Texas Pacific Group (TPG), em uma operação de EUR\$ 250 milhões (Doc. 160). Em 2012, a empresa dinamarquesa Novozymes adquiriu 10% de participação na Beta Renewables, em um investimento de EUR\$ 90 milhões (Doc. 160). A tecnologia de processo (engenharia e equipamentos) utilizada na planta da Beta Renewables, chamada PROESA¹⁰¹, foi desenvolvida pela Biochemtex, sua principal acionista, enquanto o

⁹⁹ O planejamento da empresa era ter dez plantas até 2024.

¹⁰⁰ Segundo a Lei n. 12.490/2011 (Doc. 47), compete à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) autorizar a instalação e a operação de plantas industriais de etanol. Sem a expressa autorização dessa agência para a construção e funcionamento de novas unidades produtoras, como é o caso da planta da GranBio, não é possível acessar o mercado brasileiro de biocombustíveis. Essa lei e suas repercussões no STI do etanol 2G será abordada na seção 3.5.2.

¹⁰¹ Essa tecnologia consiste de três etapas. Em um primeiro momento, a biomassa é submetida a um processo de cozimento sob pressão, seguido de rápida descompressão (*steam explosion*) para a separação da celulose e hemicelulose da lignina. Na segunda etapa, enzimas são adicionadas para realizarem a hidrólise da celulose, de modo a reduzir os açúcares complexos nela contidos à sua forma simples. Na terceira etapa, esses açúcares simples

fornecimento de enzimas para hidrólise da biomassa ficou sob a responsabilidade da Novozymes (Doc. 160)

Para a montagem de sua planta, a GranBio firmou parceria com a Beta Renewables com vistas à adoção da tecnologia PROESA. A empresa também fechou parcerias com a Novozymes para o fornecimento de enzimas e com a holandesa DSM para o fornecimento de leveduras fermentadoras dos açúcares extraídos da biomassa (Doc. 161). As obras da planta da GranBio iniciaram-se em 2013 e foram concluídas em setembro de 2014, mês em que foi inaugurada [F1] (Doc. 157), após receber a Autorização ANP n. 338/2014 para sua operação (Doc. 162), o que lhe conferiu o direito de acessar o mercado de etanol combustível brasileiro¹⁰², a exemplo das usinas produtoras de etanol 1G [F5]. A inauguração da planta da GranBio aconteceu em um momento em que a DSM, uma de suas parceiras, e a empresa POET inauguraram, por meio de uma *joint venture*, uma planta comercial de etanol 2G no estado de Iowa (USA). Essa planta foi projetada para processar resíduos da colheita do milho, com capacidade para 75 milhões de litros/ano e investimento de US\$ 275 milhões (Doc. 163) – o que acirrou a corrida pelo etanol 2G entre Brasil e Estados Unidos.

A unidade da GranBio, com capacidade para produzir 82,5 milhões de litros de etanol/ano foi construída em São Miguel dos Campos (AL) ao lado da Usina Caeté, pertencente ao Grupo Carlos Lyra, com a qual foi compartilhada uma infraestrutura de cogeração de vapor e energia também montada como parte do projeto da operação industrial aprovado no âmbito do PAISS Industrial. Foram investidos nessas instalações R\$ 265 milhões, dos quais R\$ 190 milhões na planta de produção e R\$ 75 milhões no sistema de cogeração (Doc. 165) [F4]. Antes mesmo que a planta começasse a operar, a GranBio submeteu ao *California Air Resources Board* (CARB), em julho de 2014 (Doc. 166), documentação para certificação ambiental do processo de produção nela utilizado, segundo critérios do *California Low Carbon Standard* (LCFS) que estabelece parâmetros para a avaliação da intensidade de carbono de combustíveis alternativos (aos combustíveis fósseis) desde a extração da matéria-prima, passando pelo processo de conversão, até a distribuição do produto em um porto da Califórnia (Doc. 167). Após passar por uma análise técnica, a planta da GranBio em São Miguel dos Campos, foi certificada em 19 de setembro de 2014 (Doc. 168), tornando-se a primeira usina de etanol a

são transformados em etanol por meio de fermentação com leveduras. A lignina resultante de todo esse processo é recuperada e, então, utilizada em caldeiras para a geração de vapor e energia (Doc. 160).

¹⁰² Em 2014 foram produzidos no Brasil 28,8 bilhões de litros de etanol, dos quais 17,1 bilhões de etanol hidratado e 11,7 bilhões de etanol anidro que, naquele ano, era adicionado compulsoriamente à gasolina na proporção de 25% (Doc. 164).

receber tal reconhecimento em razão das externalidades ambientais positivas de sua tecnologia [F6]. Essa certificação, conseqüentemente, deu à GranBio acesso ao mercado californiano (e americano) de biocombustíveis avançados [F5].

A biomassa definida como matéria-prima do processo industrial foi a palha de cana-de-açúcar, fornecida pela própria Usina Caeté e por outras três usinas próximas à planta (Doc. 169). No entanto, além da palha, o projeto do empreendimento GranBio considerou também utilizar o bagaço como biomassa conversível em etanol, e para que isso pudesse ser levado a efeito nas próximas plantas industriais a serem construídas, foi criada uma estação experimental no estado de Alagoas incumbida, desde 2012, do desenvolvimento de uma nova variedade de cana-de-açúcar com maior teor de fibras, portanto com mais celulose hidrolisável, e menos sacarose [F2] (Doc. 161). Tal unidade, denominada BioVertis, gerida por um experiente melhorista de variedades de cana, iniciou cruzamentos de cultivares para a obtenção da chamada cana-energia, variedade com 2,5 vezes mais fibra que a cana-de-açúcar convencional, mais alta, com maior longevidade de colheita, mais resistente ao ataque de pragas e não transgênica (Doc. 157). Essa nova fonte de biomassa, desenvolvida em parceria com a Universidade Federal de Alagoas (UFAL)/Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), foi apresentada ao mercado em agosto de 2015 sob o nome Cana-Vertex (Doc. 169).

Além da BioVertis, dedicada ao desenvolvimento de biomassa de maior rendimento industrial, a GranBio criou uma unidade de P&D na cidade de Campinas (SP), a BioCelere (Centro de Pesquisas em Biologia Sintética), com o objetivo de aplicar a engenharia genética para o desenvolvimento de microrganismos como, por exemplo, leveduras capazes de fermentar a xilose, açúcar de cinco carbonos presente na fração hemicelulósica da biomassa cuja fermentação não é possível com leveduras industriais comumente utilizadas pelas usinas de etanol 1G (Doc. 169). O trabalho realizado pela equipe de pesquisadores da BioCelere com microrganismos “engenheirados” resultou, em 2015, numa nova linhagem genética de leveduras, aprovada para uso comercial pela coordenação geral da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), cuja patente “Cassete de expressão, processo, micro-organismo, processo de produção de biocombustíveis e/ou bioquímicos e biocombustível e/ou bioquímico”(Doc. 170) [F2] foi requerida em novembro de 2014¹⁰³.

¹⁰³Patente publicada em 07/06/2016.

A GranBio também desenvolveu aquisições e parcerias de empresas bioquímicas, área cujas sinergias com a obtenção de açúcares da biomassa de cana-de-açúcar já estavam contempladas no plano de negócios submetido ao PAISS Industrial. Em abril de 2013, a empresa adquiriu uma participação de 25% na *American Process Inc.*, companhia americana, sediada em Atlanta (USA), especializada no desenvolvimento de tecnologias proprietárias para a produção de açúcares e etanol de biomassa (Doc. 171). Com essa aquisição a GranBio passou a ter acesso a uma plataforma de pré-tratamento de biomassa capaz de desenvolver, com custos reduzidos, açúcares de celulose como matéria-prima para produção de grande variedade de químicos renováveis (Doc. 172).

Em agosto de 2013, a GranBio firmou parceria com a Rhodia, do grupo belga Solvay, para produzirem, com base na cana-de-açúcar, o bio n-butanol, intermediário químico utilizado na produção de acetato de butila ou de resinas acrílicas que fazem parte da composição de tintas e vernizes (Doc. 157). Alguns meses depois, essa parceria evoluiu para a formação da *joint-venture* SGBio Renováveis, empreendimento em que cada empresa detinha 50% de participação, e visava à construção de uma fábrica de bio-n-butanol que seria inaugurada em 2015. Essa fábrica não foi concretizada, mas, por outro lado, a SGBio adquiriu, em outubro de 2015, os ativos da Cobalt Technologies, outra empresa americana, detentora de uma tecnologia própria de produção de n-butanol a partir da fermentação de açúcar celulósico por microrganismos que, à época da aquisição, estava com suas operações oficialmente encerradas (Doc. 173). Com essa aquisição, Rhodia e Granbio passaram a ter os direitos de propriedade de uma tecnologia considerada viável comercialmente que, uma vez adaptada para as condições brasileiras, teria o potencial de acelerar a decisão das duas empresas em construir uma planta para a produção de solventes obtidos com base em biomassa, o que permitiria a sua entrada num mercado com demanda doméstica estimada em 100 mil toneladas/ano (Doc. 174).

Todos essas iniciativas da GranBio na área de bioquímicos foram realizadas assumindo-se como pressuposto o prévio domínio tecnológico da empresa na extração de açúcares da celulose e/ou hemicelulose da biomassa e, conseqüentemente, na produção do etanol 2G. Entretanto, a empresa parece ter enfrentado problemas para conseguir produzir esse biocombustível em grande escala em sua planta industrial de São Miguel dos Campos (AL), pois, no ano de 2015 essa unidade de produção conseguiu obter apenas 4 milhões de litros, ou seja, menos de 5% da capacidade nominal da mesma (Valor, 2016). Um dos principais problemas enfrentados foi a erosão dos equipamentos (válvulas, bombas e tubulações) por conta da excessiva quantidade de impurezas minerais contidas na palha de cana-de-açúcar, o que

obrigava a GranBio a paralisar frequentemente o processo de produção (resultando na utilização de apenas 30% da capacidade da planta) (Doc. 175).

A terceira empresa a ser apoiada pelo PAISS foi a Raízen, *joint venture* criada em 2011 pela anglo-holandesa Shell e a brasileira Cosan. Com o anúncio, em 2010, da união das duas empresas nesse novo empreendimento conjunto e, principalmente, após sua concretização em fevereiro de 2011, surgiu a oportunidade de se investir no desenvolvimento da produção do etanol 2G, uma vez que a Raízen herdou da Shell participações acionárias na canadense Iogen e na americana Codexis, empresas que já estavam engajadas na P&D relacionada a esse biocombustível – a primeira já possuía uma planta de demonstração em Ottawa e a segunda desenvolvia enzimas para conversão de biomassa em etanol (Doc. 176). Tendo em vista o objetivo de se consolidar a posição de maior produtora de açúcar e etanol do mundo, a Raízen, desde o início de suas operações em 2012, estabeleceu um plano de investimentos de cinco anos com previsão de crescimento anual de 10% que, para ser alcançado, definiu como focos o desenvolvimento de novas fontes de energia renovável (como o sorgo sacarino) e o etanol 2G (Doc. 176).

Em outubro de 2012, a Raízen anunciou o acordo com a Iogen visando ao investimento inicial em uma planta de produção de etanol 2G em escala comercial no Brasil, que contemplava os custos de desenvolvimento e engenharia associados ao projeto das instalações para conversão de biomassa (bagaço de cana-de-açúcar) em etanol anexas à uma planta de etanol 1G, a Usina Costa Pinto, localizada em Piracicaba (SP). Tal acordo ocorreu após a Raízen efetivar uma profunda revisão das tecnologias celulósicas existentes e concluir que a Iogen detinha a tecnologia mais avançada para comercialização e instalação em suas usinas de etanol 1G (Doc. 177). Entre 2012 e 2013, a Raízen enviou sistematicamente bagaço e palha de cana-de-açúcar para a planta da Iogen em Ottawa, para a condução de testes, enquanto também fazia testes com as enzimas da americana Codexis, empresa da qual também era acionista.

Em novembro de 2013, após aprovação de financiamento pelo PAISS Industrial da ordem de R\$ 207,7 milhões [F4], a Raízen anunciou o início da construção de sua primeira planta de etanol 2G¹⁰⁴, orçada em R\$ 230 milhões e com capacidade para 40 milhões de litros/ano, por meio da criação de uma *joint venture* com a Iogen (a Iogen Energy), detentora da tecnologia desenvolvida. Foi anunciado também, que a Novozymes seria a fornecedora das enzimas (Doc. 179), em conformidade com um acordo de colaboração firmado com a Raízen

¹⁰⁴ O plano da Raízen consistia, originalmente, em construir mais sete plantas comerciais (Doc. 178).

em setembro de 2013, o qual estabeleceu exclusividade de fornecimento, tanto para a primeira planta de produção quanto para a segunda planta, caso esta viesse, eventualmente, a ser construída (Doc. 177) – o que indica que a Codexis foi substituída como potencial responsável pelo suprimento desse insumo.

Depois de um ano de obras e de um investimento de, aproximadamente, R\$ 240 milhões [F4], a Raízen inaugurou, em novembro de 2014, a sua planta integrada de etanol 2G, produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar [F1], a qual recebeu autorização de operação da ANP em 20 de outubro de 2014 (Doc. 180), passando, assim, a estar credenciada a comercializar esse biocombustível no mercado brasileiro, a exemplo de suas outras unidades de produção de etanol 1G. Funcionando, inicialmente, com 50% de sua capacidade, essa planta produziu, em caráter experimental, etanol hidratado que foi vendido, a partir de 18 de dezembro de 2014, em um posto de combustíveis da cidade de Piracicaba (SP). Contudo, a previsão da empresa era de que, a partir da safra 2015/2016, somente etanol anidro fosse produzido (Doc. 178). A inauguração oficial, porém, da planta da Raízen se deu no dia 22 de julho de 2015. O custo de produção obtido, à época, por essa unidade era de R\$ 1.400,00 por metro cúbico, enquanto a mesma quantidade de etanol 1G era produzido a R\$ 1.100,00, o que indicava que o etanol 2G ainda estava em uma posição de desvantagem frente ao etanol convencional. Todavia, a empresa projetava igualar esses custos de produção, em R\$ 1.100,00 até 2017 (Doc. 181).

Passados quatro anos do lançamento do PAISS e a aprovação do financiamento das plantas do CTC, GranBio e Raízen, com capacidade conjunta de pouco mais de 120 milhões de litros/ano, técnicos do BNDES, MDIC, CTBE e CNPEM (Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais), fizeram um exame aprofundado sobre o potencial e as necessidades do etanol 2G no Brasil, em termos de apoio governamental, para além desses três empreendimentos apoiados. Assim, em março de 2015, publicaram um artigo¹⁰⁵ no qual fizeram um estudo prospectivo com estimativas sobre o potencial de melhoria de eficiência e redução de custos de produção do etanol 2G brasileiro em diferentes cenários tecnológicos, assim como sugeriram a implementação de mecanismos de políticas públicas de apoio contínuo à P&D e a aceleração de investimentos em etanol 2G no Brasil [F2] (Doc. 182).

A avaliação da eficiência e dos custos foi implementada com o auxílio de uma ferramenta de simulação computacional desenvolvida pelo CTBE que permitiu simular

¹⁰⁵ O título do artigo é “Da promessa à realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria de cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de políticas públicas” (Milanez et al., 2015). O primeiro autor do artigo é um dos responsáveis pela formulação e operacionalização do PAISS no BNDES.

diferentes cenários tecnológicos. Esse exercício adotou 14 cenários prospectivos que foram divididos contemplando os horizontes temporais de curto, médio e longo prazos, bem como a respectiva rota tecnológica utilizada – considerando, como matéria-prima dos processos tecnológicos de conversão de biomassa, a cana-energia¹⁰⁶. Com base no conjunto de premissas adotadas para a análise, os autores concluíram que o etanol 2G, já no médio prazo, teria grande potencial de ser mais competitivo que o etanol 1G (Doc. 182).

Mas, a sustentação dessa competitividade de custos frente ao etanol 1G dependeria da formulação de políticas públicas. Tendo isso em vista, os autores do artigo propuseram alternativas de políticas capazes de incentivar a produção e o consumo, acelerar os ganhos de produtividade do etanol 2G e, assim, ampliar sua participação no mercado brasileiro de biocombustíveis e nas exportações do Brasil (Doc. 182).

De modo resumido, as sugestões de políticas oferecidas pelos autores foram: mandato obrigatório de adição de etanol 2G à gasolina em mercados regionalizados; subsídios ao consumo a ser pago às distribuidoras; incentivos ao investimento na produção por meio da isenção de tributos federais e ao financiamento de novas plantas; criação de um programa de financiamento para a agricultura com finalidade energética ou química, de modo a estimular o cultivo de biomassas como a cana-energia; financiamento permanente à P&D aplicada, sobretudo com recursos não-reembolsáveis de modo a complementar o esforço do PAISS em colaborar com o amadurecimento de tecnologias locais e fomentar a competição com alternativas tecnológicas estrangeiras¹⁰⁷; regulamentação da biotecnologia industrial, pois a insegurança jurídica do marco legal vigente até então era considerada uma barreira ao investimento privado em P&D de processos baseados em biotecnologia; formação de mão de obra técnica em biotecnologia industrial.

3.5.2 Outros eventos ocorridos entre 2011 e 2015

Paralelamente ao surgimento e aos desdobramentos do PAISS Industrial (BNDES/FINEP) no financiamento das primeiras plantas comerciais, o período 2011-2015 foi marcado também por outros relevantes desenvolvimentos tecnológicos e institucionais que

¹⁰⁶ Essa variedade de cana-de-açúcar e os desenvolvimentos a ela associados serão novamente tratados na seção 3.5.2.

¹⁰⁷A execução do PAISS demonstrou que, em face da disponibilização de poucos recursos de natureza não-reembolsável, por parte da FINEP, as empresas beneficiadas (CTC, GranBio e Raízen), optaram por utilizar tecnologias desenvolvidas no exterior, evitando, dessa forma, o maior risco apresentado pelas tecnologias nacionais(Doc. 182).

contribuíram para a formação do STI do etanol 2G. No ano de 2011, por exemplo, houve a continuidade da parceria entre Petrobras e KL Energy que, conforme descrito na seção 3.3.3, visava adaptar uma tecnologia desenvolvida pela última para licenciamento e utilização pela primeira em uma planta comercial que futuramente seria construída no Brasil.

Em 2011 a KL Energy realizou testes em sua planta demonstrativa, localizada em Upton (EUA), que, além de modificações químicas e físicas devido às diferenças entre madeira e bagaço de cana, resultaram no projeto de um novo processo de fermentação alcoólica [F2] (Doc. 183). Além disso, naquele mesmo ano foram produzidos 80 mil litros de etanol 2G (cerca de 20 mil galões) que foram enviados à Petrobras e testados com sucesso no Brasil em uma frota de 40 minivans utilizadas para o transporte de conferencistas durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), em junho de 2012 (Doc. 184). Antes que esse evento internacional acontecesse, em abril de 2012, a KL Energy¹⁰⁸ licenciou sua tecnologia à Petrobras e esta, em seguida, anunciou a construção de sua primeira planta comercial de etanol 2G para o ano de 2015. No entanto, esse empreendimento não foi adiante em razão da falência da KL Energy, em maio de 2013 (Doc. 186; Doc. 185), o que parece ter implicado na desistência da Petrobras em permanecer no STI do etanol 2G [F1] ou o adiamento por tempo indeterminado de seus interesses na produção de etanol 2G.

Na área de produção de biomassa para a produção de etanol 2G, o ano de 2011 marcou a criação da Vignis [F1], empresa nacional fundada com o objetivo de desenvolver no Brasil a chamada cana-energia (Doc. 187). Os conhecimentos acumulados pelos fundadores dessa nova empresa no melhoramento genético de cana-de-açúcar, juntamente com os resultados das pesquisas no âmbito da parceria GranBio, UFAL/RIDESIA e IAC, iniciado a partir de 2012, criaram oportunidades de se produzir biomassa com maior teor de fibras celulósicas, mais apropriadas para a conversão enzimática dos açúcares nelas contidos em etanol. Adicionalmente, com o advento dos conhecimentos em cana-energia, surgiu a possibilidade de se produzir mais biomassa por área plantada, cerca de 200 ton/hectare, em contraste com a média de 75 ton/hectare de cana-de-açúcar convencional obtida na região centro-sul do Brasil, responsável pela maior parte da produção nacional de açúcar e etanol (Doc. 188).

O potencial energético da cana-energia, aliado à própria disponibilidade de cana-de-açúcar convencional no Brasil, ampliaram ainda mais as oportunidades de viabilização de processos de hidrólise enzimática para a produção de etanol 2G, conferindo ao país uma

¹⁰⁸Quando da realização da Rio +20, a KL Energy já havia mudado o seu nome para Blue Sugars (Doc. 185).

significativa vantagem comparativa frente, por exemplo, aos Estados Unidos. Este país, por sua vez, por falta do plantio de variedades energéticas (*energy crops*) em grande escala – como a cana-de-açúcar – recorreu aos resíduos da cultura do milho (folha, palha, sabugo etc.) como matéria-prima prioritária para a produção de etanol 2G. Isso ficou evidente em 2011 quando o laboratório nacional americano NREL, publicou mais uma atualização da análise tecnoeconômica de seu processo de conversão de biomassa, via pré-tratamento ácido e hidrólise enzimática (a última atualização havia sido feita em 2002), em que fez uma avaliação técnica e uma previsão de custos para a produção de etanol a partir dessa rota tecnológica. Intitulado *Process design and economics for biochemical conversion of lignocellulosic biomass to ethanol: dilute acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover*, esse estudo estabeleceu os resíduos da colheita do milho como matéria-prima mais adequada para se produzir etanol 2G sob as condições norte-americanas (Doc. 189).

Ainda no ano de 2011, houve no Brasil a atualização da Lei do Petróleo (Lei n. 9478 de 1997) pela Lei n. 12.490/2011, de 16 de setembro de 2011 (Doc. 190), que, por sua vez, alçou os biocombustíveis e, particularmente, o etanol 1G a um novo status no marco regulatório da política energética nacional, já que a Lei de 1997 fazia poucas referências a esse biocombustível. Com a nova lei expandiu-se a esfera de atribuição da ANP para toda a indústria nacional dos biocombustíveis, conferindo a essa agência o poder de regulação e autorização das atividades relacionadas com a produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, transporte, transferência, distribuição, revenda e comercialização de biocombustíveis, assim como a avaliação de conformidade e certificação de sua qualidade (Doc. 190). Essas mudanças no papel regulador da ANP, antes voltado a petróleo e gás natural, se fez sentir rapidamente na indústria do etanol, principalmente, nos processos de autorização de instalação de novas plantas industriais, na exigência e monitoramento de estoques reguladores e nos processos de certificação e controle da qualidade do etanol produzido e distribuído ao mercado consumidor (Doc. 190)

Embora não fosse específica quanto ao etanol 2G, a definição genérica que foi dada ao etanol pela Lei 12.490/2011, parece ter dado margem à possibilidade de produzi-lo, uma vez que não especificava a tecnologia por meio da qual deveria ser obtido, mas, ao contrário, considerava a utilização de diferentes rotas tecnológicas para se chegar ao produto final, conforme pode ser verificado na transcrição do inciso XXX do Art. 6º da referida legislação:

Etanol: biocombustível líquido derivado de biomassa renovável, que tem como principal componente o álcool etílico, que pode ser utilizado, diretamente ou mediante

alterações, em motores a combustão interna com ignição por centelha, em outras formas de geração de energia ou em indústria petroquímica, podendo ser obtido por rotas tecnológicas distintas (grifo do autor), conforme especificado em regulamento (Doc. 190).

Com base na Lei 12.490/2011, a ANP publicou a Resolução ANP N° 26/2012 (Doc. 191), de agosto de 2012, que regulamentou as novas atribuições da agência em relação a indústria de biocombustíveis, sobretudo a de etanol 1G, mas sem fazer nenhuma menção ao etanol 2G.

Também no ano de 2012, no mês de agosto, a articulação entre atores do STI do etanol 2G contribuiu para que outro evento ocorresse, dessa vez na área de P&D e protagonizado pelo CTC e a Embrapa Agroenergia. Essas duas organizações de pesquisa se juntaram através de um amplo acordo de parceria que, entre outros objetivos, previa o desenvolvimento de uma enzima nacional capaz de catalisar a hidrólise de açúcares de cinco carbonos presentes na fração hemicelulósica da biomassa vegetal [F2] (Doc. 192). No campo das patentes houve, em 13 de dezembro de 2012, o requerimento de depósito da patente (Doc. 193) “Processo de obtenção de biocombustível a partir de biomassa lignocelulósica e/ou amilácea”¹⁰⁹ [F2], desenvolvido pela BRAERG¹¹⁰ (*Brazilian Expertise Research Group*), empresa localizada no município de Sorocaba (SP).

No ano seguinte, outra parceria resultou em mais uma infraestrutura para geração e difusão de conhecimentos em etanol 2G. O Instituto de Química da UFRJ e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), também da UFRJ, se uniram para viabilizar a construção do Laboratório do Bioetanol, infraestrutura dedicada à P&D em microrganismos e enzimas para processamento de biomassa [F2], idealizado pela professora Elba Bon, do Instituto de Química da UFRJ, e financiado com recursos da FINEP (“Projeto Escalonamento da produção de enzimas celulolíticas e acessórias e sua utilização na hidrólise da biomassa da cana e outras biomassas pré-tratadas” – Projeto Bioetanol II) e da JICA (Japão). Inaugurado em agosto de 2013, o Laboratório do Bioetanol foi concebido como uma extensão do Laboratório ENZITEC do Instituto de Química, com o objetivo de reunir em um mesmo espaço físico as principais etapas do processamento da biomassa e abrigar mais de 30 pesquisadores nacionais e estrangeiros (Doc. 194; Doc. 135).

¹⁰⁹Patente publicada em 23/09/2014.

¹¹⁰ A pesquisa documental encontrou poucas informações sobre essa empresa, de modo que não foi possível caracterizá-la como um ator atuante no STI do etanol 2G.

Em novembro de 2013, outra infraestrutura de P&D também foi inaugurada como resultado da parceria entre a empresa Shell e a Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Trata-se do Laboratório de Caracterização de Biomassa construído com recursos do projeto “Programa de pesquisa para manufatura de biocombustíveis de segunda geração a baixo custo e alta sustentabilidade no Brasil: tecnologia integrada de pré-tratamento e hidrólise” [F2], aprovado pela ANP no âmbito da “cláusula do 1%” estabelecida pela Lei 9.478/97 (Doc. 118) e Regulamento ANP 5/2005 (Doc. 119) (Doc. 121).

Um resultado do avanço da P&D em processos para produção de etanol 2G, proporcionado por uma dessas instalações, pode ser verificado na patente do “Processo de produção de moléculas orgânicas a partir da biomassa”¹¹¹ (Doc. 195) [F2], depositada no INPI pela UFRJ e UFSC em 29 de abril de 2013¹¹², proveniente das pesquisas conduzidas pela equipe da professora Elba Bon no Laboratório do Bioetanol. Essa patente, em particular, foi enquadrada pelo INPI em um novo programa, chamado Patentes Verdes, criado em 2012 de acordo com a Resolução INPI/PR n. 283/2012 (Doc. 196), de 02/04/2012.

O programa Patentes Verdes foi concebido pelo INPI, sob a vigência da Lei 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), para funcionar em caráter piloto e seu objetivo era o de acelerar para dois anos o processo de tramitação de patentes de tecnologias ditas “verdes”, ou seja, com potencial de diminuição do impacto das mudanças climáticas ou que emitissem menos ou retirassem CO₂ da atmosfera, enquanto o prazo médio para tramitação de patentes no órgão era de cinco anos e quatro meses (Doc. 197). Embora tenha sido planejado para funcionar durante um ano apenas, o programa-piloto foi prorrogado por duas vezes, pela Resolução INPI/PR n. 131/2014 (Doc. 198) e Resolução INPI/PR n. 145/2015 (Doc. 199), até ser temporariamente suspenso em abril de 2016 para avaliação (Doc. 200). Uma das categorias de tecnologias verdes prioritárias no programa era a das energias alternativas que incluíam, entre outras, os biocombustíveis. De acordo com a pesquisa documental, cerca de 15 pedidos de registro de patentes relacionadas a processos de obtenção de etanol 2G ingressaram no INPI entre 2012 e 2015 [F2], recebendo do órgão o enquadramento no programa de Patentes Verdes [F6]. Desses, somente dois pedidos foram solicitados por depositantes nacionais, sendo um da UFRJ/UFSC (acima mencionado) e outro da BRAERG.

¹¹¹ Embora não vise à produção de etanol, esse processo é baseado nos conhecimentos acumulados pelos pesquisadores em hidrólise enzimática.

¹¹² Patente publicada em 25/03/2014.

No ano de 2014, um importante avanço ocorreu no campo regulatório com a atualização da Lei 12.490/2011 (Doc. 190), por meio da Resolução ANP 14/2014, de 06 de março de 2014 (Doc. 201). Essa resolução deu nova redação a enunciados de diferentes partes daquela lei e, nesse processo, incorporou ao texto legal o termo “segunda geração” em referência aos processos de produção de etanol baseados em hidrólise. Provavelmente influenciada pelos desenvolvimentos na P&D em etanol 2G que, entre outros progressos, culminaram na criação da Granbio em 2013 – empreendimento para o qual a ANP havia concedido autorização para construção através da Autorização ANP N° 758/2013 (Doc. 159) –, essa mudança conferiu ao etanol 2G um novo status e, portanto, legitimidade [F7], na política energética nacional, à medida que passou a se submeter aos mesmos critérios regulatórios aos quais o etanol 1G já estava subordinado desde 2011.

Dois elementos da Lei 12.490/2011 (Doc. 190), já com a nova redação imposta pela Resolução ANP 14/2014 (Doc. 201), evidenciam essa mudança de patamar do etanol 2G. O primeiro é o Art. 1º que, por sua vez, passou a ter o seguinte enunciado: “fica disciplinada, pela presente Resolução, a atividade de produção de etanol, que abrange construção, ampliação de capacidade, modificação e operação de planta produtora de etanol, de primeira ou segunda geração (grifo do autor), condicionada à prévia e expressa autorização da ANP”, o que significa que qualquer novo empreendimento [F1] (ou ampliação de empreendimentos existentes) voltado à produção de etanol 2G teria que ser autorizado pela agência. O segundo elemento refere-se ao inciso XIX que passou a vigorar com a seguinte redação:

XIX - Planta Produtora de Etanol: instalação industrial que produz etanol, cujo limite de bateria inicia-se na área de fermentação para produção de etanol de primeira geração e pré-tratamento ou hidrólise para produção de etanol de segunda geração (grifo do autor), estendendo-se até as plataformas de carregamento, incluindo o parque de tanques e excluindo a produção agrícola, a fabricação de produtos agropecuários e alimentícios e a geração de energia elétrica (Doc. 201).

Além de legitimidade no âmbito regulatório, os atores empresariais com interesses ou participação direta no STI do etanol 2G, mobilizaram-se, em 2014, para conquistar legitimidade em outros espaços não apenas para esse biocombustível em si, mas para a biotecnologia industrial que está na base de sua produção. Tendo isso em vista, fundaram, em 29 de abril de 2014, a Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI) [F7], entidade formada por 12 empresas¹¹³, voltada para a defesa dos interesses das indústrias de bioquímicos e

¹¹³ As seguintes empresas participaram da fundação da ABBI: Abengoa, Amyris, BASF, Biochemtex, CTC, Dow, DSM, Du Pont, GranBio, Raízen, Novozymes, Rhodia-Solvay.

biocombustíveis –, de modo especial a indústria do etanol 2G (Doc. 202). Em linhas gerais, a ABBI foi criada com o objetivo de promover a biotecnologia industrial, contribuir para o aprimoramento do marco regulatório da biotecnologia industrial no Brasil, discutir políticas públicas de incentivo para as empresas do setor, gerar e trocar conhecimentos de interesse da biotecnologia industrial, bem como contribuir para o desenvolvimento dessa área por meio de acordos com instituições de ciência e tecnologia (Doc. 203; Doc. 202).

O potencial de contribuição para a sustentabilidade ambiental também parece ter sido o argumento central adotado pela ABBI para a defesa da biotecnologia industrial no Brasil como vetor do desenvolvimento nacional. O raciocínio subjacente a esse argumento foi resumido em um material de apresentação da associação em quatro áreas nas quais a biotecnologia oferece grande potencial: 1) a capacidade de reduzir CO₂ da atmosfera; 2) redução no uso e na dependência de produtos petroquímicos e combustíveis fósseis; 3) redução no consumo de água e na geração de resíduos de processos industriais; 4) maior aproveitamento de todo o potencial da biodiversidade e dos produtos e resíduos da biomassa (Doc. 204) [F6].

O etanol 2G foi definido como uma das prioridades da ABBI e entre os argumentos utilizados para sua defesa e promoção a entidade apontou os seguintes: liderança do Brasil na bioeconomia, aumento da produtividade da produção total de etanol em 50%, potencial de redução de importação de gasolina em 10 bilhões de litros e de redução de 1 bilhão de toneladas em emissões de gases de efeito estufa, formação de uma nova cadeia de valor com novos fornecedores de tecnologia e suprimentos, criação de plataforma para o desenvolvimento de produtos bioquímicos (Doc. 204).

A busca por legitimidade por parte da ABBI, seja promovendo o etanol 2G ou, de forma mais ampla, a biotecnologia industrial, foi beneficiada em abril de 2015 pelo relançamento da Frente Parlamentar Mista pela Competitividade da Cadeia Produtiva do Setor Químico, Petroquímico e de Plástico (FPQuímica), formada por, pelo menos, 16 parlamentares da Câmara dos Deputados e do Senado Federal (Doc. 205). Embora o foco principal dessa coalizão de representação política tenha sido definido para se concentrar nos interesses da indústria química tradicional, foi criada uma coordenação temática responsável pela biotecnologia industrial com forte interface com a ABBI [F7]. Essa coordenação atuou em 2015 na defesa, por exemplo, da regulamentação da Lei da Biodiversidade (Doc. 206), marco regulatório considerado estratégico para o avanço da P&D da biotecnologia industrial no Brasil, conforme descrição a seguir.

A ABBI definiu em seu estatuto a biotecnologia industrial como qualquer processo que utilize organismos vivos, modificados ou não, e seus derivados em atividades de interesse econômico industrial (Doc. 203). As atividades de pesquisa nessa área no Brasil até maio de 2015 era regulamentada pela Medida Provisória (MP) 2186-16/2001, considerada excessivamente restritiva quanto ao acesso aos recursos genéticos da biodiversidade brasileira, inclusive por parte, até mesmo, dos próprios pesquisadores nacionais. Vários dispositivos dessa MP impunham dificuldades às atividades de pesquisa e bioprospecção pelo fato de exigirem o cumprimento de diferentes requisitos e a apresentação de diversos documentos e autorizações prévias (Doc. 207). Porém, em 20 de maio de 2015, esses problemas parecem ter sido substancialmente mitigados com a aprovação da Lei 13.123/2015 (Doc. 208), conhecida como Lei da Biodiversidade, que simplificou o processo para se iniciar pesquisas científicas e tecnológicas sobre o patrimônio genético brasileiro. Esse novo quadro legal parece ter beneficiado o setor econômico representado pela ABBI, de modo particular o STI do etanol 2G, uma vez que sua viabilidade e sobrevivência passaram a depender nos últimos 10 anos, dos avanços obtidos pela pesquisa sobre microrganismos fermentadores e secretores de enzimas [F2] (catalisadoras naturais dos processos de hidrólise de biomassa).

A propósito, as pesquisas nessa área da biotecnologia e sobre etanol 2G [F2, F3], de maneira geral, continuaram a receber mais recursos por parte do setor petrolífero (cláusula do 1%), no âmbito do Regulamento Técnico ANP nº 5/2005¹¹⁴ (Doc. 119). No período 2011-2015 foram identificados seis projetos relacionados ao etanol 2G, todos financiados com recursos da Petrobras, que totalizaram um montante investido de quase R\$ 11 milhões [F4] (Tabela 2)

Tabela 2: Relação de projetos de P&D aprovados pela ANP, de acordo com a Lei 9.478/97 e Res. ANP 5/2005 (2011-2015)

Título do Projeto	Instituição	Valor do Projeto (R\$)	Empresa Petrolífera Responsável	Ano de Aprovação
Caracterização de biomassa, desenvolvimento de biocatalizadores e microrganismos para viabilizar a produção de etanol de segunda geração	UFRJ/Escola de Química	2.610.664,64	Petrobras	2011
Leveduras Industriais Modificadas Geneticamente para Conversão de Materiais Lignocelulósicos em Etanol	UNB	1.761.890,00	Petrobras	2011
Identificação e manipulação da expressão de genes envolvidos na formação da parede celular com vistas à produção de etanol de segunda geração	UFRJ	4.396.115,11	Petrobras	2012
Avaliação do potencial de resíduos lignocelulósicos da casca do coco	UFRN	421.652,70	Petrobras	2013

¹¹⁴ Cabe registrar, porém, que em 30 de novembro de 2015 essa regulamentação foi substituída pela Resolução ANP nº 50/2015 (Doc. 209) e respectivo Regulamento Técnico ANP nº 3/2015 (Doc. 123).

maduro e verde para a produção do etanol							
Simulação e Otimização de Biorrefinarias de Produção de Etanol 1G e 2G	UFRJ	748.531,84	Petrobras	2013			
Avaliação de Etanol 2G em Condições Reais de Condução Quanto à Durabilidade, Dirigibilidade e Consumo de Campo	UNIFACS	941.886,00	Petrobras	2014			
Total		10.880.740,29					

Fonte: Coletado no sítio da

ANP: <http://www.anp.gov.br/?pg=76517&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1465854459411> em 13/06/2016 (Doc. 210)

Em termos de divulgação e intercâmbio de conhecimentos acumulados ao longo do desenvolvimento de pesquisas como as relacionadas na Tabela 2 [F2], cabe enfatizar o papel que, entre 2011 e 2015, continuou a ser cumprido pelos principais fóruns de comunicação científica na área de bioprocessos: SINAFERM, SHEB e Enzitec. O SINAFERM, já sob o nome Simpósio Nacional de Bioprocessos (SINAFERM), realizou três edições nesse intervalo, isto é, em 2011, 2013 e 2015. O SHEB, por sua vez, passou a ser realizado em conjunto com o SINAFERM, a partir de 2013, tendo realizado, portanto, duas edições, a do próprio ano de 2013 e a de 2015. Por fim, o Enzitec foi realizado nos anos de 2012 e 2014.

Retomando o último ano do período 2011-2015, a pesquisa documental identificou um relevante evento que merece ser relatado ao fim da presente análise descritiva do processo formativo do STI do etanol 2G. Trata-se da realização, em Paris, da Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21). Na fase preparatória dessa conferência cada país signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), foi convidado a submeter a sua “Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada” (ou *Intended National Determined Contribution- INDC*) para a redução de gases de efeito estufa que causam mudanças climáticas. Entre as medidas que o Brasil propôs no seu INDC para contribuir para manter o aquecimento global abaixo de 2° C, estava o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional para, aproximadamente, 18% até 2030, por meio do incremento no suprimento de etanol, inclusive com uma maior parcela de participação dos biocombustíveis de segunda geração (ou seja, etanol 2G) (Doc. 211). A indicação dessa categoria de biocombustíveis como fonte de sustentabilidade ambiental diante da crise climática parece ter sido um sinal do reconhecimento governamental dos avanços tecnológicos obtidos pelo STI do etanol 2G ao longo dos seus 40 anos de existência no Brasil, portanto de sua legitimidade e importância para a sociedade [F7], bem como do seu potencial de desenvolvimento nas próximas décadas.

Em síntese, no período 2011-2015 foram identificados 47 eventos que, por sua vez, contribuíram para o processo de formação mais recente do STI do etanol 2G (Figura 31). As funções desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] e mobilização de recursos [F4] foram as que concentraram maior número de eventos com 15 e 14, respectivamente. A predominância dessas funções parece ter sido reflexo da continuidade dos investimentos em P&D bem como do investimento de recursos públicos, principalmente, na construção de plantas comerciais no âmbito do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica e Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS Industrial).

As funções experimentação empreendedora/empresarial [F1] e legitimação [F7] concentraram cinco eventos cada uma, o que reflete, respectivamente, a criação de novos empreendimentos para produção de etanol 2G (plantas comerciais e de demonstração) e o fortalecimento político do STI em função do reconhecimento da importância desse biocombustível para o Brasil e para redução dos impactos das mudanças climáticas. A função formação de mercado [F5] apresentou quatro eventos de natureza regulatória que conferiram acesso do etanol 2G produzido por duas plantas comerciais ao mercado brasileiro de etanol e do etanol 2G produzido por uma delas ao mercado californiano de biocombustíveis avançados. A função desenvolvimento de externalidades positivas [F6] apresentou três eventos a ela relacionados sugerindo o reconhecimento dos benefícios ambientais derivados do desenvolvimento da produção do etanol 2G. Em relação à função influência sobre a direção da busca [F3] identificou-se um evento que nela pôde ser enquadrado, o qual se refere ao direcionamento que o PAISS Industrial imprimiu às escolhas tecnológicas dos atores empresariais do STI do etanol 2G, na medida em que determinou *a priori* a biomassa e a base tecnológica a serem consideradas nos planos de negócios de cada empresa interessada em obter financiamento para a produção comercial do etanol 2G.

Função	Descrição dos eventos (ano)
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	<ul style="list-style-type: none"> • Petrobras aparentemente abandona seus planos de produzir comercialmente etanol 2G, depois do fracasso da parceria com a KL Energy (Blue Sugars) (2011). • Criação da Vignis, empresa voltada ao desenvolvimento da cana-energia (2011). • CTC inaugura planta de demonstração integrada à Usina São Manoel (1G) com capacidade para três milhões de litros/ano (2014). • Granbio inaugura planta comercial, ao lado da Usina Caeté (co-geração compartilhada de energia), com capacidade para 82,5 milhões de litros/ano (2014). • Raízen inaugura planta comercial integrada à Usina Costa Pinto (1G), com capacidade para 40 milhões de litros/ano (2015).
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	<ul style="list-style-type: none"> • KL Energy, em parceria com a Petrobras, realiza testes em sua planta demonstrativa, localizada em Upton (USA), que, além de modificações químicas e físicas devido às diferenças entre madeira e bagaço de cana, resultaram no projeto de um novo processo de fermentação alcoólica (2011). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Caracterização de biomassa, desenvolvimento de biocatalizadores e microrganismos para viabilizar a produção de etanol de segunda geração</i>, da Escola de Química/UFRJ (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2011). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Leveduras Industriais Modificadas Geneticamente para Conversão de Materiais Lignocelulósicos em Etanol</i>, da UNB (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2011). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Identificação e manipulação da expressão de genes envolvidos na formação da parede celular com vistas à produção de etanol de segunda geração</i>, da UFRJ (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2012). • Parceria entre CTC e Embrapa Agroenergia para o desenvolvimento de uma enzima nacional capaz de catalisar a hidrólise de açúcares de cinco carbonos presentes na fração hemicelulósica da biomassa vegetal (2012). • Depósito de patente (BR-102012031841-5) <i>Processo de obtenção de biocombustível a partir de biomassa lignocelulósica e/ou amilácea</i>, requerido pela BRAERG (Brazilian Expertise Research Group) (2012). • GranBio, por meio da BioVertis, e em parceria com a Universidade Federal de Alagoas (UFAL)/Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), desenvolve a cana-energia (Cana-Vertex) (2012-2015). • Inauguração do Laboratório do Bioetanol pelo Instituto de Química/UFRJ e COPPE/UFRJ, dedicado à P&D em microrganismos e enzimas para processamento de biomassa (2013). • Inauguração do Laboratório de Caracterização de Biomassa, resultado da parceria entre a Shell e a Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP (2013). • Depósito da patente (BR-102013010415-9) <i>Processo de produção de moléculas orgânicas a partir da biomassa</i>, requerida por UFRJ e UFSC (2013). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Avaliação do potencial de resíduos lignocelulósicos da casca do coco maduro e verde para a produção do etanol</i>, da UFRN (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2013). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Simulação e Otimização de Biorrefinarias de Produção de Etanol 1G e 2G</i>, da UFRJ (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2013). • Aprovação do projeto de pesquisa <i>Avaliação de Etanol 2G em Condições Reais de Condução Quanto à Durabilidade, Dirigibilidade e Consumo de Campo</i>, da UNIFACS (cláusula do 1% da Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005) (2014).

	<ul style="list-style-type: none"> • Depósito da patente (BR-102014027984-9) <i>Cassete de expressão, processo, micro-organismo, processo de produção de biocombustíveis e/ou bioquímicos e biocombustível e/ou bioquímico</i>, requerida pela BioCelere (2014). • Publicação do estudo <i>Da promessa à realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria de cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de políticas</i> (2015).
Influência sobre a direção da busca [F3]	<ul style="list-style-type: none"> • PAISS industrial determinou que a biomassa da cana-de-açúcar deveria, necessariamente, estar na base de todas as propostas submetidas e que a rota biotecnológica, de forma ampla, deveria alicerçar as linhas temáticas do etanol celulósico e novos produtos (2011).
Mobilização de recursos [F4]	<ul style="list-style-type: none"> • Lançamento do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS Industrial), com R\$ 1 bilhão de previsão orçamentária inicial (2011). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 2,6 milhões, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Caracterização de biomassa, desenvolvimento de biocatalizadores e microrganismos para viabilizar a produção de etanol de segunda geração</i> da Escola de Química/UFRJ (2011). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 1,7 milhões, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Leveduras Industriais Modificadas Geneticamente para Conversão de Materiais Lignocelulósicos em Etanol</i> da UNB (2011). • CTC contrata financiamento do PAISS, no valor inicial de R\$ 227 milhões que, após suplementação, alcançou R\$ 350 milhões, para a implementação de seu plano de negócio em etanol 2G (2012). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 4,4 milhões, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Identificação e manipulação da expressão de genes envolvidos na formação da parede celular com vistas a produção de etanol de segunda geração</i> da UFRJ (2012). • CTC investe R\$ 80 milhões na construção de sua planta de demonstração (2012-2014). • BNDES adquire 15% de participação acionária na GranBio, representando um aporte de R\$ 600 milhões (2012). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 420 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Avaliação do potencial de resíduos lignocelulósicos da casca do coco maduro e verde para a produção do etanol</i> da UFRN (2013). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 750 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Simulação e Otimização de Biorrefinarias de Produção de Etanol 1G e 2G</i> da UFRJ (2013). • GranBio contrata financiamento do PAISS no valor de R\$ 300 milhões para a implementação de seu plano de negócio em etanol 2G (2013). • Granbio investe R\$ 265 milhões na construção de sua planta comercial (2013-2014). • Raízen contrata financiamento do PAISS no valor de R\$ 207,7 milhões para a implementação de seu plano de negócio em etanol 2G (2013). • Raízen investe R\$ 240 milhões na construção de sua planta comercial (2013-2015). • Aprovação pela ANP (cláusula 1%) da destinação de cerca de R\$ 940 mil, por parte da Petrobras, para o projeto <i>Avaliação de Etanol 2G em Condições Reais de Condução Quanto à Durabilidade, Dirigibilidade e Consumo de Campo</i> da UNIFACS (2014).
Formação de mercado [F5]	<ul style="list-style-type: none"> • Autorização ANP 758/2013 que autorizou a construção da planta de produção de etanol 2G da GranBio (2013). • Autorização ANP 338/2014 que autorizou a operação da planta de produção de etanol 2G da GranBio (2014). • Certificação da GranBio pelo <i>California Air Resources Board</i> (CARB), segundo regras e critérios estabelecidos pelo <i>California Low Carbon Standard</i> (LCFS) (2014).

	<ul style="list-style-type: none"> • Autorização ANP 437/2014 que autorizou a operação da planta de produção de etanol 2G da Raízen anexa à uma de suas usinas de etanol 1G (2014).
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	<ul style="list-style-type: none"> • Criação do Programa Patentes Verdes, pelo INPI, visando a aceleração da tramitação de pedidos de patentes com potencial de diminuição do impacto das mudanças climáticas ou que emitissem menos ou retirassem CO₂ da atmosfera. Pelo menos 15 patentes relacionadas a processos de obtenção de etanol 2G foram beneficiadas pelo programa, entre as quais duas desenvolvidas no Brasil (2012 a 2015). • GranBio recebe a certificação <i>Low Carbon Fuel Standard</i> (LCFS), do <i>California Air Resources Board</i> (CARB), para o seu processo de produção na planta de São Miguel dos Campos (AL) (2014). • A biotecnologia industrial, em especial o etanol 2G, é defendida no Brasil pela recém-criada Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), dado o seu potencial em: reduzir CO₂ da atmosfera; reduzir o uso e a dependência de produtos petroquímicos e combustíveis fósseis; reduzir o consumo de água e da geração de resíduos de processos industriais; obter maior aproveitamento da biodiversidade e dos produtos e resíduos da biomassa (2014-2015).
Legitimação [F7]	<ul style="list-style-type: none"> • PAISS conferiu legitimidade às rotas biotecnológicas (notadamente a enzimática) e ao bagaço de cana-de-açúcar como biomassa, à medida em que os elegeu como critério obrigatório para financiamento de plantas comerciais (2011). • Resolução ANP 14/2014 dá nova redação à Lei 12.490/2011, conferindo ao etanol 2G um novo status na política energética nacional, à medida que passou a se submeter aos mesmos critérios regulatórios, aos quais o etanol 1G já estava subordinado desde 2011 (2014). • Criação da Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), entidade formada por 12 empresas voltada para a defesa dos interesses das indústrias de bioquímicos e biocombustíveis (de modo especial, os interesses da indústria do etanol 2G) (2014). • Relançamento da Frente Parlamentar Mista pela Competitividade da Cadeia Produtiva do Setor Químico, Petroquímico e de Plástico (FPQuímica) que, por sua vez, contemplou a criação da coordenação temática responsável pela biotecnologia industrial (2015). • Brasil propõe no seu INDC (<i>Intended National Determined Contribution</i>) para a COP21 o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional para, aproximadamente, 18% até 2030, por meio do incremento no suprimento de etanol, incluindo uma maior parcela de participação dos biocombustíveis de segunda geração (ou seja, etanol 2G) (2015).

Figura 30: Síntese das funções e eventos do STI do etanol 2G entre 2011 e 2015

Fonte: Dados da pesquisa

3.6 Análise do período 3: 2011-2015

A análise interpretativa da descrição dos eventos do período 2011-2015, relacionados na Figura 23, permite inferir como se manifestaram as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas na formação do STI do etanol 2G e de que forma influenciaram esse processo no período 1987-2010 (Figura 32). A influência e a vinculação de cada uma das manifestações dessas categorias institucionais serão tratadas nas seções 3.6.1, 3.6.2 e 3.6.3.

Instituições	Manifestação	Funções do STI do etanol 2G vinculadas
Regulatórias	Regras do edital do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS Industrial) , de março de 2011, direcionaram o financiamento à produção comercial do etanol 2G e definiram a cana-de-açúcar como biomassa obrigatória para os empreendimentos produtivos, endossando e, portanto, legitimando sua utilização no Brasil.	F1, F2, F3, F4, F7
	As Autorizações ANP 758/2013 e 338/2014 , referentes à GranBio, e ANP 437/201 , referente à Raízen, conferiram a essas empresas o acesso do seu etanol 2G ao mercado brasileiro de etanol.	F5
	Certificação da GranBio pelo California Air Resources Board (CARB) , segundo regras e critérios estabelecidos pelo California Low Carbon Standard (LCFS) , permitiu o acesso do etanol 2G produzido ao mercado californiano de biocombustíveis avançados em razão da constatação das externalidades positivas geradas pelo seu processo produtivo.	F5, F6
	Programa Patentes Verdes (Resoluções INPI/PR 283/2012, INPI/PR 131/2014 e Resolução INPI/PR 145/2015) além de garantir a proteção intelectual (pois foi criado sob o amparo da Lei 9.279/96), deu celeridade à tramitação de pedidos de patentes de tecnologias relacionadas aos biocombustíveis como o etanol 2G, considerados prioritários dadas as suas externalidades ambientais positivas.	F2, F6
	A Resolução ANP 14/2014 conferiu ao etanol 2G um novo status e, portanto, legitimidade, na política energética nacional, pois ao dar nova redação à Lei 12.490/2011 passou a se submeter esse biocombustível aos mesmos critérios regulatórios aos quais o etanol 1G já estava subordinado desde 2011 como, por exemplo, a necessidade de autorização prévia da ANP para construir plantas comerciais.	F1, F7
	Lei 9.478/97 e Resolução ANP 5/2005 que, respectivamente, determina a aplicação de 1% da receita bruta das empresas petrolíferas em P&D e regulamenta a aplicação da referida lei, permitiu o apoio da Petrobras a 6 projetos de pesquisa relacionados ao etanol 2G que totalizaram quase R\$ 11 milhões.	F2, F4
	Lei 13.123/2015 (Lei da Biodiversidade) simplificou o processo para se iniciar pesquisas científicas e tecnológicas sobre o patrimônio genético brasileiro, o que beneficiou o STI do etanol 2G, uma vez que a viabilidade e sobrevivência passaram a depender cada vez mais da pesquisa sobre microrganismos fermentadores e secretores de enzimas.	F2
Normativas	Economicidade (custo e viabilidade econômica) dos processos de conversão de biomassa permanece como pré-requisito de sucesso, mas passa a ser visto como dependente de políticas públicas de suporte e do <i>scale-up</i> tecnológico.	F1, F2, F4, F7

	Sustentabilidade ambiental torna-se explícita nos argumentos de apoio ao etanol 2G e à biotecnologia industrial	F1, F2, F4, F6, F7
	Parcerias interorganizacionais para integração tecnológica de processos e tornam-se pré-requisito para o <i>scale-up</i> da tecnologia para a fase comercial.	F1, F2, F4
Cultural-Cognitivas	Paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial se consolida como referencial orientador da produção em escala comercial do etanol 2G	F1, F2, F3, F4, F7
	Paradigma da biotecnologia industrial , compartilhado por grandes <i>players</i> da área de biocombustíveis e bioquímica, representados pela ABBI, emerge como área estratégica do desenvolvimento nacional.	F1, F4, F7
	Percepção de baixo risco tecnológico das tecnologias estrangeiras por parte das empresas cujos planos de negócio foram aprovados e financiados no âmbito do PAISS.	F1, F3, F4

Figura 31: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, manifestação e vinculação com funções do sistema no período 2011-2015, segundo a análise documental

Fonte: Dados da pesquisa

3.6.1 Instituições regulatórias

A análise do período 2011-2015, o mais recente do STI do etanol 2G, demonstrou a influência de pelo menos sete manifestações institucionais de natureza regulatória em seu processo formativo.

A primeira delas diz respeito às regras estabelecidas pelo edital do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucoenergético e Sucoquímico (PAISS Industrial), em 2011, as quais, essencialmente, direcionaram os recursos disponíveis em ambas as organizações (R\$ 1 bilhão)[F4] para o financiamento da P&D [F2] e investimentos em plantas de produção de etanol 2G baseadas no processamento de uma biomassa pré-definida, ou seja, a cana-de-açúcar. Com essa decisão BNDES e FINEP, praticamente, legitimaram [F7] os resíduos agrícolas (palha) e industriais (bagaço) da cana-de-açúcar, estabelecendo-os como pré-requisitos obrigatórios para a mobilização de recursos [F4] para a P&D [F2] e produção do etanol 2G em escala de demonstração ou comercial – o que direcionou a busca tecnológica [F3] dos atores interessados pelos recursos do PAISS para rotas de conversão mais apropriadas para esse tipo de biomassa. As três empresas cujos planos de negócios foram selecionados pelo PAISS, obtiveram financiamento entre 2012 e 2015 para construção de plantas comerciais e implementação de modelos de negócios [F1] baseados, essencialmente, em conversão enzimática de palha e/ou bagaço de cana-de-açúcar em etanol 2G, de modo que as plantas comerciais desse biocombustível existentes no Brasil desde então estão alicerçadas numa base tecnológica comum. As regras do edital do PAISS se vincularam, portanto, às seguintes funções: F1, F2, F3, F4, F7.

A segunda manifestação institucional evidenciada no levantamento documental diz respeito às Autorizações ANP 758/2013 e 338/2014, referentes à GranBio, e ANP 437/201, referente à Raízen, que conferiram a essas empresas o acesso do seu etanol 2G ao mercado brasileiro de etanol [F5]. Com a atualização da Lei do Petróleo (Lei n. 9478 de 1997) pela Lei n. 12.490/2011, a ANP passou a ter o poder de regulação e autorização das atividades relacionadas com a produção e comercialização de biocombustíveis, principalmente o etanol. Dessa forma, GranBio e Raízen tiveram que se submeter ao poder conferido a essa agência para poderem comercializar o seu etanol 2G. Embora isso não tenha significado a formação de um novo mercado para esse biocombustível, uma vez que o Brasil desde a criação do Proálcool tem um mercado de etanol institucionalizado, sem a autorização da ANP seria impossível a tais empresas acessarem esse mercado. Portanto, a função à qual as instituições regulatórias representadas pelas autorizações da ANP se vincularam foi a F5.

Uma instituição regulatória que também identificou-se na análise foi a certificação obtida pela GranBio no âmbito do *California Air Resources Board* (CARB). Essa entidade é responsável pela aplicação do *California Low Carbon Standard* (LCFS), legislação válida para o estado da Califórnia nos Estados Unidos, que estabelece parâmetros para a avaliação da intensidade de carbono de combustíveis alternativos, desde a extração da matéria-prima, passando pelo processo de conversão, até a distribuição do produto em um porto da Califórnia. Após ser submetido a uma análise técnica, o processo produtivo utilizado pela planta da GranBio foi certificado em razão das externalidades ambientais positivas de sua tecnologia [F6]. A certificação do CARB, deu à GranBio a possibilidade de acessar o mercado californiano com o seu etanol 2G [F5], expandindo, assim, as oportunidades de comercialização desse biocombustível. A certificação CARB/LCFS, enquanto manifestação institucional do tipo regulatória, vinculou-se ao STI do etanol 2G por meio das funções F5 e F6.

Outra manifestação institucional regulatória identificada foi o Programa Patentes Verdes, do INPI, estabelecido pelas Resoluções INPI/PR 283/2012, INPI/PR 131/2014 e Resolução INPI/PR 145/2015 e amparado pela Lei 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial). Embora tenha sido uma experiência-piloto suspensa em 2016 para avaliação de resultados, durante o período de sua vigência esse programa colaborou, para a celeridade de requerimentos de depósitos de patentes de tecnologias consideradas “verdes”, ou seja, com potencial de diminuição do impacto das mudanças climáticas ou de redução de CO₂ da atmosfera. Uma das categorias de tecnologias priorizadas no programa foi a de energias alternativas que incluíam, entre outras, biocombustíveis como o etanol 2G. Cerca de 15 pedidos de registro de patentes

relacionadas a esse biocombustível avançado ingressaram no INPI entre 2012 e 2015 [F2], duas delas desenvolvidas no Brasil por organizações nacionais, recebendo do órgão o enquadramento no programa de Patentes Verdes – em outras palavras, suas externalidades ambientais positivas foram reconhecidas [F6]. Em suma, o Programa Patentes Verdes e o arcabouço legal que o sustentava, vincularam-se ao STI do etanol 2G por meio das funções F2 e F6.

A Resolução ANP/2014, por sua vez, foi outro avanço institucional do STI do etanol 2G, pois ao atualizar a Lei 12.490/2011, dando-lhe nova redação, conferiu ao etanol 2G um novo status na política energética nacional, uma vez que o reconheceu de forma distinta do etanol 1G, embora aplicando os mesmos critérios regulatórios a que este estava submetido, desde 2011, quando a referida lei entrou em vigor – como, por exemplo, a necessidade de autorização prévia da ANP para construir plantas comerciais [F1]. Com essa mudança, provavelmente provocada pelos investimentos em plantas comerciais financiadas pelo PAISS, o poder de regulação da ANP sobre 1G no Brasil também se estendeu ao etanol 2G que, por sua vez, conquistou legitimidade [F7] como biocombustível passível de ser produzido, distribuído e consumido no país. As funções, portanto, às quais essa legislação se vinculou foram F1 e F7.

No que diz respeito a P&D, a pesquisa documental identificou a continuidade da aplicação da Lei 9.478/97 e da Resolução ANP 5/2005 no período 2011-2015, o que beneficiou a geração e difusão de conhecimentos [F2], uma vez que pelo menos seis projetos de pesquisa relacionados ao etanol 2G foram apoiados com recursos de uma única empresa petrolífera: a Petrobras. Desses projetos, que ao todo mobilizaram recursos [F4] de aproximadamente R\$ 11 milhões, três foram conduzidos pela UFRJ, um pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), um pela UNB e um pela Universidade de Salvador (UNIFACS). Essas instituições regulatórias, portanto, se vincularam ao STI do etanol 2G por meio das funções F2 e F4.

Por fim, outra relevante manifestação institucional de caráter regulatório identificada entre 2011 e 2015 refere-se à Lei 13.123/2015, conhecida como Lei da Biodiversidade, que, por sua vez, substituiu a Medida Provisória (MP) 2186-16, dando uma nova dinâmica às atividades de pesquisa e bioprospecção dos recursos genéticos da biodiversidade brasileira. Embora os efeitos dessa lei não tenham sido imediatos sobre o STI do etanol 2G, ela criou as condições institucionais necessárias para o progresso da geração e difusão do conhecimento [F2] na área biotecnológica, especialmente no que diz respeito à pesquisa de microrganismos produtores de enzimas de uso industrial. Com a consolidação da P&D em hidrólise enzimática

e bioprocessos para obtenção de etanol 2G, iniciada no Brasil a partir de 2005, e pela construção das três plantas industriais apoiadas pelo PAISS entre 2012 e 2015, todas baseadas em hidrólise enzimática, a Lei da Biodiversidade parece ter se tornado uma importante instituição regulatória para os avanços tecnológicos a serem experimentados pelo STI do etanol 2G no futuro. Essa lei se vinculou, portanto, à função F2.

Os vínculos estabelecidos pelas instituições regulatórias com as funções do STI do etanol 2G estão representados na Figura 33.

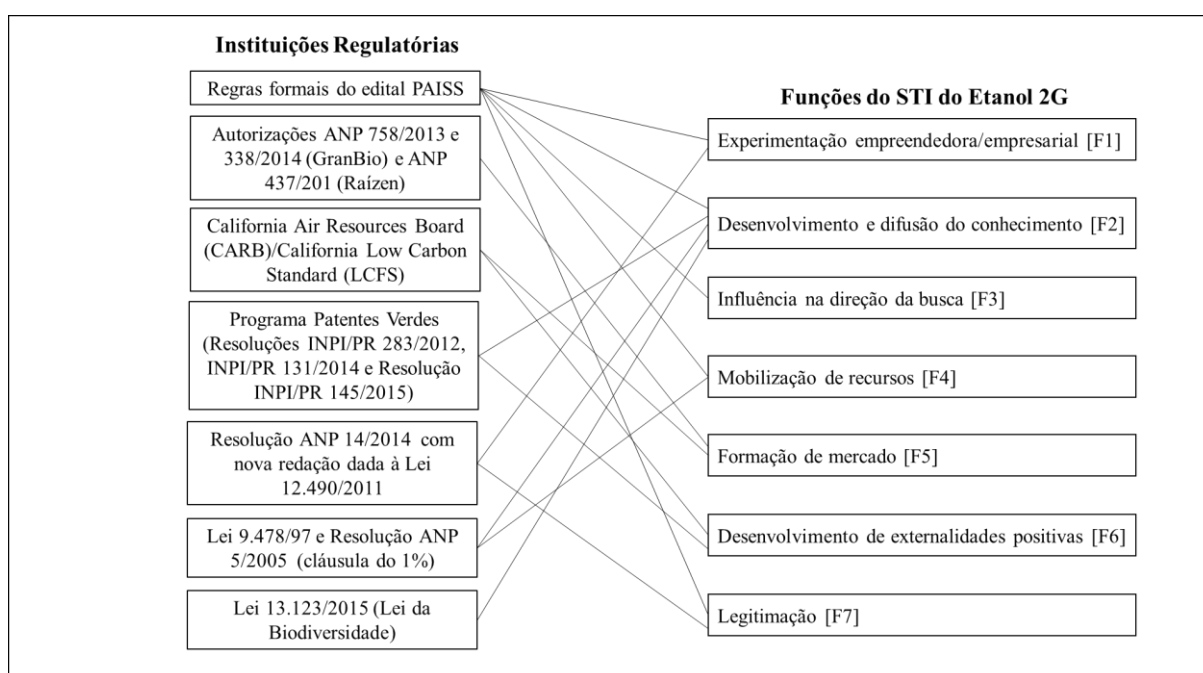


Figura 32: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.6.2 Instituições normativas

A análise dos dados mostra que três manifestações institucionais de natureza normativa evidenciaram-se no processo de formação mais recente do STI do etanol 2G. Duas delas, a economicidade dos processos de conversão de biomassa e a sustentabilidade ambiental, são remanescentes do período 1987-2010, mas atuaram de maneira diferente entre 2011 e 2015. A terceira manifestação institucional normativa, por sua vez, diz respeito às parcerias interorganizacionais para integração tecnológica, característica do STI do etanol 2G que emergiu mais recentemente em sua trajetória de formação.

A norma da economicidade dos processos de conversão de biomassa, conforme mencionada, permaneceu implícita nas decisões e nos esforços de P&D dos atores do STI do

etanol 2G, sobretudo na mobilização de recursos financeiros governamentais [F4], por meio do PAISS Industrial, no sentido de promover o escalonamento (*scale-up*) tecnológico da pesquisa de laboratório ou planta-piloto para a escala de demonstração ou comercial, o que, conseqüentemente, reduziria os custos de produção a níveis equivalentes ou inferiores ao etanol 1G, conferindo legitimidade [F7] às tecnologias empregadas no processo produtivo. Os projetos de P&D [F2] e a construção de unidades produtivas [F1] capitaneados por CTC, GranBio e Raízen, financiados pelo PAISS, provavelmente tinham esse objetivo; mas, a tomar como exemplo a planta da Raízen, seria necessário mais tempo e investimento em P&D para alcançá-lo. O custo de produção obtido pela planta de etanol 2G dessa empresa, em julho de 2015, foi de R\$ 1.400,00 por metro cúbico, enquanto a mesma quantidade de etanol 1G era produzida a R\$ 1.100,00, o que a levou a projetar que a equalização desses custos de produção, em R\$ 1.100,00, seria alcançada até 2017. A eficiência econômica dos processos de conversão de biomassa vinculou-se ao STI do etanol 2G por meio das funções F1, F2, F4 e F7.

A sustentabilidade ambiental também permaneceu influenciando a dinâmica da formação do STI do etanol 2G, enquanto formação institucional normativa, entre 2011 e 2015. Porém, diferentemente do período anterior (1987-2010), sua presença foi mais ostensiva, pois foi adotado como argumento para a defesa da biotecnologia industrial no Brasil por parte da recém-criada Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), representante dos interesses das empresas produtoras de etanol 2G no país. Este segmento, em particular, foi definido como uma das prioridades da ABBI que, entre os argumentos utilizados, para sua defesa destacou o potencial de redução de 1 bilhão de toneladas em emissões de gases de efeito estufa. Graças a essa externalidade ambiental positiva [F6] o conhecimento gerado nas atividades de P&D em etanol 2G pôde ser patenteado [F2] junto ao INPI com enquadramento no programa Patentes Verdes.

As virtudes do etanol 2G também estavam implícitas no documento “Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada” (*Intended National Determined Contribution-INDC*), elaborado pelo governo brasileiro por ocasião da fase preparatória para a COP21, realizada em 2015 na cidade de Paris. Nesse documento, o Brasil comprometeu-se a aumentar a participação dos biocombustíveis de segunda geração como forma de contribuir para manter o aquecimento global abaixo de 2° C. Entretanto, talvez o evento que sirva de exemplificação da influência da sustentabilidade ambiental tenha sido a certificação que o etanol 2G produzido pela empresa GranBio obteve junto ao *California Air Resources Board* (CARB), no âmbito do *California Low Carbon Standard* (LCFS) que estabelece parâmetros para a avaliação da

intensidade de carbono desde a extração da matéria-prima, passando pelo processo de conversão, até a distribuição do produto em um porto da Califórnia. A empresa foi a primeira, entre aquelas atuantes no STI do etanol 2G, que obteve tal certificação.

Todos esses desenvolvimentos colaboraram para a legitimação [F7] do etanol 2G e de suas tecnologias de produção como úteis ao meio ambiente [F6], *status* que atraiu a atenção de agentes governamentais, empreendedores e empresas e recursos financeiros [F4] para investimentos em sua exploração comercial [F1]. Em síntese, os vínculos estabelecidos entre a sustentabilidade ambiental, como instituição normativa, e o STI do etanol 2G deram-se por meio das funções F1, F2, F4, F6 e F7.

A terceira manifestação institucional normativa evidenciada na análise do período 2011-2015 foram as parcerias interorganizacionais para integração tecnológica de processos, que visavam à produção do etanol 2G em escala comercial. Esse tipo de arranjo, embora já existisse no âmbito das atividades de P&D conduzidas por centros de pesquisa, universidades e algumas empresas, em escala de laboratório ou piloto, aparentemente não tinha o foco na integração tecnológica de processos, mas no intercâmbio e na complementaridade de conhecimentos. Com o advento do PAISS, no âmbito do BNDES e FINEP, as empresas postulantes dos recursos disponibilizados por essas organizações foram impelidas a buscar parceiros com tecnologias em estágio de desenvolvimento avançado, de modo que pudessem se habilitar a obter o financiamento público para investimento [F4] na construção de suas respectivas plantas de produção de etanol 2G [F1], uma vez que, individualmente, não dispunham de desenvolvimentos tecnológicos que as permitissem a implementação de tais empreendimentos. Com as parcerias, o conhecimento tecnológico possuído por empresas internacionais na área de enzimas, leveduras e equipamentos foi, de certa forma, disseminado para os empreendimentos [F2] beneficiados pelo PAISS Industrial que, por sua vez, passaram a implementá-los industrialmente. O CTC, por exemplo, estabeleceu parceria com a Novozymes, a Andritz e Usina São Manoel. A GranBio juntou-se à Novozymes, DSM, Beta Renewables e Usina Caeté. Já a Raízen se uniu à Novozymes e à Iogen. Portanto, a instituição normativa das parcerias interorganizacionais vinculou-se às funções F1 e F4.

Na Figura 34 tem-se a representação dos vínculos que relacionam as instituições normativas e as funções do STI do etanol 2G, no período 2011-2015.

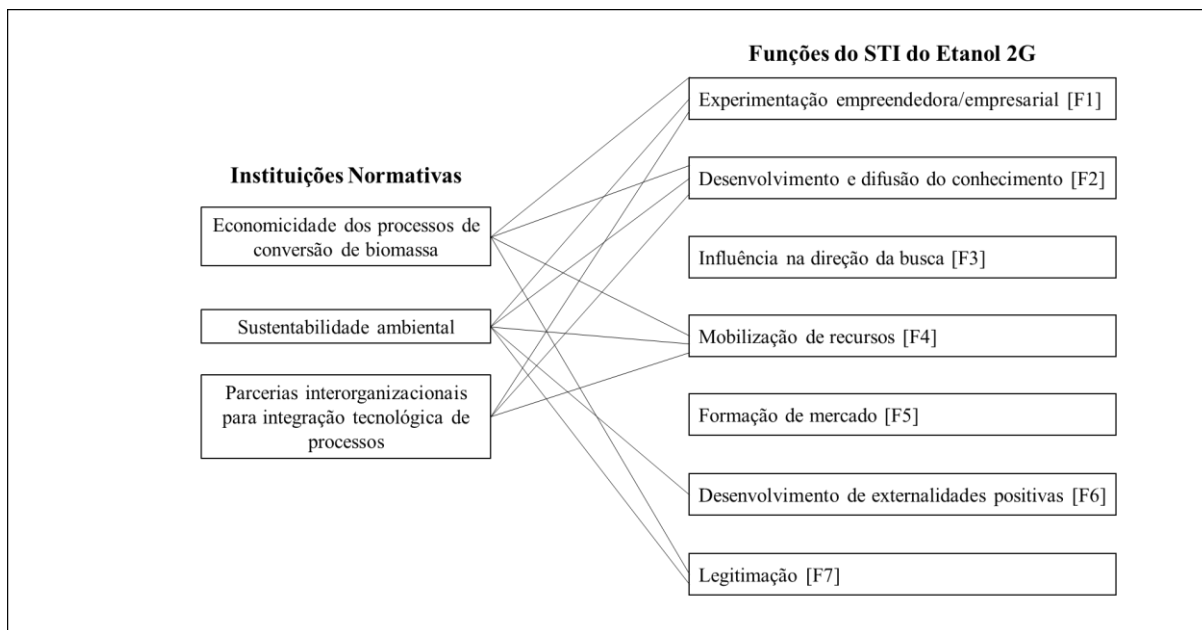


Figura 33: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.6.3 Instituições cultural-cognitivas

Três instituições cultural-cognitivas foram identificadas ao longo do processo formativo do STI do etanol 2G entre 2011-2015. A primeira a ser abordada é o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial que, por sua vez, se consolida como referencial orientador da produção do etanol 2G em escala comercial, após emergir no período 1987-2010 como uma forte tendência, a partir do início dos anos 2000, na área da P&D. Isto se deu porque o edital do PAISS, elaborado conjuntamente por BNDES e FINEP, estabeleceu que os planos de negócios de P&D, a produção e comercialização de etanol 2G a serem apoiados com os recursos, disponíveis à época (R\$ 1 bilhão) [F4], deveriam ser baseados em processos de conversão de biomassa oriunda da cana-de-açúcar. Embora não tenha definido *a priori* o tipo de tecnologia que os postulantes dos recursos do PAISS deveriam prever em seus respectivos planos de negócios, o fato de o edital ter escolhido a cana-de-açúcar como matéria-prima obrigatória para a mobilização de recursos [F4], fez com que a busca tecnológica [F3] dos empreendedores/empresas interessados em desenvolver P&D [F2] e construir plantas de produção [F1] se orientasse na direção de processos de conversão que estivessem mais avançados na obtenção de etanol 2G dessa biomassa. As tecnologias de hidrólise enzimática atendiam a esse requisito e, talvez por isso, foram contempladas pelos três empreendimentos aprovados e executados no âmbito do PAISS, o que, em grande medida, conferiu-lhes legitimidade [F7] ante outras alternativas tecnológicas, formando assim um paradigma

tecnológico para a produção comercial de etanol 2G no Brasil. Portanto, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar vinculou-se ao STI do etanol 2G por meio das funções F1, F2, F3, F4 e F7.

Outro paradigma de natureza cultural-cognitiva evidenciado na análise do período 2011-2015 foi o da biotecnologia industrial, adotado, compartilhado, defendido e promovido por grandes empresas atuantes na área de biocombustíveis e bioquímica. Ao referendar a biotecnologia industrial como base tecnológica para a construção de plantas de produção de etanol 2G [F1], o PAISS impulsionou com financiamento [F4] a adoção de processos enzimáticos de conversão de biomassa em escala industrial, que criaram o estímulo necessário para que diferentes empresas interessadas nas oportunidades geradas por esse biocombustível, ou no potencial da química verde (e das biorrefinarias), se articulassem em prol da legitimação [F7], perante a sociedade e ao governo federal, de um novo setor produtivo sustentável e estratégico para o desenvolvimento nacional. Para que esse esforço fosse institucionalizado, 12 empresas se uniram para criar a Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), em abril de 2014, com o objetivo de promover a biotecnologia industrial e contribuir para o aprimoramento do seu marco regulatório, discutir políticas públicas de incentivo para as empresas do setor, gerar e trocar conhecimentos de interesse da biotecnologia industrial, bem como contribuir para o desenvolvimento dessa área por meio de acordos com instituições de ciência e tecnologia.

O etanol 2G foi eleito pela ABBI como pauta prioritária de suas ações, possivelmente por se tratar da área biotecnológica onde investimentos mais significativos estavam sendo realizados e, portanto, onde os riscos tecnológicos e financeiros eram maiores. A busca por legitimidade por parte da ABBI, seja promovendo o etanol 2G ou, de forma mais ampla, a biotecnologia industrial, foi reforçada com a organização da Frente Parlamentar Mista pela Competitividade da Cadeia Produtiva do Setor Químico, Petroquímico e de Plástico (FPQuímica), na qual foi criada uma coordenação temática responsável pela biotecnologia industrial com forte interface com as demandas defendidas pela entidade. Essa coordenação atuou em 2015 na defesa, por exemplo, da regulamentação da Lei da Biodiversidade, marco regulatório considerado estratégico para o avanço da P&D da biotecnologia industrial no Brasil. O paradigma da biotecnologia industrial, enquanto instituição cultural-cognitiva, estabeleceu vínculos com o STI do etanol 2G por meio das funções F1, F4 e F7.

A terceira instituição de caráter cultural-cognitivo diz respeito à percepção de baixo risco tecnológico das tecnologias estrangeiras por parte das empresas cujos planos de negócio

foram aprovados e financiados no âmbito do PAISS. O exame retrospectivo da execução desse instrumento de crédito e fomento do BNDES e FINEP realizado por Milanez et al. (2015) mostrou que diante da disponibilização de poucos recursos financeiros de natureza não-reembolsável [F4] ofertados que, eventualmente poderiam ser utilizados na experimentação de tecnologias de alto risco, a busca tecnológica [F3] do CTC e da GranBio foi direcionada para fora do Brasil onde empresas como, por exemplo, Novozymes (Dinamarca), DSM (Holanda) e Beta Renewables (Itália) dispunham de tecnologias de produção de etanol 2G em estágio mais avançado de desenvolvimento e, portanto, com risco menor comparado às possíveis tecnologias nacionais que, aparentemente, não estavam disponíveis para além da escala de laboratório ou piloto. Portanto, essa percepção de menor risco tecnológico das tecnologias internacionais, como manifestação cultural-cognitiva, estabeleceu vínculos com as seguintes funções do STI do etanol 2G: F1, F3, F4.

A Figura 35 ilustra as vinculações entre instituições cultural-cognitivas identificadas na pesquisa e funções do STI do etanol 2G.

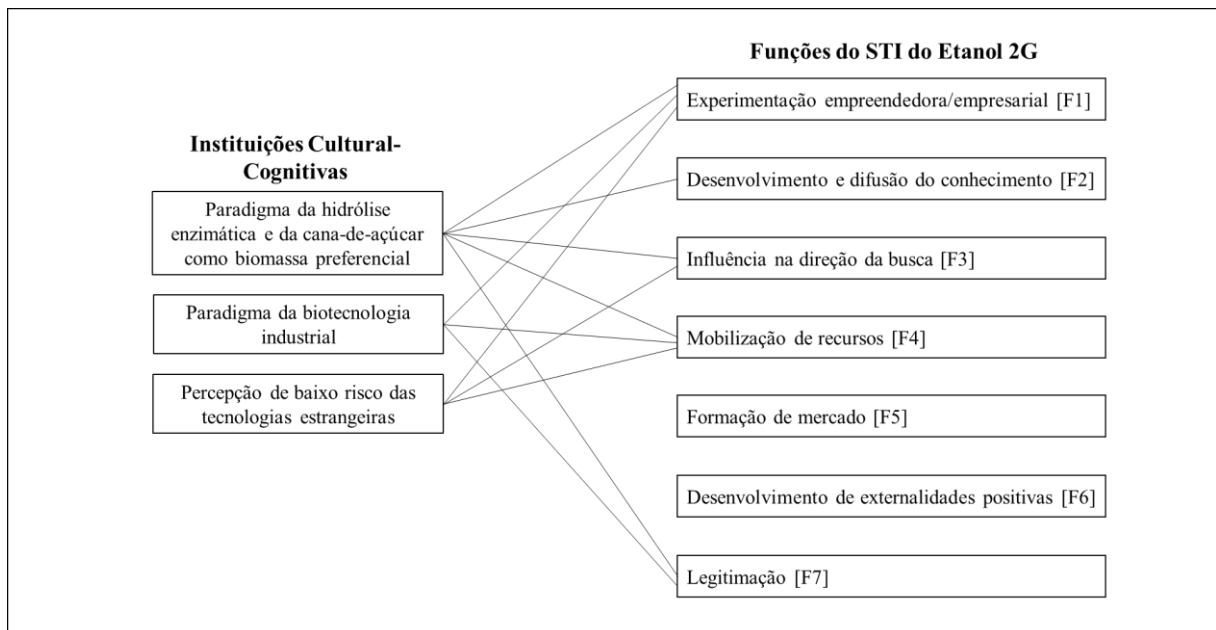


Figura 34: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015, segundo a análise documental.

Fonte: Dados da pesquisa

3.7 Análise das entrevistas

A análise das entrevistas realizadas para esta pesquisa foi auxiliada pelo uso do software Atlas.ti, o que permitiu a codificação de trechos de falas de acordo com as categorias de análise adotadas para a interpretação do material documental, ou seja, as sete funções do sistema de

inovação e os três pilares institucionais (regulatório, normativo e cultural-cognitivo). A organização da análise, aqui apresentada, será norteada por tais categorias analíticas e objetivará não somente a identificação de eventos ocorridos no processo de formação do STI do etanol 2G, mas a descrição de percepções, avaliações e julgamentos externados pelos entrevistados diante das questões formuladas.

Tal como foi explicitado no capítulo 2, dedicado ao método, foram conduzidas 20 entrevistas com 19 atores envolvidos, em algum momento do intervalo 1975-2015, com o STI do etanol 2G. O objetivo dessas entrevistas foi o de complementar o levantamento documental, confirmando, adicionando ou mesmo rejeitando dados e informações descritas naquela etapa analítica, que permitam identificar ou inferir a presença de instituições regulatórias, normativas ou cultural-cognitivas e sua influência no STI estudado. A análise, a seguir, tratará inicialmente das entrevistas realizadas com os três entrevistados correspondentes ao grupo de atores, aqui chamado de histórico e, na sequência, a análise das entrevistas do grupo chamado de contemporâneo será apresentada.

3.7.1 Entrevistas do grupo histórico de atores

As entrevistas com representantes de atores históricos do STI do etanol 2G contaram com a participação de dois entrevistados pertencentes a duas instituições de ciência e tecnologia universitárias públicas (codificados como ICT3 e ICT4) e um entrevistado que foi diretor industrial da extinta empresa COALBRA (codificado como PROD3). Todos esses entrevistados participaram diretamente dos primeiros eventos que deram origem ao STI do etanol 2G brasileiro e, por isso, o foco das questões a eles formuladas concentrou-se nesse período histórico do sistema de inovação. Apesar disso, algumas de suas falas refletem opiniões e percepções sobre os desenvolvimentos na P&D e nas iniciativas empresariais mais recentes relacionadas a esse biocombustível.

Assim, considerando o número reduzido de entrevistas e o fato de o roteiro de entrevistas aplicado ao grupo histórico não estar estruturado por funções do STI, a análise seguirá o mesmo padrão adotado na pesquisa documental, ou seja, descrição narrativa com cronologia de eventos e identificação das funções pertinentes entre colchetes ao longo do texto. Por se tratar de uma análise de conteúdo, trechos das falas dos entrevistados serão transcritos e destacados textualmente.

Das sete funções do STI, seis delas puderam ser identificadas nas falas dos entrevistados (experimentação empreendedora/empresarial, desenvolvimento e difusão do conhecimento,

influência sobre a direção da busca, mobilização de recursos, formação de mercado e desenvolvimento de externalidades positivas). Essas funções guiarão a análise, a seguir, de maneira a permitir que se tenha uma visão evolutiva da formação do STI do etanol 2G.

Com base nos depoimentos de dois entrevistados pode-se inferir que a gênese do STI do etanol 2G está associada à função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] refletida no trabalho de pesquisa iniciado por João Consani Perrone no Instituto Nacional de Tecnologia [INT], entre 1977 e 1980, e que, por sua vez, direcionou a busca tecnológica [F3] no âmbito da hidrólise ácida por conta dos conhecimentos que trouxe da União Soviética nessa área.

ICT4: [...] Bom, já existia o Proálcool, e o álcool era obtido da forma tradicional: fermentação do caule da cana-de-açúcar. Perrone era um pesquisador antenado, pioneiro e vislumbrou a possibilidade de etanol de materiais lignocelulósicos. Ele viajou para Rússia, União Soviética na época, país que tinha tradição, tinha plantas montadas para hidrolisar com ácido a madeira para obter glicose, crescer *Candida Utilis* nessa glicose e obter assim uma biomassa alimentar.

ICT3: [...] naquela época tudo começou do zero. O Professor Perrone quando acabou de aprovar o projeto Recursos Renováveis por Via Hidrolítica [projeto de pesquisa coordenado por Perrone no INT de 1977 a 1980] foi à Rússia porque na época eram as únicas unidades que funcionavam para obter álcool de madeira e trouxe toda a metodologia de análise que a gente usou depois. Os russos tinham algumas usinas de álcool de madeira, o objetivo não era fazer álcool, e sim obter açúcar.

Indagado sobre se o programa Proálcool teve influência nesses esforços de pesquisa, um dos entrevistados afirmou: “Esses trabalhos tinham o apoio da Secretaria de Tecnologia Industrial, que era ligada ao MIC [Ministério da Indústria e do Comércio]” (ICT4)

Cabe observar, conforme demonstra a pesquisa documental, que o Proálcool era gerido, à época das pesquisas conduzidas pelo INT, exatamente pela Secretaria de Tecnologia Industrial, da qual se originou a decisão de se criar a FTI em Lorena (SP), transferindo para lá toda a infraestrutura e pesquisadores existentes dedicados ao etanol 2G. Nessa unidade de pesquisa foi construída uma planta-piloto de hidrólise, ampliando a escala das pesquisas que até então estava limitada aos laboratórios do INT, conforme relata ICT3.

ICT3: [...] Depois que o Perrone morreu parece que houve um grande movimento para terminar com aquilo. Mudar o nome do padrinho da história, entendeu? Então, pouca gente fala dele! E toda a linha de pesquisa que existiu depois da Fundação de Tecnologia Industrial, da Faculdade de Engenharia de Lorena, tudo foi galgado em cima da pesquisa inicial de álcool. Por que? Na hora que a pesquisa começou a deslanchar, a gente tinha que escolher um lugar para fazer a planta-piloto. Então ficou entre Xerém e aqui [Lorena]. A gente estava ligado ao Ministério da Indústria e Comércio. Saíram dois projetos separados: a de álcool de mandioca e a de álcool de madeira. A parte inicial de identificação e desenvolvimento das técnicas foi feita toda no INT. Eu estou me

lembrando que a gente não tinha muita noção de como ia fazer uma explosão com vapor para fazer o pré-tratamento. Aí montamos lá o equipamento, montamos no meio do corredor do INT; e nós fizemos o nosso primeiro teste de explosão a vapor com um pilotinho que tinha no meio do corredor do INT. Uma coisa de maluco que hoje seria completamente impossível por conta de todas as normas.....Naquela época a gente conseguia fazer isso. Então era tudo muito assim primitivo.

Inicialmente, a planta-piloto da FTI em Lorena, foi concebida para processar cavacos de madeira, de acordo com a fala de ICT3:

ICT3: [...] A nossa planta-piloto que funcionou aqui nos anos 80, fazia hidrólise ácida de madeira. O processo era: você pegava os cavacos de eucalipto, fazia um pré-tratamento chamado explosão a vapor (*steam explosion*), explodia aquilo para que tivesse acesso dos reagentes, depois fazia uma hidrólise ácida, obtinha um xarope de açúcar e fazia a fermentação, não é? A gente chegou a operar essa usina aqui e se não me engano eram 3 mil litros/dia [de etanol].

Contudo, conforme o mesmo entrevistado afirma, o bagaço de cana-de-açúcar começou a ser utilizado em substituição à madeira naquela unidade de pesquisa: “o bagaço de cana a gente só foi utilizar quando a gente já estava aqui [Lorena]. Porque todo o projeto inicial do professor Perrone era em cima de madeira, especificamente eucalipto” (ICT3)

Apesar dos conhecimentos trazidos pelo professor Perrone da União Soviética, e os que foram acumulados a partir das pesquisas em etanol 2G que foram iniciadas no INT e FTI [F2], o governo brasileiro desconsiderou o trabalho pioneiro desse pesquisador, enviando uma comissão àquele país para uma prospecção tecnológica que visava à construção de uma planta de produção de etanol de madeira que mais tarde se materializou com a criação da COALBRA [F1]. Os detalhes dessa iniciativa são citados por ICT4:

ICT4: [...] Não sei quem apoiou, problemas políticos e de relacionamentos. O governo, em um período que não sei precisar, criou uma missão que foi a União Soviética, isso depois que o Perrone foi. Então foi criado esse grupo, essa comissão e a COALBRA foi criada logo depois que essa comissão foi pra União Soviética e eles ignoraram completamente o trabalho que já vinha sendo feito no INT. [...] São problemas que acontecem no Brasil.

O entrevistado PROD3 relaciona a criação da COALBRA com o Proálcool e descreve em seu depoimento os motivos que estavam por trás da criação dessa empresa:

PROD3: [...] a COALBRA foi criada pelo governo Figueiredo [...] O objetivo era diversificar matérias-primas...tinha sido criado o Proálcool, na década de 70 e o governo militar para não ficar só com uma matéria-prima para produção do álcool pensou em diversificar, e aí surgiu a ideia da madeira e a ideia da mandioca. Enfim, eram os dois concorrentes da cana-de-açúcar. Foi criada essa empresa estatal, o dinheiro vinha todo do governo para a primeira fase pelo menos, que era o desenvolvimento da tecnologia. Inicialmente era para ver o que estava sendo feito no mundo em torno de produção de

etanol, principalmente de madeira. A mandioca ficou aqui em Curvelo [MG] mesmo. Não se pensou em milho, o milho veio depois.

Esse mesmo entrevistado afirma não ter participado da primeira missão à União Soviética, mas participou de todas as outras viagens que se fizeram necessárias após o governo brasileiro decidir importar a tecnologia soviética para implantar a COALBRA [F1] em Uberlândia (MG).

PROD3: [...] quando o negócio tomou corpo, fui contratado para desenvolvimento da tecnologia, transferência da tecnologia, adaptação da tecnologia e verificar o que tinha no mundo sobre o assunto. Nessa época, demorou um ano mais ou menos, a gente ficou só vendo a parte tecnológica, o que tinha no mundo e fazendo estudos e pegando algumas coisas que já tinham vindo da Rússia. Na Rússia tinha o Instituto de Tecnologia de Hidrólise [de Leningrado] na época, hoje eu não sei, mas havia quarenta fábricas de etanol. Na realidade, o etanol era um subproduto, o produto principal era a levedura para consumo animal e o etanol era um subproduto. O etanol e o furfural. da tecnologia saía as três coisas. Em Uberlândia foram montadas as três. [...] A fábrica começou a funcionar em 1982, final de 1983, que ela ficou pronta e começou a funcionar. Ela foi montada entre 1982 e 1983, no final de 1983 ela começou.

Perguntado se houve alguma articulação da COALBRA com alguma universidade para o desenvolvimento de novos processos ou novas tecnologias, o entrevistado destacou que todo o processo de difusão tecnológica [F2] proveniente da União Soviética se deu por meio da assistência do Instituto de Tecnologia de Hidrólise de Leningrado, instituição de pesquisa totalmente dedicada à pesquisa em hidrólise ácida:

PROD3: [...] A gente estava ligado ao Instituto de Tecnologia de Hidrólise de Leningrado porque tinha que vir de lá [...] O projeto inteiro eles passaram aqui. [...] foi um negócio grande. [...] Tinha cara de campo e cara de processo, cara de montagem, cara de projeto. Agora, os pesquisadores de laboratório ficavam lá, mas tudo em contato aqui com esse pessoal, porque o problema daqui eles reportavam lá e de lá tinham que dar uma solução ...

Os investimentos feitos na construção da planta da COALBRA, totalmente baseada em hidrólise ácida, foram, segundo PROD3, da ordem de US\$ 10 milhões [F4]: “Mais ou menos dez milhões de dólares.[...] a maioria dos equipamentos veio da Rússia [...] cinco milhões de dólares, foi o dinheiro financiado pelo Banco Estatal Russo [...] Não faltou dinheiro para a montagem dela não” (PROD 3).

Com base nos dados obtidos na pesquisa documental, perguntou-se ao entrevistado PROD3 por que a COALBRA não se viabilizou e foi extinta, ao que o mesmo respondeu:

PROD3: [...] O maior problema, digamos que 70% dos problemas foi que começou a dar uma coisa que eles chamavam de caramelo. [...] passou a dar um caramelo que durante a fase de hidrólise não acontecia, mas nas fases posteriores ela acontecia e

entupia todas as tubulações pós hidrólise, então isso se tornou um sistema operacional quase impraticável. Vivia pra limpar aquilo e isso não tinha acontecido lá [na União Soviética] pois não acontecia com o *pinus*. [...] Você trabalhava vinte e quatro horas e tinha que parar doze para limpar e o negócio era pra ser contínuo.

Indagado sobre se, apesar desses problemas, a COALBRA produziu e comercializou [F5] sua produção, PROD3 disse:

PROD3: [...] Enquanto eu estive lá, não chegou a produzir os trinta mil litros [capacidade nominal], mas chegou a produzir vinte dois, vinte e três mil litros/dia. [...] Chegou! Mas pra quem eu não lembro, mas chegou. Foi pra distribuidora mesmo, eu não lembro para qual distribuidora, mas era etanol carburante, combustível. Foi pra distribuidora...Shell.

Embora toda a base tecnológica da COALBRA fosse alicerçada na hidrólise ácida, o entrevistado PROD3 reconhece que essa não era a tecnologia mais promissora para a conversão de biomassa em etanol 2G à época, mas o governo brasileiro estava determinado a construir uma planta industrial a qualquer custo.

PROD3: [...] Se tinha consenso que a hidrólise enzimática era muito mais promissora que a hidrólise ácida...[...] Porque o Ministério queria fazer de qualquer jeito uma planta e a hidrólise enzimática estava em fase embrionária. Se hoje ainda não conseguem direito, imagina em 1980.

O reconhecimento de que a hidrólise enzimática seria a tecnologia mais adequada para a produção de etanol 2G parece captar o processo de reorientação da pesquisa [F3] que estava em curso no início dos anos 1980, sobretudo no INT. Diferentemente do que foi descrito na análise descritiva baseada em documentos, um dos entrevistados (ICT4) afirma que a transição da pesquisa da hidrólise ácida para a enzimática, e do uso de madeira para o bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima a ser hidrolisada, foi promovida, primeiro, dentro do próprio INT (com a colaboração de alunos de mestrado e doutorado da UFRJ) e, depois, na Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), em Lorena (SP), para onde a infraestrutura e a equipe responsável pela pesquisa em etanol 2G do INT foi transferida.

ICT4: [...] Tinha uma equipe grande de muitos alunos de mestrado e doutorado, então cada aluno começou a estudar uma matéria-prima diferente. [...] Foi construído um reator pré-piloto, eu não lembro o volume, talvez uns dez litros para fazer hidrólise ácida de materiais lignocelulósicos que foi instalado lá no segundo andar do INT, a caldeira para fazer hidrólise ácida com ácido sulfúrico, mas logo em seguida já começou um grupo a estudar o pré-tratamento visando fazer sacarificação enzimática, porque o Perrone era bioquímico...

ICT3: [...] Nós começamos a colocar maior parte do esforço em hidrólise enzimática depois que viemos para cá [FTI]. [...] em cima desse projeto que era a continuação do projeto do Perrone, chamava “Hidrólise Enzimática Fase II” ou III e já era hidrólise

enzimática. E foi, na verdade, uma continuação dos resultados que a gente tinha obtido lá [INT].

Confirmando um achado da pesquisa documental, outro entrevistado (ICT3) ressaltou a importância da empresa BIOBRÁS no fornecimento de enzimas para a realização das pesquisas sobre hidrólise enzimática.

ICT3: [...]o Perrone já estava interessado nisso, já tínhamos feito alguns testes de pré-tratamento, mudando o tipo de pré-tratamento para conseguir fazer a hidrólise enzimática. E estava todo mundo já começando a fazer testes com enzimas....Você já ouviu falar da Biobrás? [...] A Biobrás naquela época ela produzia celulase, tinha um chefe de pesquisa lá chamado Dr. Thiemann [Josef E. Thiemann]. Ele era alemão, ele era de Santa Catarina se não me engano, e a gente tinha um contato muito bom com ele. Então, eles mandavam muito as celulases, depois a gente começou a trabalhar com o *Trichoderma* para a produção da enzima. Mas, a princípio, a gente usava celulase que a Biobrás mandava para a gente.

Além das pesquisas realizadas pela FTI, havia em outras instituições de ciência e tecnologia pesquisadores também interessados em hidrólise enzimática, cujos resultados de suas investigações começaram a ser compartilhados, especialmente em um evento de comunicação científica criado para cobrir essa linha de investigação [F2], conforme relata ICT4:

ICT4: [...]Tinha a UNICAMP, era o Nelson Duran que fazia tratamento fotoquímico, se não me engano. Outro professor da UNICAMP, Ulf Schuchardt também trabalhava nessa área. [...] Então, tinha esse pessoal. Tinha o pessoal do Paraná, tinha o professor Carioca [Universidade Federal do Ceará]. Era o pessoal que ia no SHEB que era o Seminário de Hidrólise Enzimática da Biomassa.

De acordo com o depoimento de ICT4, o Seminário de Hidrólise Enzimática da Biomassa (SHEB) foi criado por pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá e reunia a cada edição um grupo crescente de participantes [F2].

ICT4: [...] O Flávio Morais e a Gisella [Zanin], da Universidade de Maringá. O Flávio e a Gisella trabalhavam com hidrólise de amido e criaram o SHEB e, na época, com a pesquisa de hidrólise de materiais lignocelulósicos, eles juntaram os dois temas em um único evento. [...] Olha, era um grupo que foi crescendo. No primeiro ano eu acho que tinha umas cinquenta pessoas e depois foi crescendo. No terceiro SHEB já tinha muito mais, porque exatamente pegou o Proálcool.

Além do SHEB, outro evento voltado à difusão de conhecimentos em hidrólise enzimática, o Enzitec, foi mencionado no relato de ICT3 [F2].

ICT3: [...] Mas, nos anos 1980 e 1990, o SHEB era fortíssimo. Era o único encontro nacional nessa área e outras áreas de biotecnologia. Era muito interessante. Depois apareceu o Enzitec [Seminário Nacional de Tecnologia Enzimática], mas se a gente

comparar o SHEB proporcionalmente à situação de ciência do país na época, teve um impacto muito grande porque reunia todo mundo.

Deduz-se, portanto, da análise das falas acima que o próprio INT, a FTI e outras instituições de pesquisa, deram nova orientação às pesquisas realizadas em etanol 2G, influenciando, assim, a direção da busca tecnológica [F3] pela rota de conversão mais adequada para as condições brasileiras. Uma das justificativas para a migração gradual para a pesquisa em hidrólise enzimática, além do fato de João Consani Perrone ser especialista em bioquímica e ter orientando nessa área, foi o reconhecimento dos inconvenientes da hidrólise ácida, em particular, o seu impacto ambiental. Essa constatação foi externada pelo entrevistado ICT4:

ICT4: [...] a hidrólise ácida avançou por um tempo e depois parou pelos problemas de corrosão de reatores, resíduos altamente poluentes, altas temperaturas, altas pressões, destruição de açúcares, porque as condições são tão drásticas que você hidrolisa a celulose e ao mesmo tempo transforma o açúcar produzido em furfural, em hidroximetilfurfural. Então o rendimento da hidrólise é mais baixo. Então, como o grupo era tradicionalmente da área de bioquímica, rapidamente a gente passou para hidrólise enzimática.

O mesmo entrevistado observou que a empresa Dedini deu continuidade ao desenvolvimento da tecnologia de hidrólise ácida, mas ressaltou a falta de sustentabilidade ambiental do mesmo comparado à hidrólise enzimática, sugerindo que esta gera maiores externalidades positivas [F6]: “Eles [Dedini] continuaram, mas é muito poluente. Eu acho que a via enzimática é muito mais ambientalmente correta, pelos conceitos que se tem hoje em dia de sustentabilidade é hidrólise enzimática, não tem mais dúvida sobre isso” (ICT4).

Além da pesquisa em hidrólise ácida e enzimática, o INT contribuiu para a geração e difusão de conhecimentos em pré-tratamento de biomassas por meio de um processo conhecido como explosão a vapor (*steam explosion*) [F2], cujas pesquisas e testes foram transferidas para a Fundação de Tecnologia Industrial (FTI) que, por sua vez, se tornou referência nesse processo: “Então, eu acho o seguinte, a fronteira foi a gente conseguir desenvolver um pré-tratamento com explosão a vapor. Então, isso aí ficou estabelecido que o pré-tratamento a explosão a vapor é feito em Lorena” (ICT3).

ICT4: [...] No Instituto Nacional de Tecnologia foi montado um reator pequeno, talvez de um litro. Nós fizemos estudos principalmente com madeira e bagaço de cana e esse reator foi transferido para Lorena. E em Lorena foi construído um maior, talvez de dez litros. Então, essa parte de pré-tratamento por explosão com vapor foi desenvolvida no INT e depois FTI.

Com base nos depoimentos obtidos pelos três entrevistados do grupo de atores chamado de histórico, é possível identificar 11 eventos que, em sua maioria, também foram identificados

no levantamento documental realizado para esta pesquisa. As únicas exceções foram cinco eventos relatados que complementam a descrição da formação do STI do etanol 2G, quais sejam: a aprovação do projeto Aproveitamento Integral de Recursos Renováveis por Via Hidrolítica, coordenado por João C. Perrone do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) [F2]; a FTI se torna referência em pré-tratamento de biomassa por explosão a vapor [F2]; COALBRA comercializa sua produção de etanol 2G com distribuidora de combustíveis [F5]; João C. Perrone, juntamente com seus orientandos de mestrado e doutorado, inicia pesquisas em hidrólise enzimática de biomassa no INT, paralelamente ao projeto de pesquisa em hidrólise ácida [F2]; pesquisadores do INT iniciam pesquisa com hidrólise enzimática, entre outros motivos, por ser mais ambientalmente correto [F6].

Esses novos eventos, relacionados na Figura 36, no entanto, não alteram substancialmente a descrição da evolução do processo formativo do STI do etanol 2G no levantamento documental.

Função	Descrição dos eventos	Evento identificado no levantamento documental?	
		Sim	Não
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	<ul style="list-style-type: none"> • Inauguração da COALBRA, empresa criada pelo governo brasileiro para a produção de etanol de madeira (1983) 	X	
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovação do projeto Aproveitamento Integral de Recursos Renováveis por Via Hidrolítica, coordenado por João C. Perrone do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) (1977-1980) 		X
	<ul style="list-style-type: none"> • João C. Perrone do INT vai à União Soviética conhecer e reunir material bibliográfico sobre etanol de madeira (1977) 	X	
	<ul style="list-style-type: none"> • Fundação de Tecnologia Industrial (FTI) constrói uma usina-piloto de hidrólise ácida de madeira na cidade de Lorena (SP), nas dependências da antiga Faculdade de Engenharia Química de Lorena (FAENQUIL) (1980s) 	X	
	<ul style="list-style-type: none"> • A FTI se torna referência em pré-tratamento de biomassa por explosão a vapor (1980s) 		X
	<ul style="list-style-type: none"> • Criação do Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas (SHEB) (1980s) 	X	
	<ul style="list-style-type: none"> • Criação do Enzitec (Seminário Nacional de Tecnologia Enzimática) (1990s) 	X	
Influência sobre a direção da busca [F3]	<ul style="list-style-type: none"> • João C. Perrone, juntamente com seus orientandos de mestrado e doutorado, inicia pesquisas em hidrólise enzimática biomassa no INT, paralelamente ao projeto de pesquisa em hidrólise ácida 		X
Mobilização de recursos [F4]	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento de mais ou menos US\$ 10 milhões na construção da unidade industrial da COALBRA em Uberlândia (1983) 	X	
Formação de mercado [F5]	<ul style="list-style-type: none"> • COALBRA comercializa sua produção de etanol 2G com distribuidora de combustíveis (1980s) 		X
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisadores do INT iniciam pesquisa com hidrólise enzimática, entre outros motivos, por ser mais ambientalmente correto (de 1977 em diante) 		X
Legitimação [F7]	Não foram identificados eventos.		

Figura 35: Eventos identificados na análise das entrevistas do grupo de atores histórico do STI do etanol 2G.

Fonte: Dados da pesquisa

A análise de conteúdo das entrevistas realizadas junto ao chamado grupo histórico de atores identificou três instituições regulatórias, duas instituições de natureza cultural-cognitiva (e nenhuma instituição normativa) que, de acordo com a perspectiva temporal dos entrevistados, se enquadram no período 1975-1986 do processo formativo do STI do etanol 2G. Conforme mostra a Figura 37, as cinco instituições encontradas também foram identificadas na análise documental correspondente a esse mesmo período (ver Figura 24). No caso particular das instituições regulatórias, as manifestações institucionais foram constatadas indiretamente, uma vez que nas falas dos entrevistados nenhuma referência à legislação ou às regras formais foi feita. Assim, para facilitar a visualização da evidência, foram relacionadas as manifestações institucionais encontradas à sua respectiva origem regulatória (decreto, lei, portaria), com base nos dados colhidos na análise documental realizada nas seções anteriores. A Figura 37 indica também as funções do STI do etanol 2G com as quais as instituições identificadas se vinculam, segundo pôde-se inferir das respostas dos entrevistados, bem como mostra quais foram as funções vinculadas às mesmas instituições de acordo com análise documental.

Instituições	Manifestação institucional identificada nas entrevistas do grupo histórico que também foi evidenciada na pesquisa documental (período 1975-1986)	Vinculação com funções do STI do etanol 2G, segundo a análise das entrevistas	Vinculação com funções do STI do etanol 2G, segundo a análise documental
Regulatórias	Influência do Proálcool (Decreto n. 76.593/1975) nas atividades de pesquisa e produção de etanol 2G.	F1, F2, F4, F5	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7
	Criação da Fundação de Tecnologia Industrial (Portaria MIC n. 73/1978), implicou na transferência das pesquisas em etanol 2G para Lorena (SP).	F2, F3	F2
	Criação da COALBRA (Lei 6.768/1979 e Decreto n. 84.465/1980) como iniciativa governamental para a produção em escala comercial de etanol 2G e sua extinção mediante o Decreto n. 93.603/1986 .	F1, F2, F4	F1, F2, F4
Cultural-Cognitivas	Paradigma da hidrólise ácida como referencial direcionador dos esforços e recursos governamentais, empresariais e da comunidade científica	F1, F2, F3, F4, F5	F1, F2, F3, F4, F7
	Hidrólise enzimática emerge como paradigma de uma nova comunidade de pesquisadores	F2, F3, F6	F2, F3, F7

Figura 36: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores e a pesquisa documental

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.1.1 Instituições regulatórias

A análise elaborada com base nos depoimentos colhidos junto aos entrevistados do grupo histórico sugere a influência de três manifestações institucionais de cunho regulatório: o Proálcool (Decreto 76.593/1975) como programa governamental de suporte à pesquisa e produção de etanol 2G, à criação da FTI pelo MIC (Portaria MIC n. 73/1978) e a criação e

extinção da COALBRA (Lei 6.768/1979, Decreto 84.465/1980 e Decreto n. 93.603/1986). Ressalta-se que os respectivos dispositivos legais que formalizaram esses três eventos não foram mencionados pelos entrevistados em suas falas, porém entende-se que a sua omissão nesta análise seria uma desconsideração do contexto regulatório que lhes deu sustentação.

De acordo com as entrevistas realizadas, é possível depreender que o Proálcool (Decreto 76.593/1975), na condição de instituição regulatória, deu amparo às pesquisas do INT e da FTI, as quais geraram e difundiram conhecimentos [F2] em etanol 2G, conduzidas no INT. Aparentemente, esse programa estava por trás também da iniciativa governamental de diversificar as fontes de biomassa além da cana-de-açúcar e isso impulsionou a criação do empreendimento COALBRA [F1] para a produção de etanol de madeira. Os investimentos estatais na construção da planta industrial dessa empresa em Uberlândia (MG) foram, segundo um entrevistado, da ordem de R\$ 10 milhões [F2], parte deles financiado pelo governo da União Soviética. Embora essa unidade produtiva tenha sido inviabilizada e extinta por conta de problemas técnicos, o etanol 2G que chegou a ser produzido foi comercializado [F5] com uma distribuidora de combustíveis, provavelmente, no âmbito do mercado de etanol estabelecido pela própria criação do Proálcool. As funções do STI do etanol 2G às quais o Proálcool se vinculou foram, portanto, F1, F2, F4 e F5. Diferentemente da análise documental, não se encontraram evidências nos depoimentos dos entrevistados quanto às funções F3, F6 e F7.

A segunda evidência institucional regulatória encontrada diz respeito à criação da FTI (Portaria MIC n. 73/1978), na cidade de Lorena (SP), na qual foi implantada uma infraestrutura maior (planta-piloto) de pesquisa em etanol de madeira. Essa iniciativa articulada pela Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC implicou a transferência da equipe que no INT pesquisava 2G para essa nova entidade, o que significou a continuidade das investigações em hidrólise ácida [F2] e a gradual reorientação da pesquisa para a hidrólise enzimática [F3]. Esse novo rumo conferido à busca tecnológica, porém, não foi captado pela análise documental. Em suma, as funções que se vincularam à criação da FTI, como manifestação institucional foram F2 e F3.

A terceira evidência institucional captada pela interpretação das entrevistas com os atores do grupo histórico refere-se à criação da COALBRA (mediante a Lei 6.768/1979 e o Decreto 84.465/1980), relatada como um empreendimento governamental [F1] para a produção de etanol 2G baseada em eucalipto e em tecnologia de hidrólise ácida, proveniente da União Soviética. Esse país, por intermédio do Instituto de Tecnologia de Hidrólise de Leningrado, difundiu para o governo brasileiro seus conhecimentos acumulados [F2] em processos de

hidrólise de biomassa de madeira (*pinus*), dando assistência técnica e financiando parte (cerca de US\$ 5 milhões) do significativo investimento (em torno de US\$ 10 milhões) [F4] necessário à construção de uma planta industrial da empresa na cidade de Uberlândia (MG). Devido a problemas técnicos, a COALBRA se inviabilizou e, conseqüentemente, foi extinta com base no Decreto n. 93.603/1986. As funções com as quais a criação e extinção da COALBRA, entendidas como manifestação institucional regulatória, se vincularam foram, portanto, F1, F2 e F4 (mesmas funções identificadas na análise documental).

A Figura 38 ilustra o relacionamento estabelecido entre as instituições regulatórias e as funções do STI.

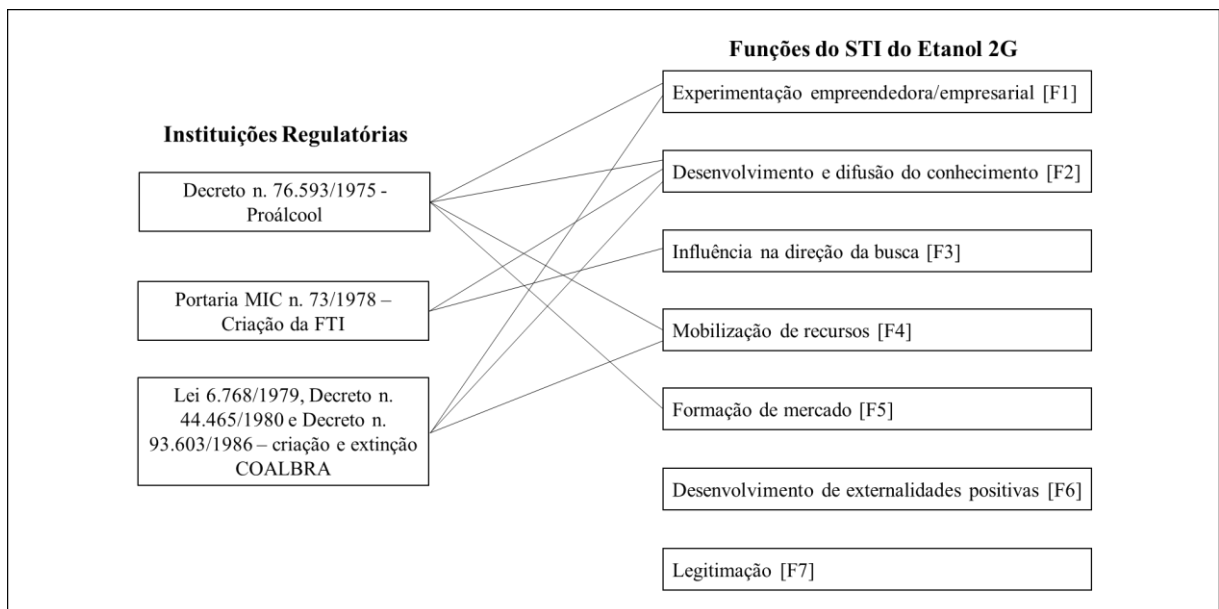


Figura 37: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G (período 1975-1986), segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.1.2 Instituições cultural-cognitivas

As entrevistas analisadas permitem identificar duas instituições de natureza cultural-cognitiva: o paradigma da hidrólise ácida e a emergência do paradigma da hidrólise enzimática.

O paradigma da hidrólise ácida prevaleceu no STI do etanol 2G como um referencial direcionador que influenciou a busca tecnológica [F3] da comunidade científica na geração e difusão do conhecimento [F2], por meio de suas pesquisas, e do governo brasileiro, como empreendedor estatal da COALBRA [F1]. A opção pela tecnologia de hidrólise ácida soviética, por parte dos agentes de governo, implicou na decisão de investir recursos financeiros significativos na construção de uma planta industrial [F4] com vistas à produção e à

comercialização [F5] de etanol 2G, no mercado brasileiro de etanol 1G criado pelo Proálcool. Em síntese, as funções do STI do etanol 2G vinculadas ao paradigma da hidrólise ácida foram F1, F2, F3, F4, F5. Essas funções, exceto a F5, também foram identificadas na análise documental. A função F7, por sua vez, foi encontrada nessa análise como vinculada ao paradigma da hidrólise ácida; porém, na análise das entrevistas dos atores pertencentes ao grupo histórico não foi possível constatar evidências que sugerissem a sua atuação.

Em razão dos inconvenientes da hidrólise ácida, paulatinamente os pesquisadores, em princípio do INT e, posteriormente da FTI, começaram a direcionar as suas buscas por tecnologias [F3] para a área da hidrólise enzimática. Embora fosse reconhecida como uma rota tecnológica promissora por conta de suas externalidades ambientais positivas (quando comparadas com a hidrólise ácida), as pesquisas dedicadas à geração de conhecimentos [F2] nessa vertente bioquímica de conversão de biomassa em etanol 2G não estavam ainda consolidadas nos anos iniciais do formação do STI do etanol 2G. Contudo, estava em curso o amadurecimento de um consenso na comunidade envolvida na pesquisa em etanol2G de que a hidrólise enzimática seria o novo paradigma a seguir. O paradigma da hidrólise enzimática, como manifestação institucional cultural-cognitiva emergente, vinculou-se ao STI por meio das funções F2, F3, F6. Na análise documental, porém, a função F6 não foi identificada, pois não foram encontradas evidências do reconhecimento de que hidrólise enzimática era ambientalmente sustentável no período 1975-1986. Por outro lado, diferentemente da análise das entrevistas, foi evidenciada a função F7 que refletiu a tentativa de legitimação dessa rota tecnológica por meio de uma iniciativa dos participantes da primeira edição do SHEB em 1983.

A representação da vinculação das instituições normativas identificadas e as funções do STI etanol estão representadas na Figura 39.

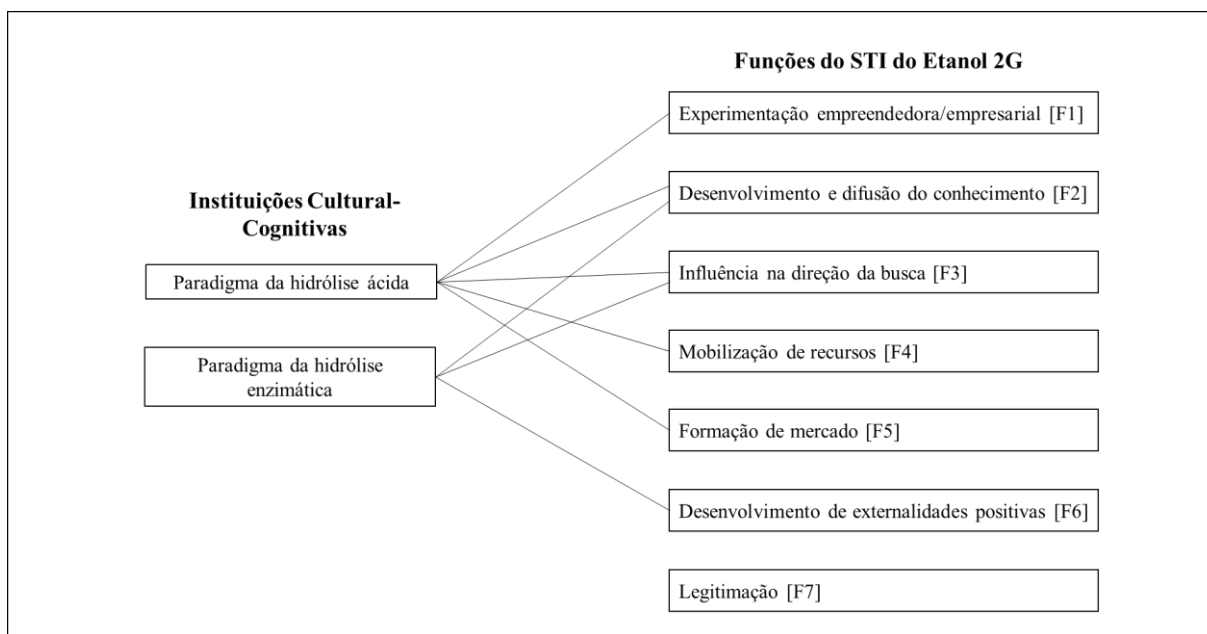


Figura 38: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G (período 1975-1986), segundo a análise das entrevistas do grupo histórico de atores

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.2 Entrevistas do grupo contemporâneo de atores

A análise apresentada nesta seção refere-se às 17 entrevistas realizadas junto a 16 organizações que têm participado ativamente do STI do etanol 2G entre 2014 e 2015 e, por isso, são consideradas para fins desta pesquisa como um grupo contemporâneo de atores. Por conta dessa característica, a perspectiva temporal contida na maioria dos depoimentos dos entrevistados contemplou, principalmente, o período mais recente do processo formativo do STI em questão, ou seja, o intervalo compreendido entre 2011 e 2015.

Diferentemente do que foi feito com as entrevistas do grupo histórico e no levantamento documental, em que se seguiu uma sequência temporal dos eventos narrados ou citados, a análise de conteúdo das falas dos entrevistados do grupo contemporâneo será organizada por função do STI, obedecendo, portanto, a estrutura do segundo bloco de questões de cada roteiro de entrevista. Em razão da quantidade de entrevistas efetuadas, entende-se que, dessa forma, a análise do grande volume de informações transcritas seja facilitada. Porém, a codificação F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7 entre colchetes será utilizada ao longo da análise, como forma de identificar, além da função analisada, evidências da ocorrência de outras funções específicas.

3.7.2.1 Função experimentação empreendedora/empresarial [F1]

A análise dos depoimentos dos atores contemporâneos revela o amplo reconhecimento do empreendedorismo e o caráter inovador das empresas GranBio, Raízen e CTC, por conta de

sua iniciativa pioneira em produzir comercialmente o etanol 2G no Brasil. Dos 17 entrevistados, 11 mencionaram essas três empresas como referências da viabilização do etanol 2G, no país, por conta do investimento que fizeram na construção de três plantas de produção desse biocombustível no país.

A fala do entrevistado GOV1 resume a atuação dessas três organizações no STI do etanol 2G e suas respectivas *expertises* em P&D:

GOV1: [...] A gente tem, efetivamente hoje, três empresas atuando com plantas, mas não produzindo 100%. Seria a Raízen, a GranBio e o CTC. [...] O CTC não é exatamente uma empresa, seria mais uma empresa de pesquisa [F2] [...] O CTC, que tem uma planta-piloto, é a instituição que mais conhece de etanol no Brasil, conhece profundamente todas as etapas do etanol de primeira geração. [...] Agora, falando sobre a GranBio, ela é uma empresa nova, foi formada, especificamente, para atuar com etanol de segunda geração. A outra empresa, a Raízen, é a maior empresa do segmento, que tem essa *expertise* gigantesca na produção de etanol, na área agrícola e na área de comercialização. [...] Quando eles fizeram a *joint venture* da Cosan com a Shell, no negócio eles colocaram uma empresa canadense, a Iogen, e passaram a ser acionistas da Iogen com direitos exclusivos de uso de tecnologia. [...] a Iogen já fabricava etanol celulósico há muitos anos, acredito que era a empresa que tinha mais anos fabricando etanol celulósico no mundo de forma contínua.

Os empreendimentos da GranBio, Raízen e CTC foram viabilizados pelo Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS ou PAISS Industrial) [F4], linha de apoio financeiro conhecida e mencionada por 15 dos 17 entrevistados. De acordo com o entrevistado BD, o PAISS cumpriu o papel de catalisador da construção das plantas dessas empresas:

BD: [...] acho que eles só tomaram essa decisão de acelerar esses investimentos porque contaram com o apoio do BNDES, acho que sozinhos, talvez, eles não teriam feito, ou fariam em um futuro depois dos Estados Unidos saírem na frente, terem a décima planta, tudo muito bem seguro, bem provado. Como o banco ofereceu essa janela, uma condição de apoio que reduzia também o risco deles ou tornava menos custosa essa opção, eu acho que isso engatilhou algumas decisões internas. A Raízen é um exemplo interessante, porque até antes do PAISS, no nosso relacionamento jamais comentaram em fazer uma planta de etanol celulósico. No caso da GranBio, já existia uma ideia de fazer biorrefinarias, que também poderiam fazer etanol celulósico, mas tinham um viés também muito destacado para química renovável, [...] o próprio CTC que aproveitou para sair da planta piloto para a planta de demonstração, [...] então, acho que o banco ajudou a criar uma janela de oportunidades que motivou talvez a antecipar esses planos de desenvolvimento.

Contudo, GranBio e Raízen são vistas pelos entrevistados como os principais representantes da viabilização técnica do etanol 2G, pois são as empresas que, em princípio, se propuseram a produzir o biocombustível em escala comercial. A declaração do entrevistado

FORN1, dá destaque ao papel que essas empresas cumpriram em aplicar os conhecimentos [F2] mundiais existentes em etanol 2G em uma operação industrial:

FORN1: [...] nós não podemos apontar o dedo nem para a Raízen e tampouco para a GranBio. Porque eles foram os pioneiros. É a partir deles, da experiência deles, que nós vamos construir daí um *breakthrough*. Porque se eles não existissem, a gente estava só no falatório: “Ah, o etanol 2G é bom, é sustentável, ambientalmente correto etc., etc., etc.” Isso é uma coisa, palavras. Eles saíram do discurso e foram para a prática...

O processo de criação dos empreendimentos da GranBio e da Raízen foram relatados, respectivamente, pelos entrevistados PROD2 e PROD1¹¹⁵:

PROD2: Nós entramos no negócio de etanol celulósico, na fundação da empresa, no começo de 2011. [...] A expectativa inicial era que a gente tinha uma tecnologia que estava acabando de ficar pronta, que tinha atingido o grau de competitividade econômica exatamente naquele momento e que nós, assumindo o pioneirismo do lançamento dessa tecnologia, teríamos condições de fazer um produto que teria um custo menor do que o etanol de primeira geração e captaríamos os benefícios de sermos os desbravadores desse mercado.

PROD 1: Quando a gente recebeu a Iogen, que hoje somos donos de metade dela, a Shell passou as ações dela para a gente. A Iogen já tinha um piloto funcionando no Canadá já havia alguns anos. Então, a gente, antes de executar o projeto, foi fazer esse piloto rodar com a nossa matéria-prima. Então nós mandamos uma equipe de engenheiros para lá e mandamos mil toneladas de matéria-prima para rodar, e passamos todo o ano de 2013 fazendo esses testes para tirar os elementos para fazer o projeto. Então, o *business case* partiu desses testes que fizemos com a planta piloto deles lá. Agora uma boa parte da engenharia também foi feita com o nosso pessoal daqui, porque toda parte de movimentação e limpeza de bagaço, manuseio e queima da lignina, fermentação, tudo isso ficou por nossa conta.

A exemplo do que foi descrito com base na pesquisa documental conduzida para o presente trabalho, as entrevistas realizadas também revelam que a base tecnológica utilizada por essas empresas foi obtida, predominantemente, fora do Brasil e consiste, essencialmente, de processos de biotecnologia industrial ou, mais especificamente, conversão enzimática da biomassa [F2]. Os entrevistados BD e PROD1 abordaram essa característica do STI do etanol 2G:

BD: [...] Olha, o 2G a gente pegou uma carona. Na verdade, se você olhar as tecnologias que estão sendo empregadas aqui no Brasil são tecnologias que foram desenvolvidas [F2] na Europa – na Itália, no caso da GranBio, e no Canadá, no caso da Iogen com a Raízen. O CTC tem mais tecnologia brasileira, mas todos eles, por exemplo, utilizam enzimas da Novozymes. Então, o que está ocorrendo é uma adaptação dessas tecnologias para as condições brasileiras. Nos Estados Unidos você faz uma usina de etanol celulósico, aqui no Brasil você tem a oportunidade de fazer uma usina de etanol

¹¹⁵ Nenhum entrevistado relatou o processo de implementação do projeto da planta-piloto do CTC.

celulósico acoplada à [usina] de caldo de cana. Então, essas adaptações, essa integração de tecnologias para cá, o pessoal está fazendo.

PROD1: [...] todo o conhecimento hoje para o 2G está vindo de fora [F2]. Eu não tenho nada prático que se possa usar que está sendo desenvolvido aqui. Então, tudo que eu tenho hoje de pré-tratamento veio do Canadá, tudo que temos de tecnologia em enzimas está vindo da parceria que nós temos [Novozymes]. A única coisa que estamos desenvolvendo aqui é a fermentação de C5 [F2], se bem que as leveduras compramos de parceiros [internacionais] também.

No entanto, essas tecnologias importadas parecem não ter funcionado plenamente, uma vez que problemas técnicos não previstos pelas equipes de engenharia começaram a surgir numa etapa do processo de conversão da biomassa em etanol que se acreditava estar dominado tecnologicamente: o processo de alimentação e pré-tratamento da biomassa. A análise das falas dos entrevistados BD e PROD2 indica que esse é um problema compartilhado não só por GranBio, CTC e Raízen, mas por outras empresas estrangeiras. Ambos sustentam a opinião de que a solução para esse problema será encontrada.

BD: [...] Se você pega o depoimento da GranBio, do CTC e da Raízen, eles não estão tendo problemas com hidrólise e com a fermentação. Agora, a parte que todo mundo negligenciou – não é que negligenciou, a gente sabia que daria problemas, mas não imaginava que fosse “o problema” intransponível, pelo menos por enquanto – é a parte de alimentação do material [biomassa]: areia...E você tem hoje um pré-tratamento que é muito popular, de explosão a vapor, que gera uma pressão muito grande no material para abrir a celulose, então, qualquer sujeira ali, um grão de areia vira um projétil. Então, você fazendo muito isso, você tem que parar e, principalmente, onde se tem tubulações em curva, onde acumula mais o resíduo. As plantas americanas e europeias também estão passando pelo mesmo problema.

PROD2: [...] a parte de pré-tratamento que a gente julgou – a gente, eu estou falando da indústria – que estaria bem resolvida, hoje é a maior dor de cabeça de todo mundo. Têm cinco plantas inauguradas no mundo e nenhuma das cinco plantas está funcionando ainda com condição de estabilidade operacional. Todas elas operam alguns dias e aí alguma coisa ou fura ou entope, de maneira simplificada. E aí, o conserto faz com que as plantas tenham passado mais tempo paradas do que em operação. Então, a gente achou que essa questão, que não é mais uma questão da ciência, é uma questão de engenharia que estaria resolvida, mas não estava. Então nós cinco pioneiros [sic]: a GranBio, a Abengoa, a Poet-DSM, Beta Renewables, Raízen e Dupont estamos todos na corrida para tentar ganhar a confiabilidade da mecânica que hoje nossas plantas não têm.[...] Não é uma corrida de uns contra os outros, é uma corrida de nós conosco mesmo. Então todos nós não estamos competindo uns com os outros para ver quem resolve primeiro, todos nós estamos correndo para evitar a perda de valor do investimento.

Segundo PROD2, apesar dos testes realizados em escala de demonstração [F2], esses problemas de pré-tratamento da biomassa não foram detectados previamente, pois as condições eram diferentes da operação industrial.

PROD2: [...] Hoje nós vemos que não foi suficiente. Todo mundo tinha a planta demo. Quando a gente está trabalhando com esse tipo de indústria você tem a escala de laboratório; depois você tem uma escala piloto; depois você tem uma escala de demonstração; depois você tem uma escala de primeira planta comercial. Todas essas tecnologias tinham planta demo e nenhuma planta demo foi capaz de prever a magnitude do problema que a gente enfrentou no pré-tratamento que é a primeira das três tecnologias que se encadeiam. São problemas ligados a questões que só mesmo no *scale-up* que poderiam ser vistas.

O entrevistado GOV1, em seu depoimento, considera que as dificuldades técnicas enfrentadas pelos empreendedores do STI do etanol 2G brasileiro e de outros países são parte inerente ao processo de inovação tecnológica.

GOV1: [...] quando você vai para uma planta, em que se está falando de vários milhões de litros, você tem uma escala que traz problemas de engenharia mais severos. [...] Na verdade, todas essas operações ainda não estão conseguindo operar de forma contínua, mas isso é uma coisa totalmente esperada em um processo que é novo, não só no Brasil, mas no mundo inteiro [...] então, isso faz parte do processo de inovação e é esperado que durante o processo de *ramp up* eles enfrentem alguns problemas.

O entrevistado PROD2 acredita que a falta de experiência prévia de todos os empreendedores nacionais e internacionais na produção de etanol 2G tenha sido uma das razões a impedir que os problemas na fase de pré-tratamento de biomassa fossem antecipados.

PROD2: [...] Estamos falando em setembro, outubro e dezembro do ano passado [2014]. A nossa planta e a da Poet [Estados Unidos] foram inauguradas em setembro, a planta da Abengoa [Estados Unidos] foi inaugurada em outubro, a planta da Raízen foi inaugurada em dezembro, então não tinha alguém com experiência prévia que pudesse servir de exemplo pra todo mundo; os cinco começaram na mesma hora. A Dupont [Estados Unidos] vai começar agora.

Apesar das dificuldades técnicas, o mesmo entrevistado observa que as empresas que se dispuseram a produzir etanol 2G tiveram alguns aprendizados importantes [F2], conforme segue:

PROD2: [...] Os aprendizados estão ligados basicamente a termos todos, como indústria, subestimado os riscos, o que tem uma implicação econômica, ou seja, agora está demorando mais e custando mais do que a gente esperava [F2]. Então, tem uma lição de que nada te prepara para a surpresa que uma planta *first of a kind* possa trazer. O nível de contingências que o projeto tem deveria ser maior do que as contingências que todos nós colocamos. Esse, eu acho, que foi o maior aprendizado. O outro aprendizado foi que biomassa é algo muito heterogêneo [F2], então, ao contrário do que acontece na petroquímica, na indústria de primeira geração onde o açúcar é muito

homogêneo, a gente tem que ficar em uma sintonia fina com o processo o tempo todo, porque cada matéria-prima tem um comportamento diferente. Ao longo do ano a mesma matéria-prima se comporta de maneira diferente. *Know-how* é difícil de pegar.

3.7.2.2 Função desenvolvimento e difusão de conhecimentos [F2]

Para um dos entrevistados, o padrão das atividades de desenvolvimento e disseminação de conhecimentos no âmbito do STI do etanol 2G sofreu uma significativa mudança no período 2011-2015 em virtude do lançamento do PAISS por BNDES e FINEP, deslocando-se da academia para as empresas:

BD: [...] Mas o que a gente fez com o PAISS foi inverter, porque antes do PAISS o que se tinha no Brasil eram iniciativas predominantemente acadêmicas. Então, no etanol 2G, apesar de ser incipiente e pouco desenvolvido no Brasil em relação aos Estados Unidos e a Europa, o protagonismo era da academia. A gente cresceu o etanol 2G no Brasil, mas o protagonismo passou para as empresas, sem perder parcerias com as universidades. As universidades até cresceram seus investimentos e projetos no etanol celulósico, mas agora com um papel mais de suporte a planos empresariais.

Com a maior participação das empresas na geração e difusão de conhecimentos, alguns entrevistados observaram a forte tendência, por parte dessas organizações, da utilização das patentes para a proteção à propriedade intelectual dos processos tecnológicos relacionados ao etanol 2G. De acordo com o entrevistado GOV1, essa prática não era comum no setor sucroenergético tradicional (etanol 1G):

GOV1: [...] No passado, o gerente de uma fábrica [usina de etanol] falava para o outro “eu fiz isso e deu certo” e o outro fazia também. Hoje, existe uma preocupação muito grande com controle da tecnologia e com os direitos de propriedade intelectual. Isso pode ser em algum momento um dificultador de expansão, no sentido de que alguém que tenha a tecnologia vencedora, a melhor tecnologia, não vai disponibilizar isso para os seus concorrentes de forma ampla ou pode ser que ele resolva comercializar. Mas hoje a gente tem um arcabouço [institucional] de proteção que é bem diverso do que foi na época do Proálcool.

Essa mudança na forma como o conhecimento é gerado e protegido pelas empresas ligadas ao etanol 2G também foi citada pelo entrevistado PROD1.

PROD1: [...] Como eu estava explicando outro dia para o pessoal, o setor sucroalcooleiro se desenvolveu... Nós tínhamos na década de 70 uma eficiência muito baixa e a gente alavancou a eficiência do setor, basicamente, trazendo discussões entre as empresas, organizadas na época pelo Centro de Tecnologia [Canavieira - CTC], e trazendo um pouco de tecnologia de fora, mas eram discussões bem abertas. No caso do 2G, nós temos a propriedade intelectual lá e a gente não pode abrir essas discussões.

A importância das patentes como principal instrumento de proteção dos direitos de propriedade intelectual foi destacado por ICT2, entrevistado que comparou a postura do setor

produtor de etanol 1G no passado diante das inovações com a realidade das empresas que produzem etanol 2G.

ICT2: [...] O que acontece é que no Brasil é uma cultura recente termos que valorizar e respeitar a propriedade intelectual [...], você tem que pagar *royalties* para poder compensar quem gastou na pesquisa. E aí vale também para etanol celulósico, você tem que dar uma garantia de quem está investindo vai recuperar e vai ter lucro com aquilo que investiu. Então, essas empresas têm que se fechar mesmo...

De fato, as empresas produtoras de etanol 2G no Brasil e no mundo estão, segundo o relato de PROD2, utilizando tecnologias patenteadas, o que, aparentemente, tem impedido parcerias para colaboração tecnológica.

PROD2: [...] A da Raízen é patenteada na Iogen; a nossa é patente da Beta [Renewables]; a da DSM é propriedade da joint-venture POET/DSM; a da Dupont é própria da Dupont. Então, a nossa colaboração se dá naquilo em que eu não preciso entrar no espaço da patente do outro, aí todo mundo colabora. Na questão da disputa pela patente, aí cada um tem que ter a sua..

Além das empresas produtoras de etanol 2G, as empresas fornecedoras de enzimas e leveduras apresentam grande preocupação com a proteção de seus conhecimentos biotecnológicos, conforme relatam os entrevistados FORN1 e FORN3:

FORN1: [...] Aí é um processo de educação, não tem outro jeito! Já começamos esse processo de educação. Falando especificamente das enzimas, a briga vai ficar entre DSM, Novozymes, Abengoa e DuPont que são grandes multinacionais que estão aí pelo mundo todo. Não sei se elas já tem patentes aqui no Brasil, mas a nossa patente não vai afetar a vida de quem vai usar a nossa enzima [plantas de produção de etanol 2G]. Nós temos que proteger! Nós temos que patentear nossas enzimas para proteger o nosso produto da concorrência.

FORN3: [...] uma coisa importante que a gente vem trabalhando hoje é a questão da propriedade intelectual. Essa para nós é, sem dúvida, uma prioridade. Não a questão de patente somente, tá? Pra falar: “Ah, patente demora no Brasil!” Isso é sabido, mas já vem mostrando melhora aí com a questão das patentes verdes [do INPI]. Então, não é só isso, mas o entendimento da patente. Como que um modelo de negócio e de licenciamento vai funcionar aqui no Brasil colocando o teu microrganismo numa planta? Como que a gente consegue proteger essa tecnologia?

Um dos representantes governamentais entrevistado, no entanto, adverte em sua fala que a proteção patentária das tecnologias de produção de etanol 2G pode causar a demora no desenvolvimento de um setor voltado a esse biocombustível no Brasil:

GOV4: [...] Que é natural que as empresas queiram defender suas tecnologias, isso é. Ainda mais em tecnologias sensíveis, isso é natural. Agora, realmente, isso pode ser um entrave para o desenvolvimento mais rápido do setor. [...] Porque na medida em que há uma restrição no acesso ou um condicionamento ao acesso a essas rotas enzimáticas, e

isso está concentrado em poucos, isso realmente pode caracterizar um poder de mercado que dificulte.

Se, por um lado, as patentes têm emergido como uma característica que distingue o STI do etanol 2G do setor produtor de etanol 1G, por outro lado, cria dificuldades para aproximação entre empresas e universidades. Essa parece ser a constatação do entrevistado FORN1:

FORN1: [...] Eu estou imaginando assim: uma universidade e uma empresa privada, seja multinacional ou não. O meu sentimento é que existe receio de ambas as partes. E eu tenho lido, eu tenho ouvido, mas não posso mencionar nomes, tá? Mas assim, quando chega a hora de assinar o contrato, a universidade quer tudo para ela e vice-versa. Aí fica uma briga de quem vai ficar com a parte maior dos *royalties* ou da tecnologia. Então, a gente precisa amadurecer melhor e para amadurecer melhor tem que ter um estreitamento entre iniciativa privada *versus* academia.

Apesar do ponto de vista desse entrevistado, diferentes universidades e instituições de pesquisa foram mencionadas por doze entrevistados como responsáveis por importantes progressos científicos e tecnológicos em etanol 2G entre 2011 e 2015. Entre as mais citadas estão o CTBE (sete entrevistados), UFRJ (cinco entrevistados) e Embrapa Agroenergia e UNICAMP (três entrevistados cada). O programa BIOEN da FAPESP (voltado para o financiamento [F4] da pesquisa em universidades paulistas) também foi citado por três entrevistados como referência em pesquisa aplicada ao etanol e à biologia da cana-de-açúcar¹¹⁶. O entrevistado BD, por exemplo, considera que a geração de conhecimento sobre etanol 2G é ainda incipiente no Brasil, mas reconhece que as pesquisas conduzidas no âmbito do BIOEN, bem como as realizadas pela UFRJ e CTBE, são as que apresentam maior relevância para o desenvolvimento do etanol 2G:

BD: [...] Eu acho que é incipiente, mas tem algumas boas iniciativas. Acho que a principal delas é o grupo de pesquisa financiado pela FAPESP, o BIOEN, que tem muita gente boa ali. No Brasil, essa parte de biotecnologia de cana está muito bem, acho que aí o Brasil é referência.[...] No caso de leveduras e enzimas a gente tem grupos bons, tem o pessoal aqui da UFRJ. [...] O CTBE é referência mundial, se eu fosse comparar eu compararia ao NREL [*National Renewable Energy Laboratory*] nos Estados Unidos, então acho que eles são uma referência, mas muito pouco usados pelas empresas.

Essas três instituições de pesquisa também foram citadas pelo entrevistado ICT1 que, adicionalmente, mencionou a Embrapa Agroenergia:

ICT1: [...] a FAPESP com seu programa busca fazer um pouco esse trabalho de coordenação fortemente voltado para as universidades paulistas [...] Tem o CTBE que é evidente um dos *players* importantes. Então, como Laboratório Nacional ele tem o papel não só de providenciar e fornecer instalações para promover o desenvolvimento.

¹¹⁶ Outras instituições de pesquisa citadas pelos entrevistados foram CTC, UFAL, ESALQ, UFPR, CENPES, UFPR, UFSCAR.

Nós fizemos uma planta-piloto de processo do CBTE. É uma planta-piloto de processo, então ela integra diferentes operações do processo sobre etanol de segunda geração, mas dá para ter outras variantes também. [...] A Embrapa Agroenergia, acho que é uma entidade importante também para pesquisa do etanol de segunda geração, para química verde. [...] acho que as grandes universidades federais também são focos importantes, como a UFRJ.

No entanto, poucos projetos de pesquisas desenvolvidos (ou em desenvolvimento) em parceria entre universidades e empresa foram citados pelos entrevistados. Uma das empresas produtoras de etanol 2G (Raízen) estabeleceu parceria com duas universidades para o desenvolvimento de soluções na área de fermentação de açúcares de cinco carbonos e de emissão de gases de efeito estufa da palha de cana-de-açúcar, conforme relato do entrevistado PROD1:

PROD1: [...] quem está fazendo o projeto de fermentação das pentoses [açúcares de cinco carbonos] é o pessoal técnico junto com uma consultoria da Unicamp [...] estamos fazendo um estudo agora que está medindo, primeiro, a emissão de gás da palha, porque a gente acha que se queimasse a palha, afetaria menos o meio ambiente do que com a decomposição biológica, porque na decomposição biológica irá emitir muito metano [F6]. A gente está avaliando qual o efeito e o quanto de carbono fica incorporado no solo por deixar a palha lá. Estamos avaliando também como é o movimento da flora que fica no solo ao lado, para ter ao menos elementos para gente poder discutir e chegar e falar “Olha, em determinadas regiões, se eu tirar até 80% ou 90% da palha eu vou ter benefícios para o sistema”. Em algumas regiões eu deveria tirar só 50% da palha, então a nossa ideia é fazer uma determinação de quanto seria a quantidade ideal pensando no sistema inteiro, de palha que eu poderia retirar do campo. Esse é um projeto junto com o pessoal da ESALQ/USP e que tem financiamento do PAISS.

Três outros projetos foram relatados, sendo dois desenvolvidos por um fornecedor de biotecnologia (DSM) com centros de pesquisa aplicada e um entre uma universidade (UFAL) e um produtor de etanol 2G (GranBio), conforme falas de FORN3 e ICT2:

FORN3: [...] Agora pesquisa a gente tem. A gente participa do programa PAISS (BNDES/FINEP) e com o PAISS a gente tem dois projetos em andamento. Um deles é com o IPT [Instituto de Pesquisas Tecnológicas, para a produção de ácido biosuccínico com base em cana-de-açúcar] e o outro com o CTBE [e Dow Brasil, para a produção de etanol 2G por meio de conversão enzimática do bagaço de cana-de-açúcar]. Então, em termos de parcerias seriam esses projetos.

ICT2: [...] Temos parceria com a Granbio desde antes mesmo da formalização da empresa. Ela nos procurou, o primeiro contrato acredito que foi em 2011, onde desenvolvemos conjuntamente variedades de cana-energia. Então, já são quatro séries que trabalhamos juntos e nós já temos contrato assinado de muito mais tempo (5 anos) e sempre se está renovando porque há interesse recíproco tanto da Granbio quanto da UFAL desenvolvendo conjuntamente essas pesquisas.

3.7.2.3 Função influência sobre a direção da busca [F3]

No que diz respeito ao direcionamento da busca tecnológica no âmbito do STI do etanol 2G, as entrevistas demonstram que há uma expectativa de que a rota enzimática deverá se consolidar no futuro como a tecnologia vencedora para a produção desse biocombustível. Dos dezessete entrevistados, treze afirmaram acreditar que há um consenso de que a tecnologia de conversão de biomassa, baseada em hidrólise enzimática, é a mais promissora para produzir o etanol 2G com competitividade. Dos quatro entrevistados restantes, dois disseram que há ainda muitas incertezas tecnológicas quanto à melhor rota a ser desenvolvida, enquanto dois declararam não saber dizer qual será a orientação da P&D em relação à melhor tecnologia a ser adotada para a produção do etanol 2G.

Entre os que acreditam haver consenso em torno da rota enzimática, as falas do entrevistado FORN3 parece sintetizar essa expectativa: “[...] Eu acho que isso está bem sedimentado. Posso moderar minha língua aqui, mas vai ser isso: pré-tratamento baseado em explosão a vapor [*steam explosio*], hidrólise enzimática, fermentação [de açúcares] C5 e C6. Essa é a linha” (FORN3). A percepção do entrevistado GOV2 reafirma a crença na hidrólise enzimática: “[...] No 2G sim, acho que sim. Acho que o mundo está convergindo para isso inclusive. [...] Do 2G, de tudo o que eu já vi, eu acho que a [rota] enzimática é o que vai vingar” (GOV2).

A análise da entrevista concedida por BD sugere que o PAISS Industrial pode ter sido um forte direcionador da busca tecnológica, na medida em que estabeleceu como foco a cana-de-açúcar como biomassa preferencial, bem como privilegiou as rotas biotecnológicas de conversão ao longo do processo de escolha das empresas a serem financiadas [F4]. Isso fica evidenciado no seguinte trecho de sua fala:

BD: [...] Tem muito investimento para estudar alga, capim elefante, outras culturas energéticas e a gente entendia que no Brasil a escolha era mais simples porque já temos uma safra de cana que é gigantesca e é aproveitado muito pouco da biomassa da cana – só aproveita o caldo, a palha e o bagaço hoje não é aproveitado. Então, a ideia foi focar nessas matérias primas, então [...] escolhemos a cana como matéria-prima elegível. E no processo industrial, apesar de existir uma série de opções, nós também privilegiamos as rotas biotecnológicas porque imaginamos que isso também favorecia a matéria-prima brasileira. E, como produtos finais, a escolha foi etanol e outros produtos como maneira de agregar valor à indústria.

No entanto, o entrevistado AG1 enfatiza que o edital do PAISS fechou questão apenas na cana-de-açúcar como biomassa para produção de etanol 2G e outros produtos, sendo que as tecnologias não foram pré-determinadas:

AG1: [...] o que era fechado no programa era fazer etanol de segunda geração e produtos de mais alto valor agregado a partir da cana, e tinha uma linha de gaseificação também. Mas, o programa não dizia: você tem que fazer etanol de segunda geração pela rota tal, tal, tal e usando depois microrganismos dessa natureza para fermentação. Isso não.

Apesar de existir confiança disseminada nas rotas biotecnológicas, há a percepção de que ainda permanecem incertezas sobre qual versão das mesmas será a mais competitiva. O entrevistado GOV3, por exemplo, indaga: “[...] Qual é a melhor tecnologia? [...] A que a Raízen vai utilizar? A da GranBio? A da Abengoa? Ninguém sabe” (GOV3). O entrevistado ASSOC-A confirma a existência dessa indefinição: “está todo mundo tateando para onde vai essa tecnologia, pois ainda não existe uma tecnologia dominante que a gente possa dizer: ‘bom, tem uma tecnologia que é robusta o suficiente, competitiva o suficiente, eficaz o suficiente’...” (ASSOC-A).

O depoimento do entrevistado GOV1, por sua vez, parece contextualizar de forma específica as opiniões de GOV3 e ASSOC-A, pois afirma que o foco das incertezas reside nas rotas de pré-tratamento da biomassa, etapa do processo de produção do etanol 2G onde há variações na tecnologia empregada pelas empresas produtoras.

GOV1: [...] Eu diria que existe um consenso mais ou menos forte mundialmente, de que a rota a ser seguida é a enzimática. Todos os projetos maiores seguem essa rota. Agora na etapa de pré-tratamento, principalmente, existem diferenças até razoáveis sobre as tecnologias que tem sido utilizada nas grandes plantas. [...] Falando, basicamente, aqui no Brasil, a gente tem a Raízen, por exemplo, usando uma solução ácida para o pré-tratamento e você tem a GranBio usando explosão a vapor. Basicamente, essas são as duas grandes rotas tecnológicas. É lógico que tem uma série de derivações que cada uma dessas rotas traz em maior ou menor ganho, mas isso é uma coisa que ainda não está definida e é algo que tem um impacto relevante.

Uma síntese, que parece captar a influência da direção da busca tecnológica no desenvolvimento do STI do etanol 2G, é oferecida por PROD2 ao classificar temporalmente os problemas enfrentados pelos atores do sistema:

PROD 2: [...] Acho que isso já está claro para todo mundo: o problema de curto prazo está no pré-tratamento; o problema de médio prazo está na melhoria dos rendimentos enzimáticos; e o problema de longo prazo vai estar na criação de organismos que, além de fazer etanol, possam fazer outras coisas como tinta para parede, fibra para carpete, enzima para plástico...Esse é o consenso.

Outro processo de busca tecnológica, identificado com base nas entrevistas, diz respeito à pesquisa e desenvolvimento da cana-energia [F2] como biomassa mais adequada para a produção de etanol 2G. A empresa GranBio foi a pioneira em apostar nessa variedade como matéria-prima estratégica em seu modelo de negócio, o que, aparentemente, motivou outros

atores do STI a considerá-la também como uma alternativa para a redução dos custos de produção do etanol 2G. O BNDES, em particular, concebeu a segunda edição do PAISS (chamado de PAISS Agrícola¹¹⁷) privilegiando a cana-energia como linha temática financiável [F4] às empresas interessadas nessa fonte de biomassa, conforme relata o entrevistado BD:

BD: [...] fizemos uma segunda edição do PAISS [PAISS Agrícola] que foi voltada para tecnologias agrícolas e um destaque muito grande dessa edição foi a cana-energia, que é uma cana com baixo conteúdo de açúcar, mas uma parcela elevada de fibra e com uma produtividade muito alta, podendo chegar acima de 200 toneladas por hectare. A gente acredita que essa matéria-prima quando estiver dominada, todo o seu ciclo produtivo, colheita, processamento, vai ser a variável chave para dar economicidade ao etanol 2G, porque vai ser uma fibra muito barata.

A cana-energia surge como uma possibilidade de não apenas reduzir os custos de produção do etanol 2G, mas, adicionalmente, contribuir para um dos grandes problemas da indústria sucroenergética tradicional, ou seja, os baixos ganhos de produtividade apresentados por esse setor. Um dos entrevistados, colaborador da associação que representa o setor sucroenergético nacional, informou que a busca por aumento da produtividade é uma das pautas mais importantes da entidade e, citando dados produzidos pelo CTC, disse que há três caminhos para atingi-lo que dependem de investimentos em três focos da inovação: etanol 2G, elevação da produtividade agrícola e elevação da produtividade industrial:

ASSOC-B: [...] O primeiro é etanol de segunda geração, o segundo é a produtividade agrícola por meio de melhoramento genético e o industrial. [...] acho que de todos o industrial é o menor de todos os componentes, mas na produtividade agrícola você tem dois componentes fortes que é o melhoramento genético que permita ganho de produtividade, incluindo a transgenia que também vai permitir uma redução no custo de produção [...] e aí se refere, por exemplo, às variedades transgênicas que reduzem a incidência de pragas, de doenças e tal, e que permita maior resistência à seca. Então, isso logicamente, é uma maneira que também ajuda a ter um ganho de produtividade.

Dentre as três áreas da inovação citados por ASSOC-B, a cana-energia se insere na vertente da produtividade agrícola, sendo considerada pelos entrevistados FORN4 e ICT1a solução para melhorar o desempenho dessa etapa da cadeia de produção do etanol:

FORN4: [...] É porque a produtividade da cana é outro grande problema hoje...a produtividade está na média ao redor de oitenta [toneladas por hectare], está baixo nesses últimos anos. Chegou a setenta e cinco aqui em São Paulo; em Goiás está chegando a cinquenta, cinquenta e poucos. A produtividade é muito baixa e não tem perspectiva de melhorar isso, não vai ter perspectiva de melhorar jamais; então, a única coisa que sobra é a cana-energia. A cana-energia realmente tem uma produtividade muito alta.

¹¹⁷ O PAISS Agrícola disponibilizou R\$ 1,48 bilhão para os de 2014 a 2018.

ICT1: [...] Outra questão que eu queria dizer, é a questão do Brasil que, se por um lado, ele tem toda essa vantagem competitiva de ter a matéria-prima adequada para fazer o biocombustível, que é a cana-de-açúcar [...], precisa olhar essa questão de segunda geração. Não dá mais para pensar em usar cana-de-açúcar, ainda mais com a cana-energia com o dobro da produtividade daquela que era prevista com a cana convencional, porque inclusive, ela cresce muito mais na vertical que a cana convencional.

O pesquisador ICT2, explica em seu depoimento como poderá se dar a utilização da cana-energia pelo setor sucroenergético tradicional e pelos produtores de etanol 2G:

ICT1: [...] Dá para se trabalhar com com uma cana-energia com 12% a 13% de sacarose e com 18% de fibra. Daí você vai utilizar a mesma estrutura de moendas existentes ou um pouco de regulagem de colheita mecanizada, mas você vai ter uma produtividade agrícola muito maior porque essa cana-energia dá muito mais rendimento agrícola. Então com isso você vai ter um excedente muito maior de bagaço, você vai utilizar a cana inteira, você vai levar ponteiros, você vai levar as folhas, você vai ter processos que separam o caldo das fibras de forma que vão gerar um excedente muito maior. Vai até dobrar esse excedente. Então você vai, com isso, utilizar seja no processo de etanol celulósico seja na geração de eletricidade.

O entrevistado PROD1, por sua vez, descreve qual tem sido a abordagem de sua empresa no desenvolvimento da utilização da cana-energia contrastando-a com a abordagem da empresa GranBio:

PROD1: [...] Vamos ao capítulo da cana-energia. Nós fizemos algumas análises, há dois anos com os dados que tínhamos de cana-energia e achamos que não iria ser um negócio legal, por dois motivos. Primeiro que eu não posso usar a cana-energia direto para cogeração, sem retirar o açúcar: eu vou causar uma série de problemas no meu sistema. E eu tenho dificuldade de usar a cana-energia no meu processo normal, porque uma boa parte da vantagem da cana-energia, que é a fibra que ela tem a mais eu iria perder para extrair o caldo. Então, quando você faz a conta, não é um negócio que chama atenção. Agora, nós estamos engajados em um projeto de um pessoal [a empresa Vignis] que apareceu com uma cana-energia comprovadamente com longevidade maior que a nossa e que tem uma quantidade razoável de açúcar. Então, eu consigo aumentar a quantidade de açúcar por hectare. Então, começamos com eles esse projeto nessa região [Piracicaba], mas usando o processo convencional, que é extrair e processar o caldo, usar a biomassa para produzir energia para o meu processo e o excedente vamos fazer cogeração ou etanol 2G. A GranBio está procurando uma cana-energia sem açúcar, para poder fazer 100% etanol 2G, porque o 2G tem um problema que temos de resolver ainda. Na hora que eu entro no pré-tratamento com meu açúcar livre, em quantidade grande, eu posso formar inibidor. Então ainda tenho que responder essa pergunta antes de entrar “de cabeça” com a cana energia para o 2G. A ideia da GranBio é pegar essa cana, desfibrar e colocar no processo deles.

A análise das entrevistas evidencia, portanto, que sob o ponto de vista da função influência sobre a direção da busca, há uma forte orientação e apoio das duas edições do PAISS para o desenvolvimento da hidrólise enzimática (rota biotecnológica), no âmbito industrial, e

para o aproveitamento da biomassa de cana-de-açúcar (e desenvolvimento da cana-energia), no âmbito agrícola – o que lhes confere legitimidade [F7] sob o ponto de vista dos atores do STI do etanol 2G, sobretudo perante o BNDES e a FINEP. Subjacente a esse direcionamento parece estar a preocupação com a economicidade do etanol 2G, de modo que sua produção remunere os altos investimentos requeridos para a sua produção. O entrevistado FORN2 coloca a questão da economicidade como um pré-requisito necessário para se estabelecer uma indústria de etanol 2G no Brasil.

FORN2- [...] Para você ter uma indústria de segunda geração grande e importante não basta ter um pacote tecnológico [...] Para que isso aconteça num país você precisa, primeiro, biomassa em quantidade significativa, porque a gente está falando de volumes grandes a um custo razoavelmente baixo para que seja atrativo.

Segundo FORN1, as principais métricas de viabilidade econômico-financeira têm direcionado as decisões dos atores envolvidos com o etanol 2G no Brasil:

FORN1: Então, está todo mundo de olho para ver quais os resultados da curva de aprendizagem. O que fazer e o que não fazer; e quanto que vai ser o CAPEX [*capital expenditure*]; tem CAPEX, OPEX [*operational expenditure*], *pay-back*, quanto vai custar o litro, o que fazer e o que não fazer.

Entre essas medidas de desempenho, o CAPEX (investimento em bens de capital) tem sido apontado como o principal custo relacionado à produção do etanol 2G, conforme afirmam os entrevistados ICT1 e BD.

ICT1: [...] Se olhar em curto prazo, o principal custo é o do CAPEX. Ele é muito elevado por causa dos tempos longos que você tem que ter nas operações de segunda geração e o próprio custo de todo o sistema de pré-tratamento, que é caro também. Toda alimentação, toda separação de sólidos que se têm, líquidos, de correntes dentro do processo e isso encarece muito ainda. Porque, de novo, é uma tecnologia que precisa ser desenvolvida, aprimorada e isso, as novas plantas, as plantas de demonstração é que vão gerar isso daí. A questão da separação, normalmente, você não consegue fazer no laboratório e precisa de planta piloto, de planta demonstração para começar a ter resultados.

BD: [...] O CAPEX da segunda geração é ainda muito mais alto do que da primeira geração, quase 50% superior. Então tem que reduzir ainda muito, não precisa ser mais barato que da primeira porque o OPEX da segunda geração tende a ser mais barato, seja porque você está usando um resíduo, bagaço, recolhendo palha ou porque está usando uma matéria-prima mais produtiva como a cana-energia. Você ainda pode ter um CAPEX maior, porque você tem um custo de produção menor, mas 50% é muito alto, torna o investimento muito pesado.

Além do investimento em bens de capital, representado pelo CAPEX, as enzimas utilizadas na hidrólise de biomassa respondem por custos elevados ainda e, por isso, o entrevistado GOV1 defende a necessidade de se obter mais competitividade nesse item.

GOV1: O que a gente precisa trabalhar, na verdade, agora é como tornar as tecnologias já existentes a um custo mais acessível. A gente tem ainda equipamentos muito caros, porque tem pouca produção; a enzima ainda tem um custo muito excessivo no que tange o etanol de segunda geração, então, a gente precisa desenvolver algo que possa ser mais competitivo.

O entrevistado FORN1, representante de uma empresa produtora de enzimas, explicitou que a perseguição de custos competitivos tem sido uma prioridade para a sua empresa e um fator chave para o sucesso comercial desse insumo da produção do etanol 2G:

FORN1: Ter uma enzima com uma alta performance e um custo não impactante no produto final. Essa é a primeira coisa, se não ninguém vai comprar a nossa enzima. Se você voltar também a três, cinco anos no tempo, [...] dizia: “Não, o custo da enzima é muito alto, o que inviabiliza a produção do etanol de segunda geração”. Nós nunca negamos isso. O que nós dizíamos é assim: “Estamos trabalhando arduamente”. Para você ter uma ideia, 150 pesquisadores estão dedicados para a produção dessa enzima.

Para que custos competitivos sejam alcançados nas diferentes etapas do processo de produção do etanol 2G, ou seja, cana-energia (cultivo da fonte de biomassa), pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação, parte dos entrevistados entende que é necessário ter-se políticas públicas que direcionem e dêem segurança aos atores envolvidos. Entretanto, apesar de duas empresas já estarem operando desde 2014 suas respectivas plantas comerciais, não há nenhuma política específica voltada para esse biocombustível, o que contrasta com o que ocorre nos Estados Unidos e União Europeia, conforme observa PROD2:

PROD2: [...] Existem políticas públicas com o objetivo muito bem definidos nos Estados Unidos, onde a gente tem o programa federal do RIN [*Renewable Identification Number*]. Está ameaçado, mas é um programa bem claro e existe a política estadual da Califórnia que é melhor política do mundo, que é muito clara. É a política do CARB [*California Air Resources Board*], é a que paga o maior prêmio no mundo todo. Existe a política europeia que está substanciada no *Renewable Energy Directive* que é muito clara, mas paga um prêmio muito pequeno pela tonelada de carbono economizada [F6]. Só que, por outro lado, a gente tem a política de combustível feito a partir de resíduo no mercado europeu que paga um prêmio significativo e também é muito clara. Aqui no Brasil nós só temos políticas para o etanol de primeira geração, não existe nada pensado, nada proposto, nada implementado para o etanol de segunda geração ainda. Já deveríamos ter porque os Estados Unidos já têm, a Europa já tem, o Brasil não tem ainda.

O entrevistado BD chama a atenção para a importância da política pública como estimuladora da demanda, utilizando como exemplo uma política regulamentada em lei que

existe nos Estados Unidos. Esse executivo cita o exemplo da energia eólica como caso de sucesso em termos de políticas de suporte e elenca as políticas que seriam necessárias para transformar o etanol 2G brasileiro em uma indústria:

BD: [...] É difícil fazer política? É, mas aquilo que puder, enfim... Os Estados Unidos têm uma lei que é a *biopreferred*, que o setor público quando compra qualquer coisa tem que dar preferência para produtos de base biológica, enfim. Imagine que todas as cadeiras de escola do Brasil tivessem bioplástico, imagina a demanda de bioplástico produzido a partir da cana que ia gerar. [...] Um exemplo que sempre dou é a eólica, que há 5 anos era caríssima e todo mundo falava “nossa, para que vão fazer isso no Brasil, com a água que a gente tem, com a biomassa...?”. Hoje a eólica expulsou as outras fontes, ela ocupou os leilões de energia nova – a biomassa não consegue entrar – e foi em pouco tempo, em cinco anos. [...] Precisa ter política para demanda; política para P&D, porque precisamos de uma política para P&D perene, para as universidades estudarem materiais para o 2G; mais equipamentos; precisa de mais dinheiro para biotecnologia industrial no Brasil; precisa rever currículo de universidade para formar gente em biotecnologia industrial...

Entre as políticas listadas por BD, o governo brasileiro aparentemente optou por uma política temporária de suporte financeiro [F4] ao desenvolvimento tecnológico voltado à produção desse biocombustível (o PAISS Industrial, com recursos do BNDES e FINEP). Na avaliação de GOV1, isso pode atrasar a execução de novos projetos de plantas comerciais.

GOV1: [...] Em outros países você tem mandatos, tem subsídios, tem algumas políticas específicas para a demanda e o Brasil, inicialmente, fez uma política para apoio tecnológico sem a criação de demanda até o momento. Então, esse descasamento é que deve atrasar um pouco novos projetos. [...] A gente tem política pública de apoio à ciência e tecnologia e de apoio a plantas piloto e industriais, mas não temos políticas reservadas. O que a gente não tem hoje é a política de demanda, mas a política de ciência e tecnologia para a geração de conhecimento tem vários instrumentos de apoio ao setor.

O entrevistado FORN1 destaca em sua fala que a criação de uma política de demanda para o etanol 2G seria um instrumento importante, no curto prazo, para a dinamização da produção desse biocombustível:

FORN1: [...]eu gostaria muito, se fosse possível, para poder criar uma demanda. Eu não quero regulamentar e engessar todo o sistema do etanol celulósico, não é nada disso. Mas, um mandato ou uma espécie de: “tira a CIDE [Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico] de quem vai misturar o etanol celulósico”. Isso faria, na minha opinião, já a curto prazo, toda a diferença porque daí todo mundo iria começar a fazer a matemática...e aí, é lógico, com segurança jurídica, né? Não é fazer uma coisa aqui e ano que vem muda, já não é mais assim e aí não tem...Mas, fazer uma coisa com segurança jurídica.

Para BD, o modelo norte-americano de políticas para demanda de etanol 2G pode servir de referência para o Brasil, uma vez que já existem plantas produtivas construídas no país

BD: [...] Agora, o lado da demanda da tecnologia os Estados Unidos também fizeram políticas. Você tem incentivos tributários para quem faz etanol celulósico, você tem mandato obrigatório de consumo para quem faz etanol celulósico –você cria tanto a política de demanda e de oferta. O que a gente está brigando no Brasil é para completar o ciclo e a gente conseguiu fazer as primeiras plantas. Então, antes havia a discussão: “eu não vou colocar mandato de 2G porque não tem produção de 2G no Brasil, então temos que resolver esses problemas”. Resolvemos, temos duas plantas. Agora, se não regar, se não ajudar, não vai virar floresta.

Segundo PROD2, a ausência de uma política de demanda no Brasil tem o efeito de direcionar a produção do etanol 2G para países que dispõem de políticas dessa natureza.

PROD2: [...] Esse etanol, provavelmente, vai ser exportado porque o Brasil não tem política de etanol celulósico. Então, pra mim é muito melhor exportar pra quem tem política de etanol celulósico e trata esse produto como produto diferenciado pagando mais caro por ele.

O entrevistado BD, por sua vez, defende que a política do etanol 2G siga o exemplo do Proálcool, durante o regime militar, em relação ao etanol 1G:

BD: [...] não foi por livre e espontânea vontade que um dono de posto, no Amapá tem uma bomba de álcool. Para que? [...] os militares simplesmente obrigaram, porque havia um planejamento de ter álcool e pronto. Então, é produção e distribuição. Agora, a gente luta para ter algo parecido, a gente precisa ter início, meio e fim na política. Não adianta eu só fazer aqui com o BNDES e não ter política para consumir esse produto, porque vai ficar manco. A gente sempre dá o exemplo dos Estados Unidos, que tem tudo que o BNDES ofereceu, só que ainda coloca mandato, isenção tributária, uma série de incentivos inclusive estaduais, como na Califórnia, coisa que o Brasil ainda não fez.

Todavia, de acordo com as falas de GOV2 e GOV1 já existe uma proposta preliminar de políticas para incentivar a produção e demanda [F5] de etanol 2G, elaborada em 2014 pelo MDIC, e que está sendo analisada pela instância competente:

GOV1: [...] Como ministério [MDIC], o que a gente fez foi propor ao CNPE, que é o Conselho Nacional de Política Energética, a criação de uma política de criação de demanda [F5] para o etanol de segunda geração. Justamente porque a gente entende que em um mercado de *commodities* é justificável você criar uma demanda por instrumentos legais, ou de crédito, ou de algum tipo de benefício para você acelerar o processo de barateamento da tecnologia. Eu acho que, principalmente hoje, o que falta no Brasil é uma demanda específica para o etanol de segunda geração.[...] A proposta foi formalizada, mas sem a definição de como deveria ser a política. O que está em discussão é de como deveria ser isso. [...] O CNPE determinou ao CIMA, que cuida especificamente de álcool, que estudasse o assunto, que é o que estamos fazendo.

A falta de políticas específicas para o etanol 2G no Brasil parece causar preocupação em pelo menos nove entrevistados do STI do etanol 2G, pois, de acordo com previsões do próprio governo, baseadas no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), elaborado pela

Empresa de Pesquisa Energética (EPE), há a previsão de um déficit de cerca de 10 milhões de litros de gasolina no país até 2025.

BD: [...] tem hoje um diagnóstico compartilhado de que o déficit de gasolina que o Brasil vai enfrentar vai superar dez bilhões de litros em pouco tempo. Dificilmente, você vai conseguir suprir apenas com o crescimento do 1G, porque você está indo cada vez mais para áreas que não são adequadas para cana. Então, pensar que o setor vai dobrar de tamanho com a primeira geração eu acho difícil.

O entrevistado BD não acredita que a produção de etanol 1G será capaz de suprir essa lacuna e, GOV3, por sua vez, afirma que o etanol 2G é a única saída para que se cubra esse déficit e evite-se a importação de gasolina: “[...] Eu não diria que é um futuro incerto, eu diria para você que nós não temos outra saída para a questão de abastecimento. Se você não tiver etanol 2G você não abastece” (GOV3).

3.7.2.4 Função mobilização de recursos [F4]

A mobilização de recursos voltados à estruturação da produção de etanol 2G no Brasil está estreitamente ligada, segundo os entrevistados, à criação do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS Industrial). Onze entrevistados citaram essa linha conjunta de financiamento e subvenção como instrumento de grande importância para o financiamento das plantas de produção construídas por GranBio, Raízen e CTC [F1].

O PAISS, de acordo com relatos obtidos, foi concebido após a realização de um estudo conjunto do BNDES e FINEP que diagnosticou, em 2010, a situação do setor sucroenergético brasileiro, com o fim de propor alternativas para a recuperação de sua competitividade após a crise internacional de 2008. Esse estudo constatou que havia uma corrida tecnológica internacional pelo desenvolvimento do etanol 2G, na qual o Brasil estava em clara desvantagem. Essa é a síntese do relato de BD transcrito abaixo:

BD: [...] logo depois da crise internacional de 2008, o setor [sucroenergético] passou a apresentar uma situação econômica deteriorada, as usinas estavam em um momento de investimentos quando foram pegas nesse contra-pé. [...] Então, fomos estudar a partir da inovação tecnológica aquilo que poderia contribuir para o setor recuperar a competitividade. [...] enquanto Estados Unidos e Europa investiam bilhões de dólares fomentando a tecnologia de etanol de segunda geração, no Brasil isso era um pouco negligenciado. A gente tinha em 2010, para se ter uma ideia[...] duas plantas-piloto, algumas iniciativas de universidades, [...] e nenhuma perspectiva sequer de uma planta demonstrativa, enquanto nos Estados Unidos e Europa haviam vários projetos em estágio mais maduro e comercial, porém ainda não haviam inaugurado nenhuma planta.

Então, vimos ali uma clara situação de corrida tecnológica, que várias regiões do mundo investiam pesado nisso e o Brasil investia muito pouco, com iniciativas muito acadêmicas. [...] O diagnóstico partiu de um estudo conjunto entre o BNDES e o FINEP, onde nós identificamos essa corrida no mundo, mostramos a fragilidade brasileira, que o Brasil ia ser um observador dessa dinâmica tecnológica e, com base nisso, justificamos essa ação mais afirmativa entre BNDES e FINEP.

Com base nas informações colhidas nesse estudo, os técnicos das duas organizações puderam reunir os elementos que ajudaram a criar as diretrizes gerais da primeira edição do PAISS (chamada de PAISS Industrial¹¹⁸), cujo edital foi lançado numa chamada conjunta entre BNDES e FINEP em 2011. Esse processo de elaboração e o desempenho do plano conjunto de ambas as instituições é narrado por BD:

BD: O banco resolveu fazer uma chamada em conjunto com a FINEP, que o foi o PAISS [Industrial], cuja intenção era fomentar investimentos privados empresariais na tecnologia 2G [F3] e, também, na química renovável, que é uma outra maneira de você melhorar a equação econômico-financeira das usinas agregando produtos não *commodities* que tenham um valor agregado maior e, por conseguinte, um preço de mercado menos variável. Então, o programa, para nossa surpresa, foi muito bem-sucedido. Nós conseguimos levantar quase R\$ 3 bilhões de investimentos e não imaginávamos que isso seria possível. Hoje temos duas plantas comerciais no Brasil, já construídas, uma da GranBio e uma da Raízen, uma em construção e uma de demonstração [F1]. Então, se você olhar o resultado, os Estados Unidos já têm duas comerciais e a terceira deve ser inaugurada esse ano. Então, a gente com esse pequeno estímulo financeiro conseguiu uma resposta interessante da indústria, e o que agora a gente espera é que o governo entenda que essas duas plantas não são suficientes para estabelecer a indústria do etanol celulósico...

O entrevistado FORN1, por sua vez, considera que o PAISS foi fundamental para que houvesse ações concretas para a produção do etanol 2G no Brasil:

FORN1: Mas, que o BNDES, o PAISS foi fundamental para alavancar, para tornar, para sair do falatório e passar para a prática, ele foi fundamental! [...] É que o PAISS deu uma coisa tão certo. Eles uniram a FINEP junto com o BNDES, que era dinheiro pulverizado em vários cestos, dez pra um, cinco para outro, e isso a gente tem que admitir, foi a presidente Dilma que quis: “Põe tudo num cesto e vamos investir pesado realmente naquilo que vai dar resultado”.

Uma parte dos recursos disponibilizados pelo PAISS era de natureza não reembolsável. Porém, conforme GOV1 esclarece, a maior parte do apoio financeiro foi concedido sob a forma de empréstimo:

GOV1: [...] mas temos que ver que o PAISS juntou vários tipos de apoio. Tem apoio de fundo não reembolsável, mas boa parte do apoio é empréstimo, o que implica que a

¹¹⁸ Conforme descrito na função influência sobre a direção da busca, o PAISS contou com uma segunda edição (chamada de PAISS Agrícola), cujo foco era o financiamento de tecnologias agrícolas, entre elas a cana-energia.

empresa está assumindo risco e está colocando o recurso dela como garantia, está pagando juros por esse empréstimo. Então, por mais que os recursos sejam do BNDES, eles estão lastreados em ativos das empresas, em participação acionária ou mesmo no pagamento de juros por isso.

O fato de o PAISS oferecer maior quantidade de recursos a título de crédito para as atividades de P&D e produção significa que o governo brasileiro, diferentemente dos Estados Unidos, não adotou uma política predominantemente de subvenção econômica, conforme explica BD:

BD: [...] por isso que eu acho que o que a gente conseguiu com o PAISS foi muito rico, porque para você criar um ambiente para que os empresários superem o conservadorismo, o medo de inovação, o ideal é ter muito mais do que isso. Se você pegar o arcabouço regulatório americano, aqui a gente tinha crédito em tese mais barato. Lá a Abengoa que é empresa espanhola, recebeu de subvenção do governo americano, dinheiro doado, a fundo perdido, mais de cem milhões de dólares – uma estrangeira, sequer americana. Então, eles colocaram muito dinheiro a fundo perdido mesmo, sequer o empresário precisou investir dinheiro. Óbvio, com condições mais baratas, então, teve muito apoio do lado da oferta tecnológica. Isso aqui, em tese, o PAISS conseguiu ajudar.

Embora o PAISS seja considerado um passo fundamental para a estruturação do que neste trabalho é chamado de STI do etanol 2G, um dos entrevistados observou que os recursos disponibilizados por BNDES e FINEP foram acessados apenas por empresas com capacidade de apresentar as garantias exigidas:

PROD2: [...] mesmo que o BNDES e a FINEP sejam incentivadores, eles fazem uma exigência de garantias que é muito alta, então não está ao alcance do pequeno empreendedor fornecer as garantias que o BNDES e a FINEP exigem. A gente aqui [...] pode oferecer todas as garantias que o BNDES e FINEP pediram. A Raízen também ofereceu todas essas garantias. A Abengoa que é o maior produtor de etanol no mundo também pode oferecer essas garantias. [...] Projetos de inovação, tipicamente, não tem condições de dar garantias desse nível.

Outro aspecto encontrado na análise das entrevistas, diz respeito à mobilização de recursos humanos. De acordo com o entrevistado GOV1, para fazer frente aos desafios que se colocam para a viabilização do etanol 2G, o Brasil precisa formar pessoal na área de enzimas: “[...] A gente tem um grande capital humano no setor de etanol no Brasil, agora, especificamente na parte de enzimas, a gente não está bem posicionado” (GOV1).

Já para FORN1, a exemplo do apoio financeiro que BNDES e FINEP deram para a construção de plantas e projetos de P&D, essas mesmas organizações poderiam criar outra edição do PAISS direcionada para a formação de mão de obra especializada em etanol 2G:

FORN1: [...] está todo mundo esperando a segunda edição e todo mundo fala (todo mundo que eu digo é o pessoal do setor): “Quando é que vai sair o PAISS 2, 3 ou 4?” Mas assim, um pouquinho diferente do PAISS Industrial, lógico com adaptações, aí tratando da questão da educação, da mão de obra, na formação técnica etc e tal.

3.7.2.5 Função formação de mercado [F5]

A inserção do etanol 2G produzido pelas empresas apoiadas pelo PAISS Industrial no mercado brasileiro dependeu da autorização da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), órgão regulador dos biocombustíveis e responsável pelo monitoramento de sua qualidade. De acordo com o entrevistado AG2, a ANP realizou um amplo estudo com diversos atores ligados ao etanol 2G, dentro e fora do Brasil, bem como testes de laboratório com vistas a definir se seria necessário criar uma nova legislação regulatória para esse biocombustível. O objetivo desse trabalho foi o de verificar se o etanol 2G se enquadrava nas especificações técnicas aplicáveis ao etanol combustível produzido no Brasil e contidas na Resolução ANP 19/2015:

AG2: [...] nesse projeto a gente conversou também com agentes do mercado, com várias partes da cadeia, tanto os consumidores, os produtores, a indústria automobilística. Então, a gente procurou ver a visão geral do mercado. A gente contou muito com a experiência lá de fora, então, a gente foi à Dinamarca, por exemplo, que já tem uma utilização grande do etanol 2G e a gente complementou com essa parte de laboratório aqui. O CPT [Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas], que é o laboratório da ANP em Brasília, fez algumas análises, coletou amostras desses agentes que já produzem aqui no país o etanol 2G e, aí, a gente fez um relatório final e concluiu que na resolução que a gente tem da especificação do etanol 1G, que é a Resolução 19 de 2015, [...] ela contempla o etanol 2G. Então, não tem uma necessidade de diferenciação.

Para AG2, a ANP cumpre papel determinante na inserção de novos biocombustíveis no mercado, removendo as barreiras que dificultem a sua comercialização:

AG2: [...] Agora, de qualquer forma, a inserção do produto no mercado, eu acho que aí sim, a ANP tem um papel determinante. E é eliminar quaisquer barreiras para a entrada desse produto. É preciso realmente você ter esse exame...se a gente olhar outros novos combustíveis que estão aparecendo, têm alguns que não conseguem ainda entrar no mercado porque existe uma necessidade de se investigar algumas questões. [...] o papel fundamental da ANP é já vir com uma regulamentação consistente para o etanol. Porque o etanol 2G já entrou no mercado em que ele já tem uma regulamentação conhecida pelo mercado, consolidada.

O etanol 2G, segundo AG2, teve a vantagem de ser introduzido em um mercado que, do ponto de vista regulatório, já estava praticamente preparado para recebê-lo:

AG2: [...] Então, eu acho que teve esse papel do mercado estar preparado para o etanol. Porque, na verdade, ele [etanol 2G] já entrou sabendo como tudo ia funcionar. E isso

daí, a gente que trabalha com biocombustíveis novos vê que isso é o principal problema quando você tem um produto novo. Esse processo é complicado. E o etanol 2G já entrou com isso resolvido.

O entrevistado GOV4 reforça a afirmação de AG2, descrevendo as características particulares do mercado e da demanda por etanol no Brasil que, de acordo com sua opinião, são únicas no mundo.

GOV4: A questão do mercado é o grande diferencial do Brasil, em termos de potencial, em relação a qualquer outro mercado. Demanda instalada já existente: uma obrigatoriedade que é a adição do álcool em percentuais que no mundo todo não se pratica (mistura-se etanol anidro numa proporção de 10%, 12% e só no Brasil tem uma mistura que é quase 1/3 do uso, os 27%). Então, é uma demanda quase que cativa atrelada ao consumo de veículo leve. Ou seja, no mundo todo não existe uma demanda montada como existe no Brasil para consumo de álcool, consumo veicular de álcool.

Contudo, apesar de contar com um mercado já formado para o consumo de etanol no Brasil, o etanol 2G ainda não apresenta custos de produção competitivos para concorrer com o etanol 1G. Os entrevistados GOV1 e BD explicam em suas respectivas falas em que condições o etanol 2G poderá ter um mercado disposto a consumi-lo. GOV1 projeta um custo menor do etanol 2G frente ao etanol 1G no futuro, o que, combinado com um preço de barril de petróleo em torno de US\$ 50 ampliará a demanda potencial do primeiro. BD, por sua vez, observa que a menos que a gasolina aumente muito o seu preço, o etanol 2G (e o próprio 1G) não será competitivo, restando, portanto, as exportações para países que ofereçam incentivos para combustíveis avançados – caso o Brasil não crie políticas que premiem esse tipo de etanol. Os pontos de vista desses dois entrevistados estão transcritos a seguir:

GOV1: Na análise que eu comentei que fizemos junto com o BNDES e com o CTBE, a gente vislumbra que o etanol de segunda geração, produzido junto com o de primeira geração, vai ter um custo menor do que o etanol de primeira geração. Isso significa que tem um mercado enorme. Em um *forecast* tecnológico que foi feito, a gente vê o etanol de segunda geração sendo competitivo com a gasolina, a um petróleo custando US\$50 o barril. Isso significa que ele tem um potencial muito grande para crescer as vendas no país, desde que ele realmente siga essa curva de aprendizagem e chegue a esse custo que está previsto.

BD: [...] Olha, o 2G ainda está mais caro que o 1G. Então assim, ele tem demanda, por ser etanol, mas não consegue competir com o de primeira geração. A não ser que o preço da gasolina suba muito a ponto de viabilizar o consumo dos dois, tanto de primeira como de segunda geração, ele não vai ser consumido a não ser para exportação. Então, ele vai ser exportado se não tiver algo que incentive o consumo no Brasil. O que a gente imagina é que por algum tempo vão continuar existindo políticas que premiem o etanol 2G, então ele vai conseguir ter mercado mesmo nessa fase de custo maior. Mas vai ser justamente esse prêmio agora que vai dar vida ao etanol 2G, para ele chegar ao estágio de custo mais baixo, quando ele não precisar mais de apoio.

De acordo com ASSOC-B, a exportação do etanol 2G oferece muitas oportunidades para o etanol 2G, especialmente no mercado europeu:

ASSOC-B: [...] mas eu acho que a gente tem uma avenida de oportunidades não só do ponto de vista em relação à tecnologia do etanol de segunda geração, não só do ponto de vista de redução do custo a partir do aumento da produtividade, como também mercados muito ambiciosos como os mercados Americano e Europeu que, seguramente, estamos caminhando em direção. A Europa, de maneira geral, tem uma preocupação maior, tem um debate *food versus fuel*, então eles realmente estão caminhando mais agressivamente para essa mudança de consumo de etanol de primeira para segunda geração, tanto que agora eles colocaram limites recentemente na Diretiva Europeia para o etanol que eles chamam de base agrícola...

Mas, para que o escoamento da produção do etanol 2G brasileiro não fique atrelado exclusivamente às exportações, o entrevistado BD defende a criação de uma política pública de demanda que, através de um mandato, garanta um percentual mínimo de adição de etanol 2G à gasolina e o pagamento de um prêmio em relação ao preço do etanol 2G:

BD: [...] o que a gente está defendendo é que se crie instrumentos para incentivar o consumo do etanol 2G. No estudo que comentei, a gente fez uma conta simples. Hoje o Brasil mistura na gasolina dez bilhões de litros de anidro, se pegarmos 10% disso é um bilhão, é muita coisa. Se eu pegar 1%, cem milhões de litros. Com 1% de mistura, uma gota de anidro, eu tenho cem milhões de litros de demanda de etanol 2G. É a produção da GranBio e da Raízen. Eu poderia fazer uma escadinha: sai de um, vai para dois, para chegar em 10 em dez anos. Já seria interessantíssimo para quem está investindo e do ponto de vista de impacto, mesmo inflacionário, se você pensar que vou pagar cinquenta centavos a mais por essa gota, eu estou falando de cinquenta centavos a mais no 1% da mistura, que é 27%. Então, estou falando no custo final da gasolina de 1% em 27% da mistura. No cálculo que fizemos, seria: em um tanque de quarenta litros o consumidor pagaria cinco centavos.

Conforme descrito na seção correspondente à função influência sobre a direção da busca, o MDIC encaminhou proposta com políticas de apoio ao etanol 2G, que inclui a criação de um mandato que gere demanda para esse biocombustível. Essa proposta foi enviada em 2014 e encontra-se em análise.

3.7.2.6 Função desenvolvimento de externalidades positivas [F6]

A análise das entrevistas realizadas revela que a sustentabilidade ambiental é considerada pelos atores do STI do etanol 2G como a principal externalidade positiva desse biocombustível. Dos 17 entrevistados, 14 reconhecem explicitamente essa virtude do etanol 2G. O entrevistado PROD2, em particular, destaca a sustentabilidade ambiental do etanol, em

termos de emissões de dióxido de carbono como sendo, inclusive, superior à apresentada pelo etanol 1G:

PROD2: [...] é um combustível muito mais limpo que o etanol de primeira geração. O etanol de primeira geração emite 50 gramas de CO₂ por megajoule de energia, o etanol de segunda geração emite 7, somente 7 gramas. Então, ele é quase oito vezes mais limpo que o etanol de primeira geração e treze vezes mais limpo que a gasolina...

Os entrevistados GOV1 e FORN1 também destacam as externalidades ambientais do etanol 2G, chamando a atenção para o fato de que a sua viabilização implica a redução (ou a não expansão) de áreas de plantio da cana-de-açúcar por conta da utilização dos resíduos dessa cultura para a produção adicional de etanol. Os trechos de seus respectivos depoimentos são transcritos a seguir:

GOV1: [...] Em termos de meio ambiente, a pegada de carbono que já foi comprovada do etanol celulósico é muito melhor que do etanol de cana, que já tem uma pegada muito boa. Então, teríamos ganhos, inclusive com estudos mostrando uma pegada negativa, mostrando que seria possível você sequestrar carbono usando o etanol de segunda geração. [...] E, além disso, temos outro benefício ambiental que é não precisar expandir ou reduzir a necessidade de expansão de novas áreas de plantação, já que você passa a usar os resíduos para a produção do etanol.

FORN1: [...] Sem sombra de dúvida é a análise do ciclo de vida, a questão da sustentabilidade, meio ambiente [...] tem o aspecto ambiental de você fazer um combustível líquido de um resíduo que até então era queimado ou ficava lá. Isso é um dos maiores fatores positivos. E outra, se o estado da Califórnia já reconhece o 1G como um biocombustível avançado, você imagina o 2G! Então, tem todo esse aspecto principalmente ambiental, na questão de captação também de CO₂..

O entrevistado ICT2, por sua vez, observa que a principal fonte da sustentabilidade do etanol 2G se originará do plantio da cana-energia, variedade de cana-de-açúcar capaz de fixar mais carbono e exigir menos adubos nitrogenados causadores do efeito estufa:

ICT2: Porque essa cana-energia é mais eficiente em sequestrar muito mais carbono. Então, você vai ser muito mais eficiente quando tiver o etanol celulósico porque você vai ter, tanto a retirada dos combustíveis fósseis (vão ser muito menos), você vai ter a retirada da queima e ela vai ter uma grande vantagem: a cana energia vai ter menos *input* de adubação nitrogenada que é um dos fatores que contribuem muito para a elevação do efeito estufa. Então, o balanço aí vai ser muito maior, muitíssimo maior, de forma que eu acho que vai trazer esses benefícios.

O reconhecimento dos benefícios ambientais do etanol 2G foram, segundo relato de BD, reconhecidos também pela Presidência da República, o que lhe deu legitimidade [F7]:

BD: [...] Olha, a gente teve uma grande surpresa no discurso da Dilma [Rousseff] na inauguração da planta da Raízen. Ela defendeu, inclusive ela mandou o pessoal da Raízen fazer um barulho agora na COP 21. Eu acho que sair da boca dela que etanol 2G

é importante, é um orgulho para o Brasil, chegou a dizer que essa planta colocava o Brasil em uma posição diferente nas Negociações do Clima, porque estava mostrando para o mundo como se faz uma energia renovável. Eu acho que isso é paradigmático e pensar que há quatro anos quando a gente lançou o PAISS ninguém falava disso e agora tem a presidente da república falando, em quatro anos é significativo.

O discurso da presidente Dilma Rousseff parece ter se transformado em uma ação legitimadora [F7] mais concreta, pois, conforme afirma GOV2, o governo brasileiro resolveu incluir, como proposta para o documento de base do texto final da COP 21, um item que propõe o aumento da participação do etanol 2G e o etanol 1G na matriz energética de transportes do Brasil, como forma de contribuir com as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa.

GOV2: [...] Será um item na própria declaração do anexo INDC [*Intended Nationally Determined Contributions*], que foi falado lá na ONU, e tem a manifestação expressa do etanol 1G e 2G. É um anexo de base para o INDC. [...] Quando a presidenta Dilma esteve na ONU e lançou as bases do compromisso que ela virá a apresentar na COP 21, ela estabeleceu aquela meta de aumentar a participação de energia etc. Aí tem um parágrafo lá que ele cita especificamente: através da maior participação do etanol 1G e 2G e aumento percentual da participação do biodiesel no diesel. [...] A missão brasileira insistiu muito com Paris para que o assunto do etanol 2G fosse abordado e será.

Na visão do entrevistado GOV1, para além da contribuição ao meio ambiente, outra externalidade positiva do etanol 2G será o aproveitamento de sua rota tecnológica para a produção de produtos bioquímicos, área de fronteira do conhecimento que poderá fazer emergir uma nova indústria no Brasil:

GOV1: [...] A produção do etanol de segunda geração segue uma rota que pode gerar outros tipos de produtos químicos ou também pode ser a base para outros produtos químicos. Então a nossa expectativa é que o fomento ao etanol de segunda geração dê forças para fomentar a produção de bioquímicos no país.

A visão de GOV1 é compartilhada pelo entrevistado BD que em seu depoimento oferece uma perspectiva mais ampla de como essa nova indústria de bioquímicos poderia se desenvolver no país:

BD: Para mim, o etanol 2G é o vetor da biotecnologia industrial. A biotecnologia industrial é aquele paradigma nascente, como foi a eletrônica nos anos 70, está todo mundo tateando naquilo. Quando você tem um paradigma tecnológico nascente é quando os países marcam posição, é quando você define quem vai ser o líder daquilo. [...] Então, eu acho que o etanol 2G pode ser o vetor para que o Brasil vire referência em bioprodutos. [...] porque o Brasil vai ser o lugar mais barato para fazer isso, não só para fazer produção, mas também pesquisa. Acho que é o maior legado que uma indústria como essa pode ter, porque aí eu tenho uma base já forte que é o etanol, que dá vida a essa indústria e eu vou agregando coisas menores, porém de muito valor, como são os químicos.

3.7.2.7 Função legitimação

A análise do conteúdo das entrevistas mostra que houve uma mobilização por parte das empresas envolvidas na produção do etanol 2G com vistas à conquista de legitimidade desse biocombustível, e da tecnologia que sustenta a sua produção (hidrólise enzimática), perante as autoridades governamentais [F7]. Tal mobilização, segundo o relato de BD, resultou na criação de uma associação que reúne empresas interessadas em desenvolver a biotecnologia industrial no Brasil e em criar um arcabouço regulatório que dê celeridade e segurança jurídica às pesquisas com microrganismos:

BD: [...] O maior exemplo disso foi a criação da ABBI, que é a Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial, que basicamente são as empresas do PAISS Industrial que se uniram porque viram que precisavam de uma voz comum para se relacionar com o governo. Você precisa ter um arcabouço regulatório para biotecnologia industrial no Brasil diferente da biotecnologia agrícola e de saúde, porque são mundos completamente distintos. [...] Então, o Brasil precisa ter um arcabouço regulatório que entenda isso, que biotecnologia industrial é diferente da de saúde. Então eles se uniram, criaram a associação, e já tem 13 empresas. Então, é um exemplo de cooperação.

A ABBI, a exemplo de outras associações de classe brasileiras, parecer ter sido criada para fazer o *lobby* em prol do etanol 2G de maneira organizada e com vistas a atrair para si o respeito do governo brasileiro, conforme se pode depreender dos trechos abaixo das entrevistas de BD e FORN1:

BD: [...] Acho que a ABBI se formou também para isso, para ter um lobby mais organizado, já que Brasília só funciona assim, só responde a solicitações organizadas. Isso eu sempre defendi, “vocês precisam se organizar senão vão sempre ficar para o fim da fila, porque eles sempre vão atender outras demandas e vocês não serão atendidos. Vocês têm que chegar em conjunto”.

FORN1: [...] Volume, voz. Imagine, você pegando 12 vozes através de uma associação. Tem um ano e meio a ABBI e é uma associação que eu falo sem pestanejar: muito respeitada já pelo governo brasileiro.

Outra forma encontrada pelas empresas associadas à ABBI para dar visibilidade ao etanol 2G, junto às autoridades do governo brasileiro, foi a articulação de um comitê de biotecnologia junto à Frente Parlamentar da Química, coalizão política vinculada à indústria química representada pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM). Essa movimentação em busca da ampliação da legitimação da biotecnologia industrial, que também abrange o etanol 2G, foi relatada por FORN2:

FORN2: [...] Nós estamos tentando tornar essa indústria mais visível pelas autoridades. Como eu disse, isso é importante, então, nós pegamos carona da ABIQUIM [Associação Brasileira da Indústria Química], que já tem a frente parlamentar da química, e conseguimos constituir um comitê de biotecnologia. Porque tem algumas coisas andando que podem afetar o setor para o bem e para o mal. Então, para tornar visível, a gente precisa que as autoridades lá de Brasília enxerguem via associação, né?

Os esforços envidados junto à ABBI e à Frente Parlamentar da Química para dar visibilidade ao etanol 2G foram confirmados pelo entrevistado FORN3 que, também, destacou que tanto o setor sucroenergético (etanol 1G) quanto o próprio governo se mostram favoráveis ao desenvolvimento desse biocombustível avançado:

FORN3: [...] A gente está com uma agenda junto com ABBI, junto à Frente Parlamentar da Química muito positiva também. Então, eu não vejo, por exemplo, o setor de 1G se apresentar contra o 2G, acho que eles acreditam que é uma tecnologia que vai vir para complementar o 1G. Estão, claro, esperando porque existem vários problemas para resolver como eu falei anteriormente. O governo já sinalizou também em prol do etanol e o etanol celulósico está aparecendo na agenda do governo. Não vejo, realmente, nenhuma oposição.

Por fim, a ABBI parece, portanto, ter sido constituída para dialogar e convencer as diferentes instâncias do governo federal da importância de se formular políticas públicas exclusivas para o etanol 2G. Uma delas, e talvez a mais importante, seria a concepção de uma política de mandato de etanol 2G (quantidade obrigatória a ser adicionada à gasolina), como forma de estímulo à sua produção e formação de um mercado específico [F5]. Isso fica evidenciado na fala de FORN1:

FORN1: [...] Olha, nós ajudamos a fundar, a formar a ABBI (Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial). Porque é através da ABBI que a gente faz esses contatos. Seja com o governo, seja com o CTBE, por exemplo. Quem sabe um dia não vai existir um mandato de etanol celulósico, de 2G? Então, a ABBI hoje para nós, esquecendo um pouquinho a parte da pesquisa em si, mas a ABBI é a associação, é o fórum mais importante...

Ao fim, portanto, do exame do conteúdo do material contendo a transcrição das entrevistas conduzidas junto aos atores reunidos no chamado grupo contemporâneo do STI do etanol 2G, é possível apresentar um resumo dos eventos encontrados nas transcrições das falas dos entrevistados. Embora a quantidade de eventos identificados nessa etapa da análise de dados seja menor do que os encontrados no levantamento documental, considera-se necessário listá-los como forma de organizar os acontecimentos que, aparentemente, marcaram a formação desse sistema de inovação entre 2011 e 2015 (Figura 40).

Foram identificados 19 eventos dos quais, 11 foram eventos novos não captados na pesquisa documental. Apesar de adicionar informações relevantes sobre a dinâmica do STI do etanol 2G em seu período mais recente, tais eventos em si não alteraram substancialmente a análise institucional realizada, embora a análise interpretativa geral das entrevistas tenha revelado a emergência de uma nova instituição de caráter cultural-cognitivo, como poderá ser visto adiante.

Função	Descrição dos eventos (Período 2011-2015)	Evento identificado no levantamento documental?	
		Sim	Não
Experimentação empreendedora/empresarial [F1]	• Construção da planta de produção da GranBio.	X	
	• Construção da planta de produção da Raízen.	X	
	• Construção da planta de produção do CTC.	X	
Desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2]	• Projeto de pesquisa para o desenvolvimento de soluções na área de fermentação de açúcares de cinco carbonos conduzido pela Unicamp em colaboração com Raízen.		X
	• Projeto de pesquisa para mensuração de emissão de gases de efeito estufa da palha de cana-de-açúcar, conduzido pela ESALQ/USP em colaboração com a Raízen.		X
	• Projeto de pesquisa para a produção de ácido biosuccínico com base em cana-de-açúcar realizado pelo IPT em colaboração com a DSM.		X
	• Projeto de pesquisa para a produção de etanol 2G por hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar, conduzido em parceria por DSM, CTBE e Dow Brasil.		X
	• Projeto de pesquisa para o desenvolvimento de variedades de cana-energia, conduzido em parceria por UFAL e GranBio.		X
	• Projeto de desenvolvimento da cana-energia em parceria entre Raízen e Vignis.		X
Influência sobre a direção da busca [F3]	• PAISS Industrial elegeu a biomassa da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol 2G e produtos bioquímicos de maior valor agregado.	X	
	• GranBio engaja-se, pioneiramente, no desenvolvimento da cana-energia, influenciando outras empresas a considerarem a mesma estratégia.		X
	• PAISS Agrícola dá forte destaque para cana-energia como forma de estimular pesquisa e produção dessa variedade no Brasil (2014).		X
	• MDIC propõe ao CNPE a criação de uma política de criação de demanda para o etanol de segunda geração que encontra-se em estudo no CIMA (Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool) (2014).		X
Mobilização de recursos [F4]	• Lançamento do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) (2011).	X	
Formação de mercado [F5]	• ANP realiza estudo com diversos atores ligados ao etanol 2G, dentro e fora do Brasil (incluindo Dinamarca), bem como testes de laboratório com vistas a definir a necessidade de se criar uma nova legislação regulatória para esse biocombustível.		X
Desenvolvimento de externalidades positivas [F6]	• Presidente Dilma Rousseff reconhece publicamente (inauguração da planta da Raízen) a importância do etanol 2G, afirmando que a sua produção posiciona o Brasil de forma distinta nas Negociações do Clima na COP 21.		X

	<ul style="list-style-type: none"> • Governo brasileiro resolveu incluir, como proposta para o documento de base do texto final da COP 21, o INDC [<i>Intended Nationally Determined Contributions</i>], um item que propõe o aumento da participação do etanol 2G e o etanol 1G na matriz energética de transportes do Brasil, como forma de contribuir com as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. 	X	
Legitimação [F7]	<ul style="list-style-type: none"> • Criação da Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), entidade que reúne empresas envolvidas/interessadas em desenvolver a biotecnologia industrial no Brasil, incluindo o etanol 2G. 	X	
	<ul style="list-style-type: none"> • Articulação de um comitê de biotecnologia junto à frente parlamentar da química, coalizão política vinculada à indústria química representada pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM). 	X	

Figura 39: Eventos identificados na análise das entrevistas do grupo de atores contemporâneo do STI do etanol 2G.

Fonte:Dados da pesquisa

A interpretação do conteúdo das entrevistas conduzidas junto ao grupo de atores contemporâneo do STI do etanol 2G permite identificar a influência de sete instituições que influenciaram a formação desse sistema entre 2011 e 2015, sendo duas de natureza regulatória, duas normativas e três cultural-cognitivas, das quais cinco foram igualmente identificadas na análise documental. A Figura 41 apresenta a descrição dessas instituições, as funções às quais se vinculam, de acordo com a análise dos depoimentos dos entrevistados do grupo contemporâneo, e, para as instituições idênticas verificadas na análise documental, apresenta-se as respectivas funções conforme detectou-se naquela etapa analítica.

Instituições	Manifestação institucional identificada nas entrevistas do grupo contemporâneo(período 2011-2015)	Vinculação com funções do STI do etanol 2G, segundo a análise das entrevistas	Vinculação com funções do STI do etanol 2G, segundo a análise documental (período 2011-2015)
Regulatórias	Regras do edital do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) direcionam produção comercial do etanol 2G e definiram a cana-de-açúcar (bagaço e palha) como biomassa obrigatória para os empreendimentos produtivos	F1, F2, F3, F4, F7	F1, F2, F3, F4, F7
	Proteção das patentes (sob a Lei 9.279/96) torna-se instrumento estratégico na competição pela tecnologia vencedora no STI etanol 2G.	F2	F2, F6 (Patentes Verdes)
	Adequação do etanol 1G ao ambiente regulatório representado, em especial, pela Resolução ANP 19/2015 , que estabelece os métodos e parâmetros de inspeção e certificação de qualidade do etanol (que inclui o 2G)	F5, F7	Não se aplica
Normativas	Economicidade (custo e viabilidade econômica) dos processos de pré-tratamento e conversão de biomassa é tida como pré-requisito de sucesso das tecnologias utilizadas/desenvolvidas, mas dependentes também de políticas de estímulo à demanda do etanol 2G	F2, F3, F5, F7	F1, F2, F4, F7
	Sustentabilidade ambiental é reconhecida como uma das vantagens do etanol 2G.	F6, F7	F1, F2, F4, F6, F7
	P&D empresarial como prática emergente do STI do etanol 2G, deslocando a pesquisa acadêmica para uma posição acessória no processo de resolução dos problemas enfrentados pelas plantas de produção.	F1, F2	Não se aplica
Cultural-Cognitivas	Paradigma da hidrólise enzimática (rota biotecnológica) e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial é seguido como referencial orientador da produção em escala comercial do etanol 2G	F1, F2, F3, F4, F7	F1, F2, F3, F4, F7
	Paradigma da biotecnologia industrial passa a ser defendido e promovido pela ABBI, associação formada por empresas envolvidas ou interessadas no desenvolvimento de biocombustíveis e bioquímica no Brasil	F1, F4, F7	F1, F4, F7

Figura 40: Instituições do STI do etanol 2G brasileiro, segundo a análise das entrevistas e pesquisa documental (período 2011-2015).

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.2.8 Instituições regulatórias

A análise das entrevistas evidenciou três manifestações institucionais que, do ponto de vista regulatório, influenciaram o último período do processo de formação do STI do etanol 2G: regras de financiamento do PAISS, patentes como instrumento estratégico de competição tecnológica e a adequação do etanol 2G às especificações técnicas da Resolução ANP 19/2015. No caso das duas primeiras cabe observar que nem o edital que formalizou o plano conjunto BNDES/FINEP de apoio financeiro ao etanol 2G, tampouco a lei específica que rege a concessão de patentes no Brasil, foram citadas oralmente pelos entrevistados; no entanto, entende-se que a sua presença implícita não pode ser disconsiderada como contexto dos depoimentos fornecidos por esses representantes dos atores do STI.

O PAISS Industrial foi considerado como o principal catalisador dos três empreendimentos [F1] voltados à produção comercial do etanol 2G – seja em escala comercial ou em escala de demonstração – sem o qual dificilmente haveria estímulo para empresas investirem nesse biocombustível. Os recursos mobilizados pelo PAISS Industrial e PAISS Agrícola, somaram quase R\$ 3 bilhões [F4]. As regras definidas para a operacionalização desse plano conjunto de apoio financeiro estabeleceram como condição obrigatória para se postular os recursos disponibilizados o aproveitamento obrigatório da cana-de-açúcar (palha e bagaço) como biomassa a ser convertida em etanol 2G, o que direcionou a busca tecnológica [F3] dos atores interessados em sua produção para rotas biotecnológicas relacionadas à hidrólise enzimática, cujo estágio desenvolvimento estava mais avançado. Com essa obrigatoriedade tanto a cana-de-açúcar (e, posteriormente, a cana-energia) como, conseqüentemente, os processos enzimáticos de hidrólise, adquiriram legitimidade [F7] no âmbito do STI do etanol 2G, uma vez que tal imposição fez com que, em tese, outras biomassas ou rotas tecnológicas alternativas fossem preteridas ou deslocadas para um segundo plano. Com o advento do PAISS o *locus* da geração e difusão do conhecimento [F2] se deslocou da pesquisa acadêmica para a P&D empresarial, uma vez que o conhecimento tecnológico em processos de pré-tratamento e conversão enzimática de biomassa estava acumulado (e patenteado) em empresas estrangeiras, as quais se tornaram fornecedoras de tecnologia dos três empreendimentos produtivos brasileiros. Ainda assim, as universidades e centros de pesquisa continuaram a dar suporte a esses negócios. Portanto, as funções do STI do etanol 2G às quais as regras do edital do PAISS se vincularam foram F1, F2, F3, F4 e F7.

A segunda manifestação institucional de natureza regulatória identificada na análise diz respeito ao recurso às patentes como forma estratégica de proteção dos conhecimentos gerados pela P&D empresarial [F2]. A análise do conteúdo das entrevistas aponta a existência de uma corrida tecnológica pelo processo de produção de etanol 2G mais eficiente, principalmente, sob o ponto de vista econômico-financeiro, de modo que o produto final apresente competitividade de custos frente ao etanol 1G. Isso tem gerado um movimento das empresas envolvidas na produção do etanol 2G em direção à proteção da propriedade intelectual de suas respectivas tecnologias, uma vez que a tecnologia que se provar vencedora poderá, eventualmente, ser adotada em outras plantas comerciais ou se tornar o padrão tecnológico dessa categoria de biocombustíveis. No Brasil, a legislação que dá suporte à proteção patentária é a Lei 9.279/96 e, portanto, as empresas que requerem patentes no Brasil estão por ela amparadas. Em suma, a função vinculada à instituição regulatória da proteção de patentes é F2.

A terceira manifestação institucional regulatória verificada com base na análise de conteúdo refere-se ao enquadramento do etanol 2G no ambiente regulatório do etanol 1G, para o qual já existe um mercado consolidado e institucionalizado desde a criação do Proálcool em 1975. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a fim de verificar a real necessidade de se ter um arcabouço regulatório específico para a introdução do etanol 2G nesse mercado, conduziu um amplo estudo que contou, inclusive, com uma missão técnica enviada à Dinamarca, país utilizado como referência no consumo do etanol 2G. Os dados colhidos nessa investigação juntamente com os testes de laboratório realizados com etanol 2G produzido no Brasil, levaram a ANP a concluir que esse biocombustível atende às especificações e parâmetros de qualidade estabelecidos pela Resolução ANP 19, de 2015, um dos principais dispositivos jurídicos do quadro regulatório do etanol vigente, que, combinado com as autorizações de construção e operação de novas plantas de produção expedidas pela própria agência, é pré-requisito fundamental para a sua comercialização no país. Por conta desse entendimento, o etanol 2G foi legitimado [F7] pela ANP, ou seja, reconhecido como etanol combustível em condições de ser comercializado no mercado de etanol 1G [F5]. Com isso, a produção das plantas comerciais da GranBio e Raízen passou a ter acesso permitido a um mercado, cuja produção, somente no ano de 2014, atingiu cerca de 28 bilhões de litros. Portanto, a Resolução ANP 19/2015 tem vínculos estabelecidos com as funções F5 e F7.

A Figura 42 mostra esquematicamente os vínculos das instituições regulatórias identificadas e as funções do STI do etanol 2G.

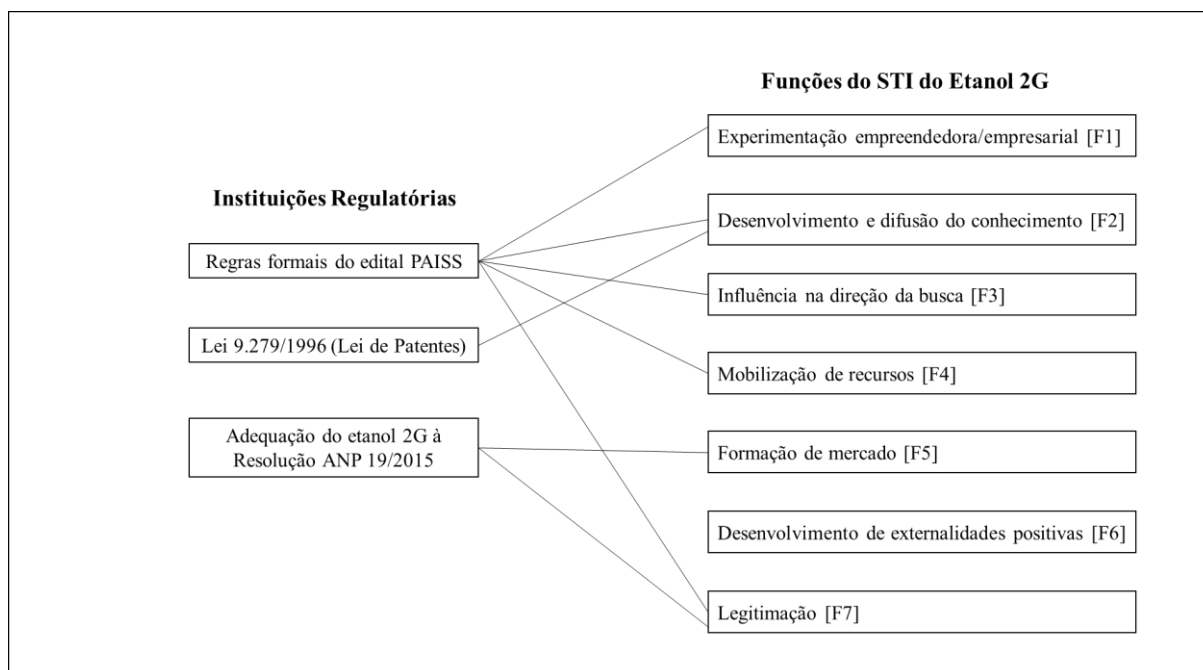


Figura 41: Vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.2.9 Instituições normativas

A interpretação das falas dos entrevistados do grupo contemporâneo sugere a influência de três instituições do tipo normativo no último período da formação, a saber, a economicidade das tecnologias de pré-tratamento e conversão de biomassa, a sustentabilidade ambiental como uma virtude reconhecida do etanol 2G e a P&D empresarial como prática emergente.

A economicidade das tecnologias de produção de etanol 2G, adotadas por GranBio, Raízen e CTC, diferentemente do que foi verificado pela análise documental, passou a ser vista e perseguida como um fator normativo explícito (e não implícito como foi verificado na pesquisa documental) a justificar e legitimar [F7] todo o investimento realizado nas suas respectivas plantas de produção. Entretanto, dados os problemas técnicos enfrentados por essas unidades, a economicidade do etanol 2G ainda encontra-se prejudicada, dificultando a sua competitividade com os custos de produção do etanol 1G. Embora já exista um amplo mercado consumidor formado [F5] no qual o etanol 2G pode ser comercializado, há a percepção de que sem políticas específicas de demanda como, por exemplo, mandatos de adição à gasolina e pagamentos de prêmio sobre o preço final, sua viabilidade estaria comprometida – restando apenas as exportações a mercados pagadores de preço prêmio como alternativa. É por conta dessa situação que os esforços de geração de conhecimentos [F2], por meio de P&D, estão sendo direcionados para a busca [F3] de soluções técnicas para os problemas apresentados pela

etapa de pré-tratamento da biomassa, a qual, segundo relatos, se tornou um dos maiores desafios das empresas envolvidas na produção do etanol 2G não só no Brasil, mas em outras partes do mundo. As funções, portanto, vinculadas à instituição normativa da economicidade são F2, F3, F5 e F7.

A outra instituição normativa identificada com base na análise das entrevistas foi a sustentabilidade ambiental, externalidade positiva [F6] intrínseca ao etanol 2G, que se destaca como uma de suas vantagens competitivas frente aos combustíveis fósseis ou mesmo ao etanol 1G. A análise do conteúdo das entrevistas revela que as virtudes ambientais do etanol 2G, inclusive, foram reconhecidas publicamente pela autoridade máxima do Brasil, a Presidente da República, que, por sua vez, legitimou [F7] oficialmente esse biocombustível ao incluí-lo textualmente no documento de base para a formulação do INDC (*Intended Nationally Determined Contributions*), submetido à COP 21 (realizada em Paris em 2015) com as propostas do governo brasileiro para cumprir com as metas nacionais de redução de emissões de gases de efeito estufa. Desta forma, a instituição da sustentabilidade ambiental, como instituição normativa, se vinculou ao STI do etanol 2G por meio das funções F6 e F7.

Por fim, outra manifestação institucional normativa encontrada na análise das entrevistas foi a P&D empresarial como prática emergente que se impõe ao STI do etanol 2G por conta do deslocamento gradual das atividades de geração e difusão de conhecimentos [F2] das universidades e centros de pesquisa para o interior das principais empresas produtoras de etanol 2G [F1] e de seus fornecedores de tecnologia. Os dados colhidos por meio das entrevistas sugerem que essa mudança de lócus do conhecimento parece estar relacionada com a natureza da corrida tecnológica protagonizada por essas organizações. Ou seja, há uma competição pela tecnologia vencedora que se baseia em segredos industriais e tecnológicos protegidos, sobretudo por patentes [F2], o que dificulta a troca de conhecimentos e informações sobre problemas técnicos que todas elas enfrentam como, por exemplo, a operação eficiente da etapa do pré-tratamento da biomassa nas plantas de produção. Esse, segundo se apurou na análise das entrevistas, é um problema não previsto, cuja solução depende mais dos departamentos de engenharia dessas empresas do que da pesquisa acadêmica, o que talvez explique a aparente diminuição das parcerias com universidades e centros de pesquisa e o papel acessório que essas instituições passaram a ter na P&D do etanol 2G. Em suma, as funções do STI às quais a instituição cultural-cognitiva da P&D empresarial se vinculou foram F1 e F2.

Na Figura 43 tem-se a ilustração dos vínculos que as instituições normativas estabeleceram com o STI do etanol 2G, por meio de suas funções.

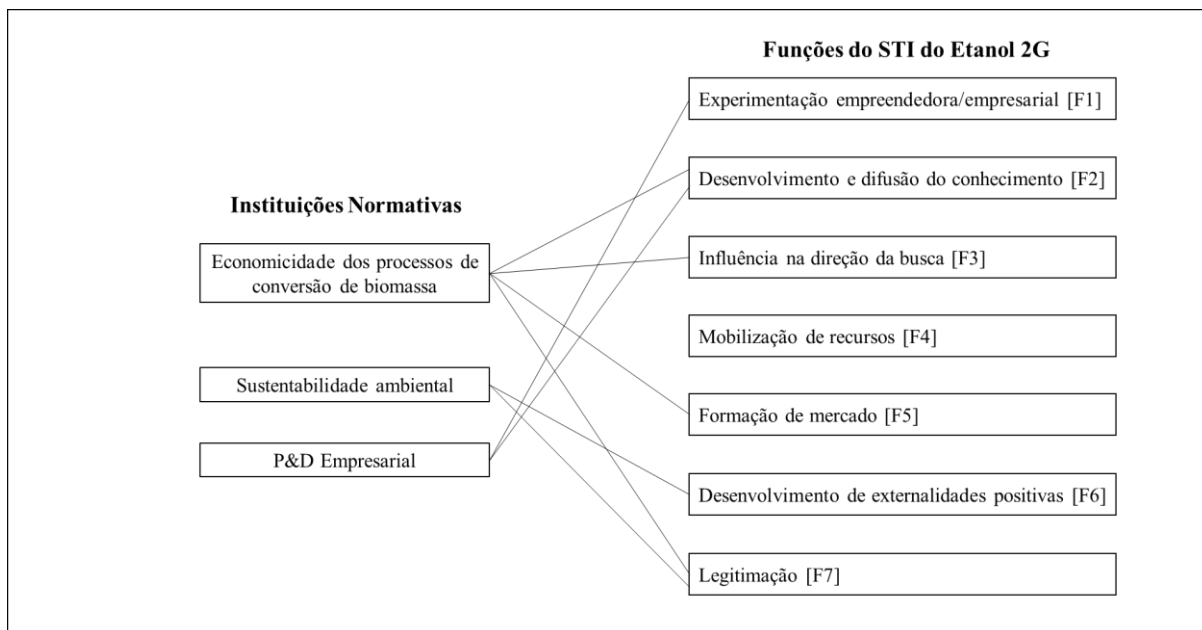


Figura 42: Vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores

Fonte: Dados da pesquisa

3.7.2.10 Instituições cultural-cognitivas

Dois instituições de caráter cultural-cognitivo puderam ser identificadas na interpretação analítica das entrevistas, isto é, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial e o paradigma da biotecnologia industrial.

O paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar foi novamente verificado como força influenciadora das decisões e ações dos atores do STI do etanol 2G. As regras definidas em edital pelo PAISS Industrial direcionaram a busca por tecnologias [F3] em avançado estágio de desenvolvimento que fossem capazes de produzir etanol 2G por meio do aproveitamento da cana-de-açúcar, biomassa eleita por BNDES e FINEP como requisito obrigatório dos planos de negócios submetidos à avaliação dessas duas instituições governamentais pelos postulantes dos recursos disponibilizados. Como resultado disso, os três empreendimentos produtivos [F1] financiados pelo PAISS [F4] foram estabelecidos com base na tecnologia de hidrólise enzimática para a conversão da referida biomassa. A adoção desse processo biotecnológico para produção de etanol 2G, somada a todos esforços de P&D e proteção por patentes [F2] para seu aperfeiçoamento e adaptação às condições brasileiras, consolidou um paradigma tecnológico, cujas origens remontam às pesquisas acadêmicas produzidas no Brasil e em outros países. A maioria dos entrevistados do grupo contemporâneo de atores do STI do etanol 2G considera a hidrólise enzimática como a tecnologia mais promissora para a produção desse biocombustível, em torno da qual a indústria brasileira e

mundial convergir. Esse aparente consenso sobre o prognóstico da tecnologia sugere que a hidrólise enzimática e, no caso brasileiro, a cana-de-açúcar por ser uma cultura energética abundante, alcançaram uma legitimidade no âmbito do STI do etanol 2G e no âmbito governamental para a qual em muito contribuíram o BNDES e a FINEP com o PAISS Industrial. Portanto, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar, como instituição cultural-cognitiva, se vinculou-se ao STI por meio das funções F1, F2, F3, F4 e F7.

O paradigma da biotecnologia industrial mais uma vez foi identificado como força influenciadora da dinâmica formativa do STI do etanol 2G. Compreendida como área aplicada do conhecimento, a biotecnologia industrial estabeleceu as bases técnicas sobre as quais se começou a erigir, com fundamental apoio financeiro [F4] do PAISS Industrial, a promissora indústria de etanol 2G e bioquímicos derivados de biomassa. Atraídas por esse potencial, pelo menos doze empresas que utilizam ou pesquisam e desenvolvem biotecnologias, entre elas as que empreenderam [F1] a produção industrial de etanol 2G (CTC, GranBio e Raízen), se uniram para dar visibilidade a essa vertente da chamada bioeconomia a fim de legitimá-la [F7] politicamente, em especial, perante as autoridades governamentais. O resultado desse processo coletivo foi a criação da Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), entidade criada para interagir e dialogar com o governo federal com vistas à formulação de políticas públicas e quadro regulatório que dêem segurança ao desenvolvimento da área no Brasil. Outro fórum de legitimação articulado pelos associados da ABBI foi o comitê de biotecnologia, criado no âmbito da estrutura de funcionamento da Frente Parlamentar da Química, coalizão política vinculada à Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM). As funções do STI do etanol 2G que, em suma, se vinculam à instituição cultural-cognitiva paradigma da biotecnologia industrial são F1, F4 e F7.

A Figura 44 mostra as relações de vinculação entre as instituições cultural-cognitivas encontradas na análise e as funções do STI do etanol 2G.

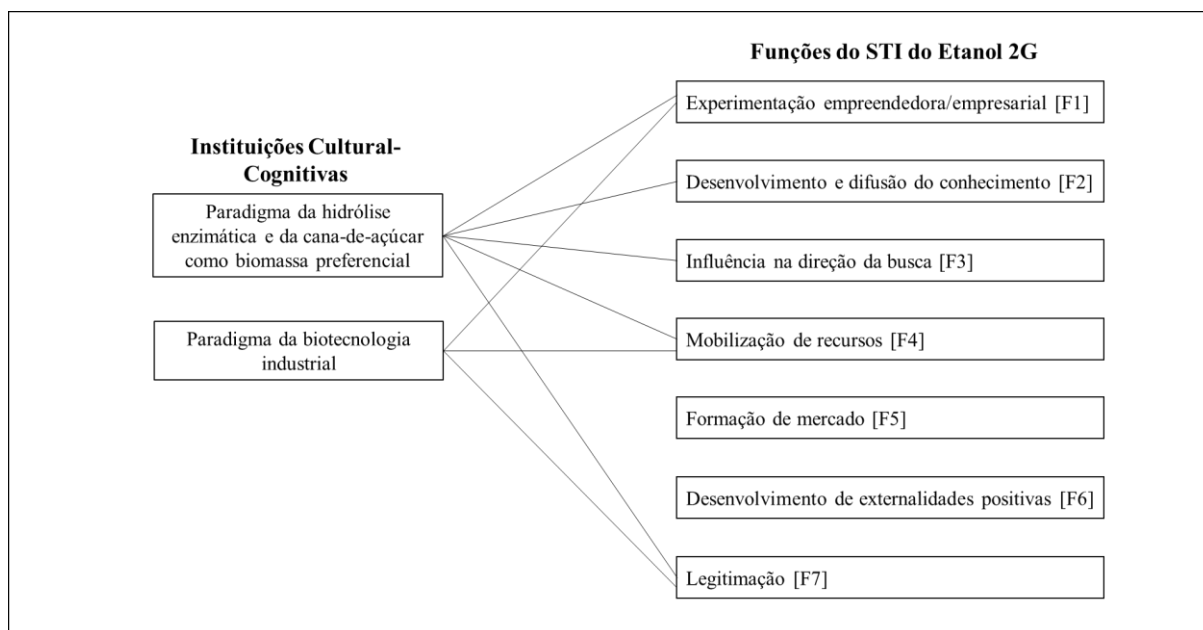


Figura 43: Vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G (período 2011-2015), segundo a análise das entrevistas do grupo contemporâneo de atores

Fonte: Dados da pesquisa

3.8 Análise consolidada dos resultados

Após proceder-se à descrição da formação do STI do etanol 2G brasileiro, torna-se possível discutir os resultados encontrados de maneira consolidada, ou seja, examinando-se a influência das instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas nesse processo e sua relação com as funções desse sistema de inovação. Para tanto, faz-se necessária a junção dos achados das etapas de análise documental e análise de conteúdo de modo que se tenha uma representação completa da influência institucional sobre o STI estudado em cada um dos três períodos de sua evolução.

A seguir, serão apresentados os achados de cada um dos três períodos analisados, de modo a apresentar de forma geral a influência exercida pelas instituições no processo de formação do STI do etanol 2G. Os períodos 1975-1986 e 2011-2015 foram examinados com base em documentos e entrevistas, enquanto o período 1987-2010 teve sua análise realizada somente com base em documentos. As relações de influência estabelecidas entre as instituições identificadas e as funções do STI do etanol 2G estão representadas com cores distintas de modo a indicar se a influência institucional foi verificada na análise documental (setas vermelhas), na análise das entrevistas (setas azuis) ou em ambas as fontes de evidências (setas pretas).

3.8.1 Período 1975-1986

No período 1975-1986 as instituições regulatórias tiveram papel importante na gênese do STI do etanol 2G, pois forneceram o arcabouço legal que deu amparo a diferentes atividades

e processos que permitiram a ação e interação de múltiplos atores da área governamental, da pesquisa científica e tecnológica e da iniciativa privada no que concerne à tentativa de viabilizar técnica e economicamente a produção de etanol de biomassa celulósica. Os dados da pesquisa mostram que dentre as cinco manifestações institucionais regulatórias identificadas, duas em especial foram decisivas para a formação do STI: o decreto de criação do Proálcool e os dispositivos legais que criaram a COALBRA.

O decreto de criação do Proálcool, programa governamental que marcou o início do desenvolvimento da indústria de etanol (1G) combustível no Brasil, foi o instrumento regulatório que não somente institucionalizou a produção e consumo desse biocombustível no país, como também dinamizou todas as funções do STI do etanol 2G. Foi do Proálcool que se originaram os incentivos e recursos para que as atividades de pesquisa científica e tecnológica sobre etanol 2G fossem começadas e ampliadas no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), vinculado à época ao Ministério da Indústria e do Comércio (MIC). Esse instituto de pesquisa tecnológica foi pioneiro em trazer o conhecimento soviético em hidrólise ácida para o Brasil e em criar a linha de investigação que deu origem à construção, no início dos anos 1980, da principal planta-piloto de etanol de madeira existente no país naquela década: a COALBRA.

A lei e decreto que criaram a empresa COALBRA foram outro exemplo de manifestação institucional regulatória a influenciar os rumos do desenvolvimento do STI do etanol 2G no Brasil, à medida que deu respaldo legal para que o governo brasileiro se lançasse em uma iniciativa de empreendedorismo estatal. Apesar do insucesso, o projeto COALBRA exerceu importante influência na formação do STI do etanol 2G à medida que mobilizou recursos financeiros e humanos que avançaram a P&D em hidrólise ácida no Brasil, necessária à adaptação da tecnologia soviética às condições brasileiras, bem como abriu a oportunidade de se testar inovações tecnológicas na produção de etanol combustível no país.

As demais instituições regulatórias identificadas, ou seja, a portaria que criou a Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), o decreto que passou a gestão do Fundo Nacional de Tecnologia (FUNAT) para a Secretaria de Tecnologia Industrial e o código de propriedade industrial tiveram uma contribuição menos expressiva para a formação do STI do etanol 2G, mas não menos importante. A criação da FTI, sobretudo a construção de sua planta-piloto na cidade de Lorena (SP), foi fundamental para a continuidade das pesquisas iniciadas no INT sobre o processo de hidrólise ácida de biomassas, tornando-se, inclusive, uma unidade experimental de referência no processo de pré-tratamento de biomassa conhecido como *steam explosion*. A construção e operação dessa planta, bem como as pesquisas nela realizadas, foram

viabilizadas com recursos do FUNAT, particularmente quando a gestão desse fundo foi transferida para a Secretaria de Tecnologia Industrial, órgão governamental responsável pelo estímulo ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil. Por fim, o código de propriedade industrial foi o arcabouço jurídico que amparou legalmente as inovações criadas com base nas pesquisas realizadas no período 1975-1986, protegendo os direitos de propriedade intelectual de processos tecnológicos que estavam na fronteira do conhecimento existente sobre conversão de biomassa lignocelulósica em etanol.

As funções do STI do etanol 2G que foram particularmente influenciadas pelas instituições regulatórias identificadas no período 1975-1986 foram as de desenvolvimento e difusão de conhecimento [F1] e mobilização de recursos [F4]. A primeira reflete o dinamismo da pesquisa aplicada promovida principalmente pelo INT e FTI, mas também as atividades de P&D de outros atores como UNICAMP (CODETEC), Dedini e a própria COALBRA. A mobilização de recursos, por sua vez, diz respeito não apenas ao volume de recursos financeiros que foram disponibilizados pelo Proálcool para o início das pesquisas em etanol 2G e pela FUNAT para a implantação e operação da planta-piloto da FTI em Lorena (SP), mas, principalmente, ao significativo montante de US\$ 12 milhões investidos no projeto, construção e operação da planta demonstrativa da COALBRA em Uberlândia (MG).

As funções experimentação empreendedora/empresarial [F1] e influência sobre a direção da busca [F3] se desenvolveram da seguinte maneira. A função F1 foi dinamizada, principalmente, pela iniciativa empreendedora da COALBRA, mas também por um pequeno empreendimento de curta duração baseado na emergente tecnologia de hidrólise enzimática: a Bioferm. A função F3 refletiu a orientação e o comprometimento da pesquisa aplicada desenvolvida por INT/FTI, UNICAMP, COALBRA e Dedini com a rota de hidrólise ácida em detrimento da rota enzimática, o que, apesar de iniciativas como a própria Bioferm e o Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas (SHEB), fez com que a trajetória da pesquisa e produção em etanol 2G no Brasil fosse definida em torno da tecnologia trazida da União Soviética, embora com adaptações para o aproveitamento de matérias-primas brasileiras: primeiramente o eucalipto e, em seguida, o bagaço da cana-de-açúcar.

As funções formação de mercado [F5], desenvolvimento de externalidades positivas [F6] e legitimação [F6] tiveram desenvolvimentos influenciados pelas instituições regulatórias, porém de menor importância para a formação do STI do etanol 2G. Ou seja, por se tratar de um STI recém surgido, a formação de mercado para o etanol 2G ainda não era uma preocupação para os atores envolvidos em seu desenvolvimento, suas externalidades positivas não eram

reconhecidas ou valorizadas e, por não ser um biocombustível técnica e economicamente viável, não estava, portanto, legitimado socialmente.

A Figura 45 ilustra as relações estabelecidas pelas instituições regulatórias e as funções do STI do etanol 2G.

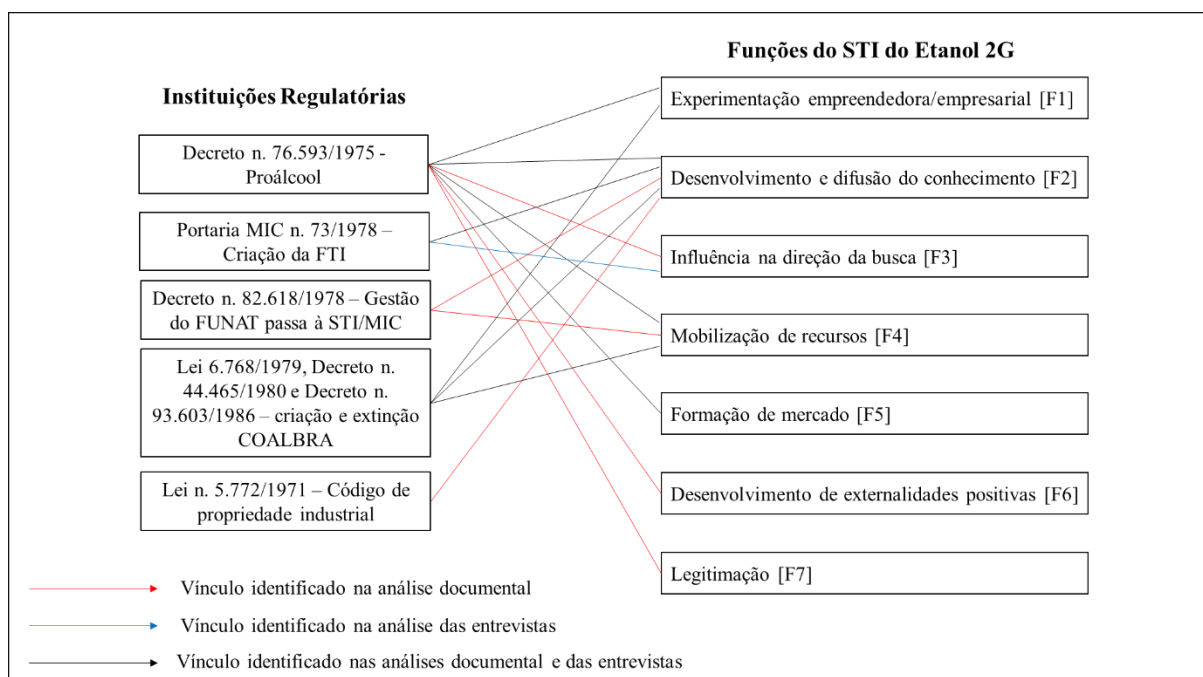


Figura 44: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.

Fonte: Dados da pesquisa

Apenas uma manifestação institucional normativa foi identificada ao longo do período 1975-1986, ou seja, a economicidade relativa aos processos de conversão de biomassa em etanol desenvolvidos no Brasil ou trazidos da União Soviética. A busca por economicidade passou a ser norma uma vez que para competir com o etanol 1G, produzido pelo processo fermentativo tradicional do caldo (ou melaço) da cana-de-açúcar, o etanol 2G de madeira deveria ter um custo de produção equivalente ou inferior àquele tipo de etanol. Essa necessidade foi externada por estudos produzidos pelo INT, CETEC e USP, tendo implicações para o STI do etanol 2G em termos das seguintes funções: experimentação empreendedora/empresarial [F1], desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], influência sobre a direção da busca [F3], mobilização de recursos [F4] e legitimação [F7].

Essas cinco funções foram influenciadas pela norma da economicidade da seguinte maneira. Os estudos realizados pelas instituições mencionadas, ao avaliarem os custos e os aspectos técnicos associados ao processo de produção de etanol 2G de madeira, ofereceram os parâmetros mínimos para a verificação do seu desempenho econômico frente ao etanol 1G. Isso

parece ser uma evidência de que a economicidade passou a ser um dos critérios principais na avaliação da viabilidade de empreendimentos como os da COALBRA e Bioferm [F1], ou ainda de projetos de P&D [F2] como a primeira fase do projeto ACOS da Dedini. Os resultados obtidos por essas iniciativas não resistiram ao teste da economicidade e, por essa razão, não foram capazes de contribuir para a legitimação [F7] da hidrólise ácida como tecnologia competitiva e segura para a produção de etanol 2G. Ainda assim, essas experiências serviram como balizas para a (re)orientação da direção da busca [F3] por soluções tecnológicas promissoras em termos de custos que justificassem os recursos financeiros [F4] investidos em seu desenvolvimento.

A influência da economicidade dos processos de conversão de biomassa sobre as funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986 está representada na Figura 46. Conforme pode ser verificado nessa figura, as funções formação de mercado [F5] e desenvolvimento de externalidades positivas [F6] não sofreram influência dessa instituição normativa.

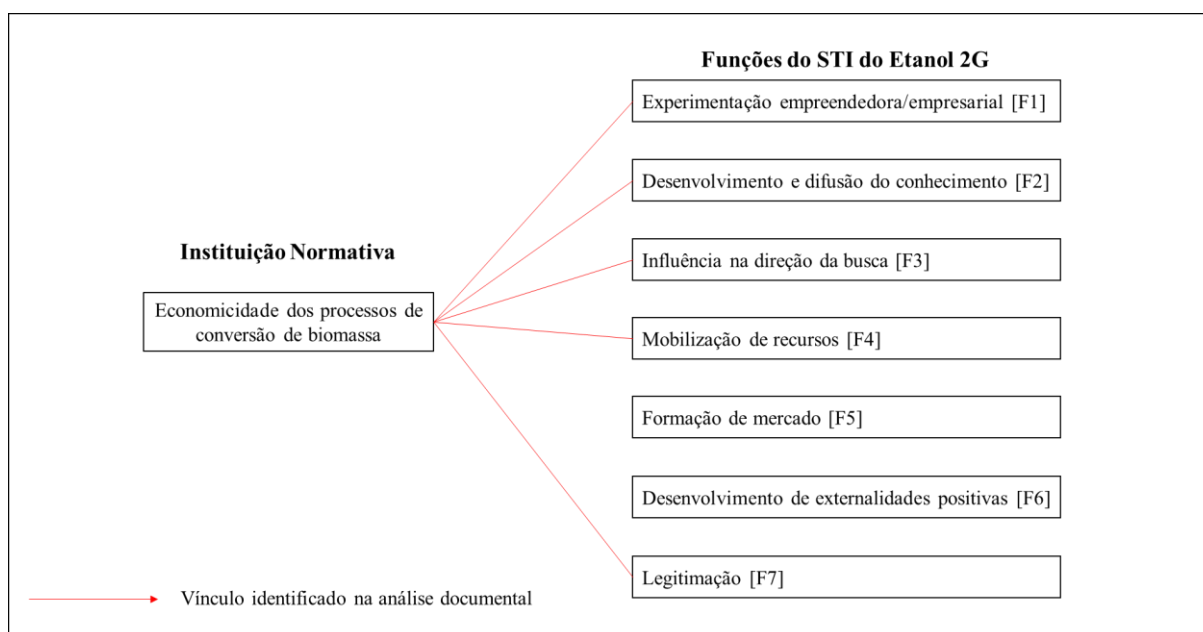


Figura 45: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.

Fonte: Dados da pesquisa

Entre os tipos institucionais analisados nesta pesquisa, as instituições cultural-cognitivas foram as que, aparentemente, tiveram maior influência na dinâmica funcional do STI do etanol 2G em seu primeiro período de formação. Quatro manifestações institucionais dessa natureza foram verificadas na análise de dados: independência energética, nacionalismo tecnológico, paradigma da hidrólise ácida e paradigma da hidrólise enzimática.

Todas as quatro instituições compartilham entre si o caráter paradigmático, isto é, refletem um conjunto de crenças que serviram de modelo orientador seguido pelos atores do STI do etanol 2G. A independência energética e o nacionalismo tecnológico, por exemplo, foram duas formas institucionais que deram legitimidade ao programa Próalcool em 1975, à medida que refletiam o ideal do governo militar, à época, de superar a crise do petróleo de 1973/1974 mediante o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas e disponíveis no território brasileiro com base na formação de competências científicas e tecnológicas essencialmente nacionais.

A implementação do Próalcool contribuiu para que isso se tornasse realidade, uma vez que estimulou a iniciativa privada e as instituições de pesquisa brasileiras a tornarem viável a produção e consumo em grande escala de etanol combustível(1G) baseado em cana-de-açúcar. O etanol 2G foi consequência desse processo também, pois receoso de que o Brasil se tornasse altamente dependente da cana-de-açúcar para a produção de etanol 1G (assim como era dependente do petróleo e gasolina importados), o governo brasileiro alocou recursos para a pesquisa sobre outras biomassas com potencial energético tais como a mandioca e madeira. Foram esses recursos financeiros, portanto, que apoiaram a pesquisa pioneira do INT em hidrólise ácida e, permitiram, a partir daí, que diversos experimentos e desenvolvimentos tecnológicos concorressem para que o etanol 2G pudesse ser produzido no Brasil nas escalas de laboratório, piloto e de demonstração nos anos 1980.

Os paradigmas da hidrólise ácida e enzimática, por sua vez, refletiram crenças em rotas tecnológicas específicas, segundo o entendimento compartilhado entre pesquisadores, agentes governamentais, consultores e profissionais especializados. No período 1976-1986 predominou o paradigma da hidrólise ácida introduzido no Brasil com base em material técnico trazido da União Soviética pelo professor João Consani Perrone, pesquisador do INT e da UFRJ. O processo de hidrólise ácida, tal qual era utilizado naquele país, foi reproduzido primeiro em escala de laboratório no INT e, depois, em escala piloto pela FTI em Lorena (SP). No âmbito empresarial, esse mesmo processo foi desenvolvido pela UNICAMP (CODETEC) em parceria com a Villares S.A. e estudado pela Dedini na primeira fase do projeto ACOS. Contudo, o ápice da influência do paradigma da hidrólise ácida no Brasil, no período 1975-1986, foi a construção e operação da planta demonstrativa da COALBRA, em Uberlândia (MG), com a utilização da tecnologia fornecida pelo Instituto de Hidrólise de Leningrado.

O paradigma da hidrólise enzimática emergiu paralelamente ao da hidrólise ácida circunscrito a uma pequena comunidade de pesquisadores que passou a se reunir

periodicamente no Seminário Brasileiro de Hidrólise Enzimática (SHEB) para a apresentação dos resultados de suas pesquisas. Antes mesmo que a primeira edição do SHEB viesse a acontecer em 1983, a empresa Bioferm, criada pela BIOBRAS no final dos anos 1970, operou uma planta-piloto de produção de etanol 2G baseada na hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar, mas que não se mostrou viável economicamente. Mesmo após esse insucesso e de ter reorientado sua atuação para outros mercados, a Bioferm foi um ator-chave para tornar a pesquisa em hidrólise enzimática possível no Brasil, uma vez que forneceu enzimas para diferentes pesquisadores da área em um momento em que o controle do suprimento desse insumo estava concentrado em poucas empresas estrangeiras. Entretanto, ainda que fosse considerada uma rota tecnológica promissora e ambientalmente correta, a pesquisa em hidrólise enzimática ainda estava concentrada na academia sem nenhuma perspectiva imediata de aplicação industrial. Em outras palavras, ainda não estava avançada o suficiente para superar a dominância do paradigma da hidrólise ácida sobre a P&D desenvolvida à época.

As instituições cultural-cognitivas identificadas no período 1975-1986 exerceram forte influência em todas as sete funções do STI do etanol 2G, principalmente por conta da interpenetração da independência energética e do nacionalismo tecnológico nas atividades desse sistema de inovação. Embora deva ser salientado que essas duas instituições estavam diretamente relacionadas com o setor produtor do etanol 1G, sua repercussão sobre o desenvolvimento do etanol 2G foi notória. Ou seja, as pesquisas e investimentos em unidades de produção em escala piloto ou demonstrativa para produzir etanol 2G contavam com recursos financeiros governamentais que, em última instância, encontravam respaldo no argumento de sua contribuição para a independência energética e do desenvolvimento tecnológico nacional.

Se as instituições independência energética e nacionalismo tecnológico fossem excluídas da análise, a fim de considerar-se apenas as instituições diretamente relacionadas com etanol 2G, seria verificado que os paradigmas da hidrólise ácida e da hidrólise enzimática influenciaram todas as funções, exceto legitimação. Nesse caso, seria constatado que tais instituições teriam influenciado mais intensamente as funções desenvolvimento e difusão de conhecimento [F2] e influência sobre a direção da busca [F3], o que parece ser coerente com o estágio de formação do STI do etanol 2G, em que as atividades de geração de conhecimento por meio de pesquisas e a busca por soluções tecnológicas eficientes e eficazes são requisitos primordiais.

Porém, consideradas conjuntamente as quatro instituições cultural-cognitivas identificadas no período 1975-1986, conclui-se que estas influenciaram, principalmente, as

funções desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], influência da direção da busca [F3] e legitimação [F7]. Ou seja, essas instituições juntas contribuíram para que fossem priorizadas na primeira fase da formação do STI do etanol 2G as atividades de P&D [F2], as quais, por conta da dominância do paradigma da hidrólise ácida, foram direcionadas [F3] particularmente para essa rota na expectativa de legitimá-la [F7] como tecnologia mais adequada para a produção de etanol 2G no Brasil.

Na Figura 47 tem-se a representação de como as instituições cultural cognitivas identificadas no período 1975-1986 influenciaram as funções do STI do etanol 2G.

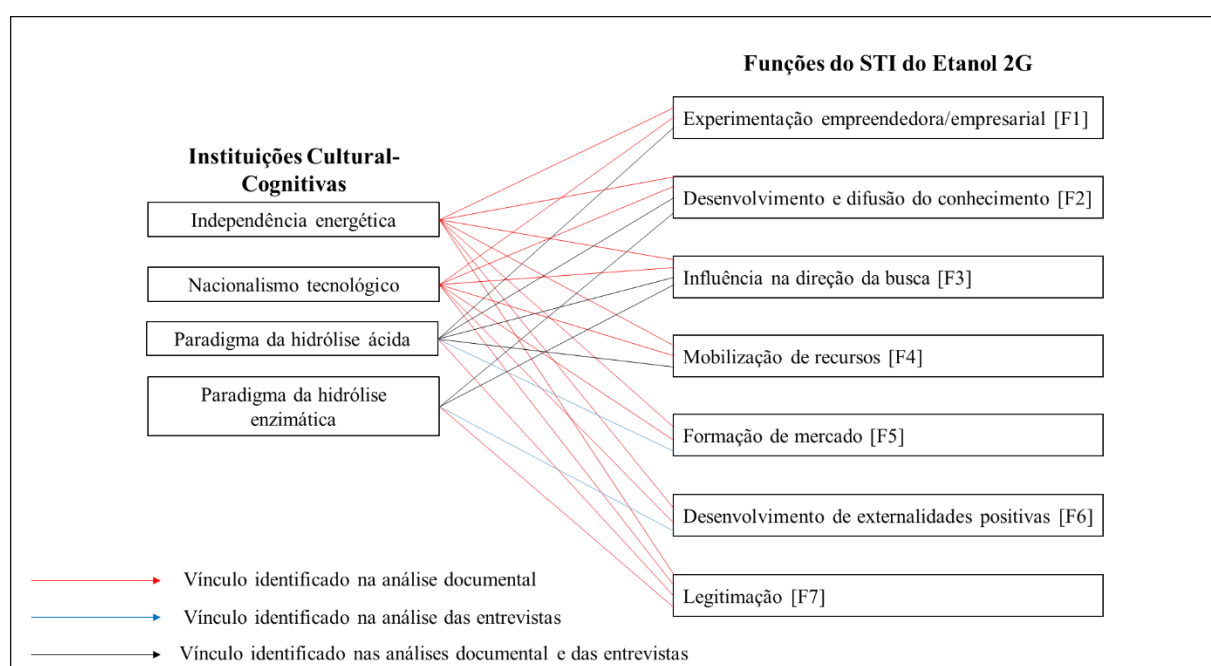


Figura 46: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1975-1986.

Fonte: Dados da pesquisa

3.8.2 Período 1987-2010

O período 1987-2010, o mais longo dos três intervalos temporais examinados, foi marcado por duas fases, a insistência na hidrólise ácida e a transição tecnológica definitiva para a hidrólise enzimática. A primeira fase corresponde ao período entre 1987 a 2002 em que a empresa Dedini, dando continuidade ao projeto ACOS, se dedica ao desenvolvimento de um processo de conversão de biomassa em etanol, baseado em hidrólise ácida e bagaço de cana-de-açúcar. Esse esforço de P&D culmina na participação do CTC como instituição de pesquisa parceira e no apoio da FAPESP como fonte de recursos para a construção de uma planta demonstrativa para a operação pré-comercial da tecnologia Dedini Hidrólise Rápida (DHR). A segunda fase refere-se ao período compreendido entre 2003 e 2010 em que começa a haver, no

Brasil, um esforço por parte do governo federal, da FAPESP e de empresas no sentido de apoiar o desenvolvimento de processos de produção de etanol 2G baseados em hidrólise enzimática.

Foram constatadas seis manifestações institucionais de caráter regulatório entre 1987 e 2010 que exerceram forte influência na trajetória tecnológica do STI do etanol 2G. Quatro delas referem-se ao que foi identificado como regras formais, ou seja, especificações ou critérios definidos formalmente que foram responsáveis pelo direcionamento da alocação de recursos públicos para projetos de pesquisa voltados à busca de soluções tecnológicas capazes de viabilizar a produção de etanol 2G no Brasil. Exemplo disso foi a FAPESP com o seu programa Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (PITE) e com as chamadas de propostas de pesquisa FAPESP-Oxiteno-BNDES e FAPESP-Dedini.

Com base nos dados analisados, foi possível verificar que as regras formais do PITE contribuíram para garantir a continuidade do projeto Dedini Hidrólise Ácida (DHR), desenvolvido pela empresa Dedini desde os anos 1980, uma vez que, entre outras exigências, estabeleciam que a empresa beneficiada pelo programa estivesse obrigatoriamente vinculada a uma instituição de pesquisa qualificada a receber recursos da FAPESP. Como, desde 1997, a Dedini mantinha uma parceria com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) para o desenvolvimento da tecnologia DHR, a empresa se enquadrou às regras fixadas e, portanto, pôde firmar convênio para obter os recursos (R\$ 3.8 milhões) que foram investidos na construção de uma planta de etanol 2G em escala de demonstração. O conjunto de regras formais do programa PITE serviram de base para a elaboração, pela própria FAPESP, de duas chamadas de propostas de pesquisas a serem desenvolvidas em conjunto com as empresas Oxiten e Dedini: a FAPESP-Oxiteno-BNDES e a FAPESP-Dedini.

Os dados da pesquisa sugerem ainda que, embora essas empresas estivessem explicitamente interessadas no avanço da hidrólise ácida como tecnologia mais viável para a produção de etanol 2G, em suas respectivas chamadas de propostas a hidrólise enzimática estava contemplada como linha temática, o que sinaliza o início do redirecionamento formal da agenda de P&D para essa rota biotecnológica.

O edital CNPq 006/2009 Programa de Cooperação Brasil e União Europeia na Área de Biocombustíveis de Segunda Geração exerceu influência parecida no redirecionamento da pesquisa para a hidrólise enzimática. Ainda que as regras desse edital possibilitassem a submissão de propostas de pesquisa tanto na área de hidrólise ácida quanto na área de hidrólise enzimática, a segunda foi a favorecida, uma vez que os dois grandes projetos aprovados no

âmbito do referido edital versavam sobre produção de etanol 2G pela via enzimática. Cabe ressaltar, porém, que esse edital refletia em grande medida os interesses de pesquisadores e empresas europeus, já que, além dos recursos disponibilizados serem provenientes da União Europeia, uma das exigências para a submissão de propostas de projetos de pesquisas era a de que estas deveriam estar coordenadas com propostas europeias submetidas ao edital da Diretoria Geral de Pesquisa da União Europeia *FP7-Energy-2009-Brazil: Energy Second Generation Biofuels – EU Brazil Coordinated Call* (no contexto do 7º Programa Quadro de P&D da Comissão Europeia na área de energia).

Outras duas manifestações de instituições regulatórias foram identificadas no período 1987-2010: a “cláusula do 1%” estabelecida pela Lei do Petróleo e operacionalizada pela ANP e o novo código de propriedade industrial sancionado em 1996. Embora a cláusula do 1% não seja exclusivamente voltada ao financiamento da pesquisa em etanol 2G, disponibilizou recursos financeiros significativos que apoiaram o avanço da geração de conhecimentos em processos de conversão de biomassa. Um dos projetos que, individualmente, recebeu mais recursos provenientes dessa cláusula foi o “Programa de pesquisa para manufatura de biocombustíveis de segunda geração a baixo custo e alta sustentabilidade no Brasil: tecnologia integrada de pré-tratamento e hidrólise”, desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP [F2], com recursos aportados pela empresa Shell no montante aproximado de R\$ 13 milhões, dos quais R\$ 9 milhões foram destinados à construção de um laboratório de caracterização de biomassas. A outra forma de instituição regulatória identificada foi o novo código de propriedade industrial, assim chamado porque em 1996 sofreu uma atualização que, entre outras mudanças, abriu a possibilidade para o registro de patentes baseadas em biotecnologia (microrganismos). Foi sob esse novo arcabouço jurídico que tecnologias como o Dedini Hidrólise Rápida (DHR) e todas as outras patentes requeridas de 1996 em diante foram amparadas legalmente no Brasil.

As funções mais influenciadas pelas instituições regulatórias acima descritas foram desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], influência sobre a direção da pesquisa [F3] e mobilização de recursos [F4], padrão também verificado no período 1975-1986, embora com uma intensidade menor. Isso se justifica pelo fato de que, exceto pelo novo código de propriedade industrial, todas as instituições regulatórias identificadas estão associadas com fontes de recursos financeiros (Programa PITE, chamadas de proposta FAPESP, edital CNPq) voltados à pesquisa [F2] que, além de financiá-la com significativos montantes [F4], contribuíram para moldar o direcionamento [F3] das investigações tecnológicas a serem

realizadas (hidrólise ácida ou hidrólise enzimática). As funções formação de mercado [F5] e desenvolvimento de externalidades positivas [F6] não foram mobilizadas no período.

A Figura 48 oferece a representação de como as instituições regulatórias verificadas entre 1987 e 2010 se vincularam às funções do STI do etanol 2G.

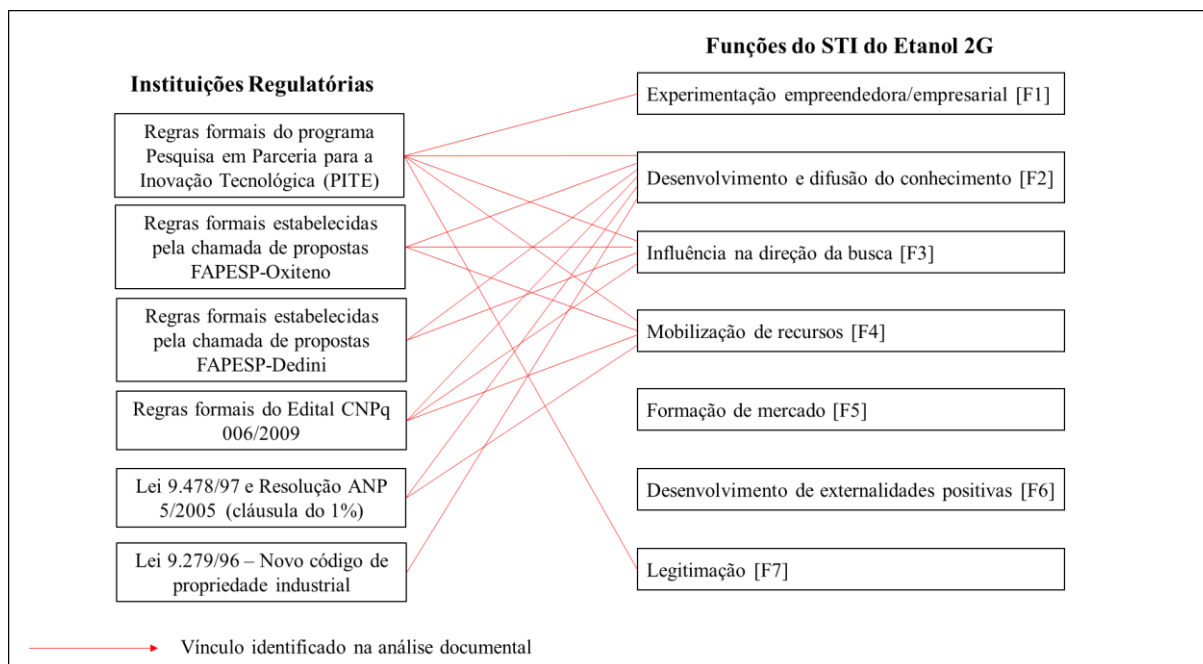


Figura 47: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

Fonte: Dados da pesquisa

No que diz respeito às instituições normativas, os dados permitem evidenciar que três delas exerceram influência no processo formativo do STI do etanol 2G no período 1987-2010, isto é, a economicidade dos processos de conversão de biomassa, a sustentabilidade ambiental e a internacionalização das pesquisas e das parcerias tecnológicas.

Tal como ocorreu no período 1975-1986, a norma da economicidade permaneceu influenciando a formação do STI do etanol 2G, especialmente ao longo do processo de desenvolvimento da tecnologia DHR por parte da Dedini. As evidências mostram que essa empresa, objetivando o aprimoramento de sua tecnologia, sobretudo sob o ponto de vista da eficiência econômica, pleiteou financiamento da FAPESP para testá-la em escala de demonstração. Construída a planta de demonstração, a sua operação evidenciou que o custo final de produção do etanol 2G não era competitivo quando comparado ao etanol 1G. Além disso, outro problema que impactava a economicidade do processo DHR era a abrasão e corrosão do equipamento utilizado, o que exigiria mais investimentos caso o seu

desenvolvimento fosse continuado. Por conta disso, a tecnologia da Dedini não resistiu ao teste da economicidade e, portanto, teve seu desenvolvimento descontinuado.

No caso das pesquisas realizadas com hidrólise enzimática [F2], a economicidade aparentemente não era uma prioridade, embora estivesse implícita como desafio a ser superado, uma vez que o etanol 2G sempre teve como *benchmark* os custos de produção do etanol 1G – ou seja, a legitimidade do etanol 2G por hidrólise enzimática (ou mesmo hidrólise ácida) dependeria de sua competitividade com o etanol 1G para ser bem sucedido comercialmente. Porém, a interpretação dos dados referentes ao período 1987-2010 sugere que, por se tratar de uma linha de investigação emergente no Brasil, a prioridade de pesquisadores e governo estava mais focada na busca do nivelamento (ou superioridade) do Brasil em relação ao estado da arte internacional da pesquisa científica e tecnológica em etanol produzido por hidrólise enzimática, do que propriamente com o atendimento da norma da economicidade.

A sustentabilidade ambiental foi outra instituição normativa encontrada como influenciadora da formação do STI do etanol 2G, em especial, a partir dos anos 2000. Refletindo o imperativo ambiental propalado por todo o mundo desde o início da década de 1990 em diante, essa norma estava implícita no apoio governamental e no interesse de pesquisadores em desenvolver a hidrólise enzimática de biomassa no Brasil, rota tecnológica reconhecida como ambientalmente correta pelos relatórios de avaliação do clima produzidos pelo IPCC da ONU em 2001 e 2007. Provavelmente influenciados por esse entendimento, estudos encomendados pelo governo brasileiro recomendaram a estruturação da P&D em etanol 2G no país para o desenvolvimento, principalmente, de conhecimentos em hidrólise enzimática. O argumento da sustentabilidade ambiental contido nessas recomendações, juntamente com as justificativas técnica e estratégica, foi acolhido pela esfera governamental, o que contribuiu para que recursos públicos fossem alocados às atividades de P&D em hidrólise enzimática no Brasil entre 2006 e 2010.

A internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas, a terceira instituição normativa identificada, parece ter sido outra força a moldar a evolução do STI do etanol 2G, sobretudo a partir dos anos 2000. Os dados analisados permitem inferir que, em virtude da execução de projetos de pesquisa de grande envergadura e da formação de parcerias tecnológicas entre empresas interessadas no desenvolvimento da rota enzimática para produção de etanol 2G, iniciou-se um significativo processo de internacionalização envolvendo diferentes atores do STI. A internacionalização nesse processo parece se impor como norma, pois se apresentou como o meio mais óbvio para se ter acesso ao estado da arte do conhecimento

científico e tecnológico em hidrólise enzimática, bem como para se trocar conhecimentos sobre diferentes fontes de biomassa existentes no mundo. Universidades e empresas do STI do etanol 2G adotaram esse caminho evidenciado na pesquisa por conta de projetos como o Bioetanol, CEPROBIO, ProEthanol 2G e CANEBIOFUEL, ou ainda parcerias tecnológicas como as estabelecidas entre Novozymes e CTC ou Petrobras e KL Energy.

As funções do STI que sofreram maior influência por conta desses desenvolvimentos institucionais normativos foram desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] e mobilização de recursos [F4]. A economicidade, sustentabilidade ambiental e internacionalização tornaram-se no período 1987-2010 características inerentes ao processo de produção de conhecimento sobre etanol 2G [F2] no Brasil, sobretudo dos projetos de P&D em hidrólise enzimática, rota tecnológica que se apresentava com maiores chances de ser eficiente economicamente, oferecia maiores benefícios ambientais e já contava com grande volume de conhecimentos acumulados internacionalmente. Em função disso, a hidrólise passou a receber maior quantidade de recursos [F4] públicos e privados para o seu desenvolvimento do que a hidrólise ácida, principalmente após 2007, quando esta se provava inviável.

A economicidade dos processos de conversão de biomassa e a sustentabilidade ambiental influenciaram também a função legitimação [F7], pois ambas serviram como critérios contra os quais decidir qual das rotas tecnológicas concorrentes seria vitoriosa. Individualmente, a instituição normativa da economicidade influenciou a função experimentação empreendedora/empresarial [F1], pois foi um dos critérios que orientou a Dedini, o CTC e a FAPESP a investirem recursos humanos e financeiros na construção e operação de uma planta demonstrativa. Já a instituição da sustentabilidade ambiental, individualmente, produziu efeitos na função influência sobre a direção da busca [F3] – visto que contribuiu para orientar a busca por processos de obtenção de etanol 2G que fossem sustentáveis – e na função desenvolvimento de externalidades positivas [F6], uma vez que a rota tecnológica da hidrólise enzimática passou a ser reconhecida como a que era mais ambientalmente correta frente, por exemplo, à rota da hidrólise ácida.

Nenhum evento foi identificado que indicasse iniciativas no sentido de promover a formação de mercado entre 1987-2010. Portanto, essa função não foi mobilizada, tampouco influenciada pelas instituições normativas identificadas nesse período.

A Figura 49 ilustra os vínculos de influência estabelecidos entre as instituições normativas e as funções do STI no período 1987-2010.

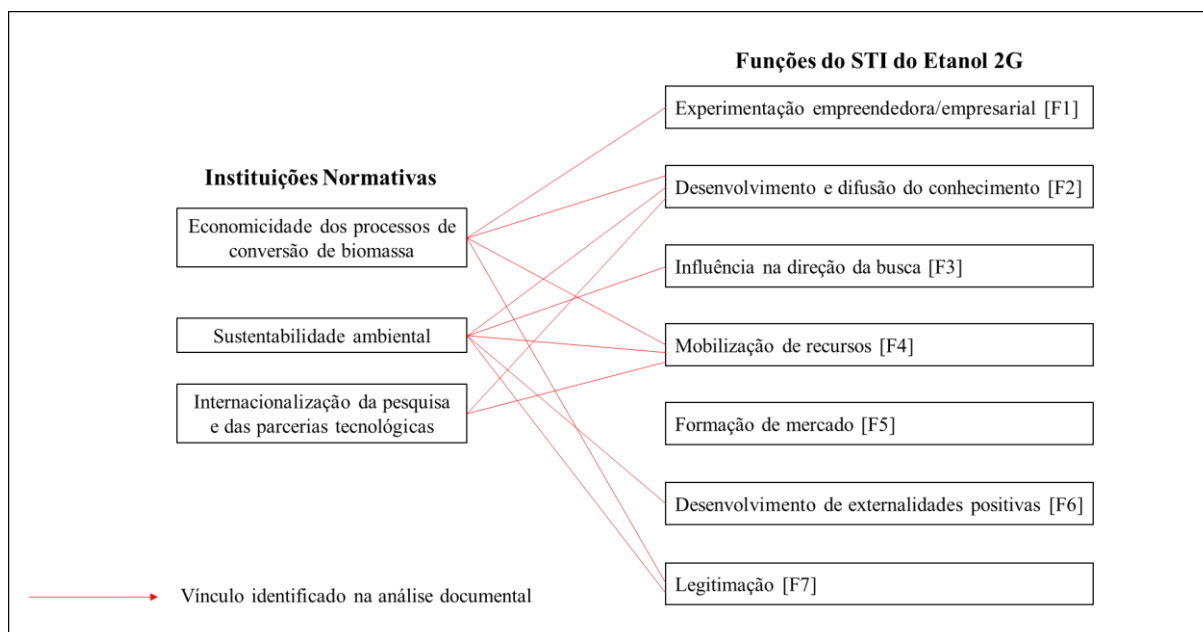


Figura 48: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação às instituições cultural-cognitivas, a pesquisa apontou a co-existência de três paradigmas ao longo do período 1987-2010, a saber, o paradigma da hidrólise ácida, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar e o paradigma da pesquisa em rede.

O paradigma da hidrólise ácida que estava na base da formação do STI do etanol 2G na segunda metade dos anos 1970, permaneceu a influenciar os desenvolvimentos desse sistema de inovação por toda a década de 1990 e primeira metade dos anos 2000. Orientada por esse paradigma, a empresa Dedini insistiu em sua viabilização durante aproximadamente vinte anos. A última etapa de seu comprometimento com essa rota tecnológica ocorreu em 2002 quando, por meio de uma parceria com o CTC, obteve apoio financeiro da FAPESP para construir e testar sua tecnologia DHR em uma planta industrial em escala de demonstração que, por sua vez, não se provou viável técnica e economicamente.

O insucesso dessa planta demonstrativa, por si, não foi suficiente para enfraquecer o paradigma da hidrólise ácida, pois a empresa Oxiteno compartilhava da mesma convicção de que essa tecnologia era promissora e, com base nesse entendimento, associou-se à FAPESP para lançar em 2006 uma chamada de propostas de pesquisa na área de hidrólise ácida. Dois anos depois, a Dedini em mais uma demonstração de sua crença no futuro da rota ácida, fez o mesmo e, com apoio da FAPESP, lançou uma chamada de propostas de pesquisa sobre processos baseados nessa mesma rota tecnológica. Oxiteno e Dedini incluíram também em suas respectivas chamadas conjuntas com a FAPESP a linha temática da hidrólise enzimática,

evidência que sinaliza que essa rota estava ganhando força como novo paradigma a orientar o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil e a deslocar o paradigma da hidrólise para uma posição subalterna.

Não somente a hidrólise enzimática, mas a cana-de-açúcar, surgiram como um paradigma único compartilhado pelos atores do STI do etanol 2G, pois dada a disponibilidade desse resíduo industrial no Brasil, em especial o bagaço, seu aproveitamento pela rota enzimática seria a decisão mais racional a ser tomada. Essa nova instituição influenciou a posição do governo federal que, embasado em estudos encomendados, disponibilizou e alocou recursos para o financiamento de projetos de pesquisa relacionados à produção de etanol 2G e infraestrutura de pesquisa (CTBE e Embrapa Agroenergia), baseados em hidrólise enzimática.

A terceira manifestação institucional identificada no período 1987-2010 foi o paradigma da pesquisa em redes que, por sua vez, ganhou destaque a partir de 2006 com um grande projeto de pesquisa em hidrólise enzimática que interconectou mais de 150 pesquisadores de 15 universidades brasileiras e 4 estrangeiras, bem como empresas nacionais e estrangeiras. De 2009 em diante, outros projetos seguiram o mesmo modelo, tais como o ProEthanol 2G, CEPROBIO, CANEBIOFUEL, INCT Bioetanol e o Projeto Bioetanol II. A pesquisa em rede parece ter sido uma resposta à complexidade subjacente à pesquisa sobre conversão de biomassa em etanol por meio de enzimas, área da biotecnologia considerada como fronteira do conhecimento, dada a dificuldade de se obter rendimentos equivalentes ou superiores às técnicas tradicionais de fermentação alcoólica, sobretudo, quando se leva em conta que as biomassas existentes na natureza não são homogêneas em termos de sua composição estrutural (lignina, celulose e hemicelulose). O arranjo das equipes de pesquisa em redes parece ter facilitado o intercâmbio de informações e conhecimentos, bem como facilitado o alinhamento dos diferentes atores do STI do etanol 2G em torno de uma única direção de busca tecnológica.

As instituições cultural-cognitivas identificadas influenciaram de forma relativamente equilibrada cinco funções do STI do etanol 2G: experimentação empreendedora/empresarial [F1], desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], influência sobre a direção da busca [F3], mobilização de recurso [F4] e legitimação [F7].

A função experimentação empreendedora [F1] foi influenciada pelo paradigma da hidrólise ácida, à medida que houve o investimento de Dedini/CTC/FAPESP na construção da planta demonstrativa baseada nessa tecnologia, bem como pelo paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar que, por sua vez, colaborou para que novos empreendedores,

tais como Novozymes, Biocell e Bioenzimas se interessassem pelo potencial do Brasil na produção de etanol 2G por conversão enzimática de bagaço – embora somente a Novozymes tenha prosperado.

Quanto às quatro funções restantes, verificou-se que os paradigmas da hidrólise ácida, da hidrólise enzimática/cana-de-açúcar e da pesquisa em redes influenciaram de forma idêntica as funções F2, F3, F4 e F7, ou seja, por refletirem crenças compartilhadas, principalmente entre pesquisadores, esses paradigmas, particularmente os dois concorrentes – o da hidrólise ácida e o da hidrólise enzimática/cana-de-açúcar – tiveram forte impacto na definição da direção da busca tecnológica [F3] a ser empenhada para viabilizar a produção de etanol 2G, o que, conseqüentemente, colaborou para que a agenda de pesquisa fosse definida segundo a tecnologia de base subjacente a cada paradigma. As chamadas de propostas de pesquisa da FAPESP e o edital do CNPq, acima mencionados, além de colaborarem significativamente para que isso ocorresse, foram o instrumento principal para que expressivos valores em recursos financeiros [F4] fossem aportados aos projetos de pesquisa selecionados. O objetivo com todo esse investimento, em grande parte governamental, era o de acelerar o processo de desenvolvimento de uma tecnologia de conversão da biomassa proveniente do bagaço da cana-de-açúcar (ou mesmo de sua palha), a fim de legitimá-la como a mais promissora ou técnica e economicamente viável para produção de etanol 2G no Brasil.

A Figura 50 apresenta os vínculos estabelecidos entre as instituições cultural-cognitivas identificadas no período 1987-2010.

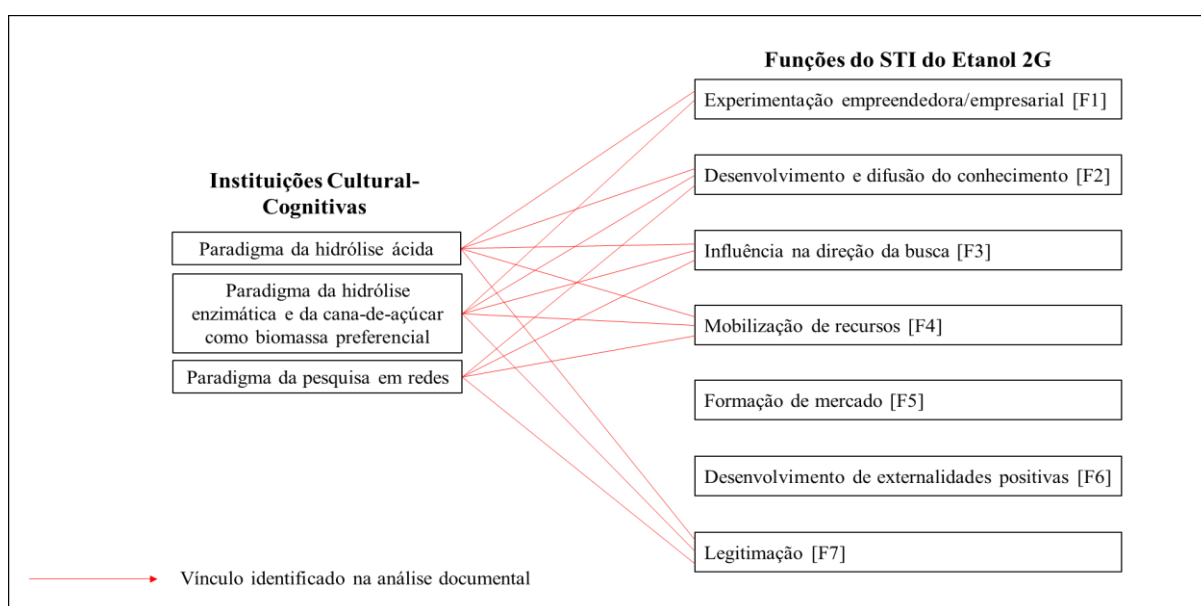


Figura 49: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 1987-2010.

Fonte: Dados da pesquisa

3.8.3 Período 2011-2015

O período 2011-2015 foi o intervalo temporal da formação do STI do etanol 2G em que o maior número de instituições regulatórias foi encontrado. Ao todo foram identificadas oito manifestações institucionais desse tipo, as quais serão abordadas a seguir.

A primeira e, talvez, a mais importante das manifestações de instituições regulatórias foram as regras formais contidas no edital do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS Industrial), instrumento público de apoio financeiro concebido especialmente para estimular, por meio de crédito e subvenção, a P&D e a produção em escala comercial de etanol 2G no Brasil. O PAISS Industrial, além de promover a produção em escala comercial do etanol 2G definiu, por meio de suas regras editalícias, o direcionamento dos investimentos de determinados atores do STI para a uma configuração tecnológica essencialmente baseada em hidrólise enzimática e no aproveitamento dos resíduos agrícolas e industriais da cana-de-açúcar (palha e bagaço).

A segunda manifestação institucional verificada na análise de dados refere-se às autorizações emitidas pela ANP para que as empresas GranBio e Raízen pudessem operar comercialmente, o que significou a entrada formal do etanol 2G no mercado de etanol combustível brasileiro. Embora isso não tenha nenhuma ligação com políticas de incentivo à demanda por etanol 2G, foi um progresso importante na história do desenvolvimento desse biocombustível, pois conferiu-lhe a oportunidade de, em sendo competitivo em termos de custos com o etanol 1G, inserir-se em um mercado que em 2014 produziu cerca de 28 bilhões de litros de etanol.

A terceira manifestação institucional regulatória identificada tem origem no exterior e criou condições para que, pelo menos uma empresa, a GranBio, aumentasse as oportunidades de comercialização do seu etanol 2G fora do país, especialmente no mercado californiano de biocombustíveis. Trata-se da certificação concedida pelo *California Air Resources Board* (CARB), segundo a legislação conhecida como *Low Carbon Fuels Standard* (LCFS). A GranBio submeteu as especificações do seu processo produtivo à análise técnica do CARB e obteve uma certificação em virtude das externalidades ambientais positivas geradas no ciclo de vida do etanol 2G produzido em sua planta industrial localizada em Alagoas.

A quarta evidência de instituição regulatória encontrada está relacionada à utilização de patentes por parte dos atores do STI do etanol 2G. A pesquisa documental demonstrou que esse sistema de inovação foi beneficiado pelo Programa Patentes Verdes, criado em caráter piloto pelo INPI com o objetivo de acelerar a tramitação de solicitações de patentes de processos ou produtos ambientalmente benéficos. Cerca de 15 pedidos de registro de patentes relacionadas ao etanol 2G foram solicitadas ao INPI entre 2012 e 2015, sendo duas delas desenvolvidas no Brasil. A análise das entrevistas complementou esse achado com a constatação de que as patentes se tornaram um instrumento estratégico para a proteção dos conhecimentos gerados sobre o processo de produção do etanol 2G. Em face da existência de uma corrida tecnológica pelo processo de produção mais eficiente, foi detectado o recurso às patentes por parte das empresas envolvidas na produção do etanol 2G como forma de proteger a tecnologia que virá a ser a vencedora dessa disputa, conferindo-lhe exclusividade sobre conhecimentos biotecnológicos e industriais que poderão, eventualmente, ser licenciados e implementados em outras plantas comerciais e se tornar padrão tecnológico do STI. Portanto, considerando essa perspectiva, a Lei de Proteção Industrial (Lei 9.279/96) passou a ser estratégica.

A quinta instituição constatada no período 2011-2015 refere-se à Resolução ANP 14/2014 que atualizou a Lei 12.490/2011 e deu ao etanol 2G um status distinto na política energética nacional, ainda que o submetesse aos mesmos critérios regulatórios sob os quais o etanol 2G está subordinado. Essa mudança regulatória sugere a legitimação do etanol 2G como parte da matriz nacional de combustíveis, qualificando-o para somar-se à produção de etanol 1G e atender ao setor de transportes brasileiro.

A cláusula do 1%, a sexta manifestação institucional regulatória, foi detectada mais uma vez na análise dos dados obtidos via documentos e entrevistas. Resultado da combinação da Lei 9.478/97 com a Resolução ANP 5/2005, essa legislação contribuiu para o desenvolvimento de pelo menos seis projetos de pesquisa em etanol 2G ao longo do período 2011-2015, permitindo a alocação de cerca de R\$ 11 milhões, distribuídos entre quatro universidades.

A sétima evidência institucional regulatória encontrada foi a Lei da Biodiversidade, aprovada no ano de 2015, a qual conferiu um novo dinamismo à condução de atividades de pesquisas na área de biotecnologia. Embora não tenha produzido efeitos imediatos ao STI do etanol 2G, essa lei criou um marco regulatório mais seguro e menos burocratizado para a pesquisa e bioprospecção de microrganismos existentes na biodiversidade brasileira. Como o desenvolvimento tecnológico da produção de etanol 2G por hidrólise enzimática é fortemente dependente dos avanços em biotecnologia e enzimologia, a Lei da Biodiversidade pode ser

considerada um desenvolvimento institucional que influenciará os rumos desse STI nos próximos anos e décadas.

A oitava e última manifestação institucional evidenciada surgiu da análise das entrevistas realizadas com atores do STI do etanol 2G, nesta pesquisa classificados como contemporâneos. Trata-se do enquadramento do etanol 2G no marco regulatório que define as especificações de qualidade necessárias para que o etanol combustível seja aprovado pela ANP para comercialização no Brasil (Resolução ANP 19 de 2015). Após realizar um projeto voltado à verificação da adequação do etanol 2G produzido pelas empresas Raízen e GranBio aos parâmetros vigentes no país, a ANP concluiu que não seria necessário elaborar uma nova legislação específica para esse biocombustível, reforçando assim a sua legitimidade como biocombustível comercializável e, portanto, apto a ser consumido regularmente sem restrições no país, dada a equivalência de suas especificações técnicas ao etanol 1G.

Nota-se, com base na análise consolidada, que todas as funções do STI do etanol 2G foram influenciadas pelos desenvolvimentos institucionais do período mais recente da formação do STI do etanol 2G. As oito instituições regulatórias identificadas contribuíram para que funções de baixo dinamismo nos períodos anteriores, como formação de mercado [F5] e desenvolvimento de externalidades positivas [F6], fossem ativadas entre 2011 e 2015, sugerindo, respectivamente, que o etanol 2G chegou mais próximo de sua viabilização comercial e de que suas externalidades começaram a ser reconhecidas ou apropriadas pelo governo e sociedade em geral.

A função desenvolvimento e difusão de conhecimentos [F2], tal como nos períodos anteriores, foi a mais influenciada pelas instituições regulatórias, especialmente pelas regras definidas pelo PAISS Industrial – que também contemplavam atividades de P&D – e por legislações específicas como a referente a patentes (em razão da corrida tecnológica entre empresas produtoras), cláusula do 1% (alocação de recursos à P&D) e Lei de Biodiversidade (com potencial impacto sobre os desenvolvimentos biotecnológicos do STI do etanol 2G).

As funções formação de mercado [F5] e legitimação [F7] foram as segundas mais afetadas pela influência das instituições regulatórias. A formação de mercado deve-se à chegada do etanol 2G de sua fase comercial, evidenciada pelas autorizações de operação pela ANP das plantas de produção da GranBio e Raízen e por dois dispositivos regulatórios, que garantiram oportunidades de comercialização do etanol 2G no Brasil (enquadramento do etanol 2G na Resolução ANP 19/2015) e nos Estados Unidos (certificação LCFS concedida à GranBio).

A função legitimação [F7] refletiu o reconhecimento governamental da importância do etanol 2G como biocombustível estratégico para a matriz energética de transportes brasileira. Isso se deu, principalmente, por meio da iniciativa do BNDES e da FINEP em elaborar um edital (PAISS Industrial) voltado ao financiamento da produção do etanol 2G e, após a autorização da construção de duas plantas comerciais, pela ANP, enquadrando-o no arcabouço regulatório dos biocombustíveis vigente no Brasil.

As funções experimentação empreendedora/empresarial [F1] e mobilização de recursos [F4] foram ambas influenciadas, principalmente, pelo edital do PAISS Industrial, pois o volume de recursos disponibilizado por BNDES e FINEP – inicialmente da ordem de R\$ 1 bilhão – foi direcionado, sobretudo, para o financiamento de novos empreendimentos com a finalidade de produzir etanol 2G. Três empreendimentos dedicados a esse biocombustível foram aprovados e executados ao longo do período 2011-2015 (CTC, GranBio e Raízen). A mobilização de recursos também foi influenciada pelos recursos da “cláusula do 1%” da Lei do Petróleo e a experimentação empreendedora/empresarial recebeu impulso à medida que a ANP, por meio da atualização da Lei 12.490/2011, reconheceu o etanol 2G como biocombustível passível de comercialização no Brasil. Essa mudança regulatória permitiu que a produção das plantas da Raízen e da GranBio tivessem condições de ser vendida no mercado nacional de etanol combustível e, portanto, gerasse receitas às respectivas empresas.

Por último, a função desenvolvimento de externalidades positivas [F6] refletiu o impacto do Programa Patentes Verdes do INPI, bem como a aprovação da certificação obtida pela GranBio junto ao CARB, órgão do governo do estado da Califórnia que, por sua vez, reconheceu por meio do padrão LCFS que o processo produtivo dessa empresa é ambientalmente sustentável. Isso, conseqüentemente, criou a oportunidade de comercialização do etanol 2G brasileiro no mercado californiano com o potencial de recebimento de um preço prêmio.

A Figura 51 contém a representação da influência exercida pelas instituições regulatórias sobre as funções do STI no período 2011-2015.

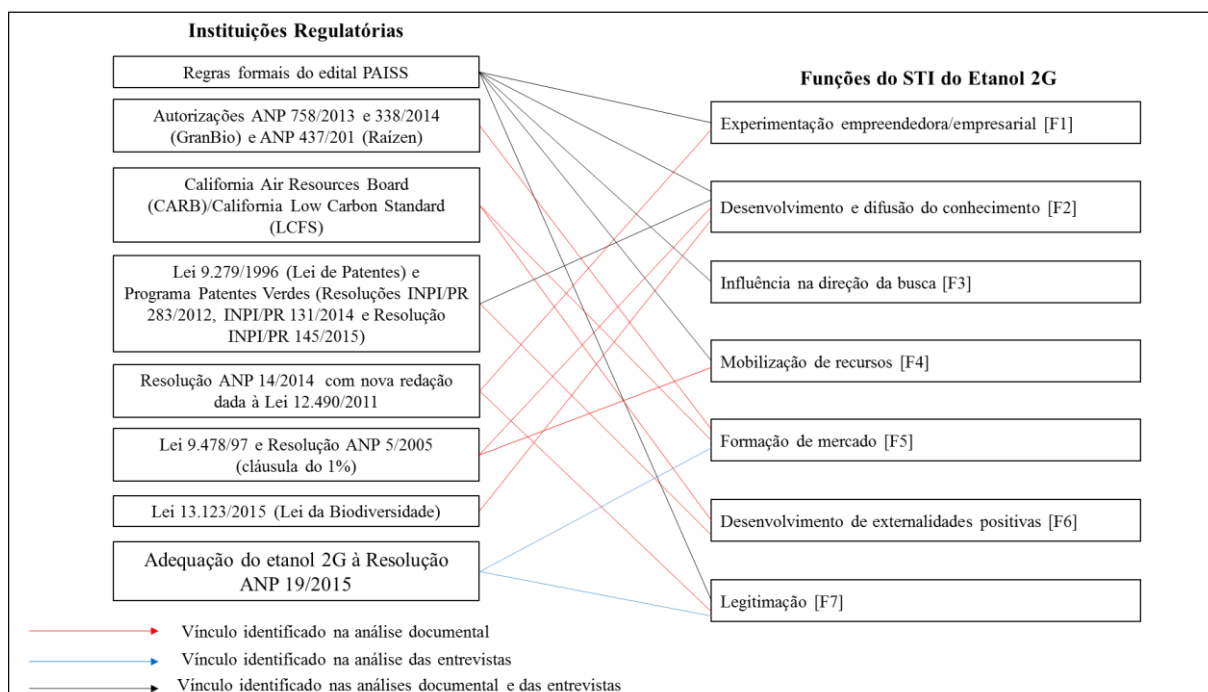


Figura 50: Representação consolidada dos vínculos entre instituições regulatórias e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.

Fonte: Dados da Pesquisa

No que diz respeito às instituições normativas, quatro manifestações institucionais dessa natureza foram identificadas: economicidade dos processos de conversão de biomassa, sustentabilidade ambiental, parcerias interorganizacionais para integração tecnológica de processos e P&D empresarial.

A economicidade, regra normativa herdada dos dois períodos anteriores, continuou a permear as decisões dos atores do STI do etanol 2G, porém de forma explícita, como forma de se tentar legitimar e justificar os significativos investimentos em plantas de produção propiciados pelo PAISS Industrial. A análise das entrevistas, principalmente, revelou que a economicidade do etanol 2G é ainda um desafio a ser superado, especialmente por conta dos problemas técnicos enfrentados pelas unidades de produção da Raízen e GranBio, o que resulta na falta de competitividade desse biocombustível com o etanol 1G. Em face dessa realidade e do baixo volume de produção, há a percepção de alguns atores do STI de que sem políticas específicas de demanda como, por exemplo, mandatos de adição à gasolina e pagamentos de prêmio sobre o preço final de venda, a viabilidade do etanol 2G estará comprometida. Portanto, a eficiência econômica dos processos de produção adotados por Raízen e GranBio, ou ainda o que está em desenvolvimento pelo CTC, impõe-se como norma, pois é um dos critérios fundamentais contra o qual o sucesso do etanol no Brasil (e no mundo) será mensurado.

A sustentabilidade ambiental é outra instituição normativa cujo desenvolvimento se mostrou influente na formação do STI do etanol 2G no período 2011-2015, dando continuidade ao que foi observado, sobretudo, no intervalo compreendido entre 2000 e 2010 do período 1987-2010. As virtudes ambientais do etanol 2G foram efetivamente reconhecidas e promovidas por parte dos atores do STI, seja por intermédio da recém-criada Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), representante dos interesses das empresas produtoras de etanol 2G, seja pelo governo federal ao afirmar oficialmente perante à COP 21 que uma das contribuições do Brasil para a redução de emissões de gases de efeito estufa estaria baseada no incentivo à produção e consumo de etanol 1G e 2G. Outro evento que colaborou para reforçar o *apelo ambiental do etanol 2G foi a certificação da GranBio junto ao California Air Resources Board (CARB), no âmbito do California Low Carbon Standard (LCFS).*

As parcerias interorganizacionais para integração tecnológica de processos visando à produção do etanol 2G em escala comercial emergiram na análise documental como uma característica institucional do período 2011-2015, ou seja, diante da oportunidade de construir plantas industriais para a produção de etanol 2G, as empresas financiadas pelo PAISS Industrial recorreram a acordos de parceria exclusiva com diferentes fornecedores de tecnologia para que, por meio da integração de suas atividades, pudessem desenvolver a melhor solução tecnológica em conversão de hidrólise enzimática de biomassa (palha e/ou bagaço de cana-de-açúcar). Essa estratégia parece ser justificável porque o processo de produção do etanol 2G pela via enzimática depende de enzimas, equipamentos e, a depender de sua configuração, de leveduras específicas. Cada um desses itens é, em geral, fornecido por empresas distintas, o que implica a necessidade de se fazer a integração de diferentes tecnologias. Por conta disso, parcerias e P&D conjunta se impuseram como norma, e não como opção, a ser seguida pelas três empresas que se dispuseram a produzir etanol 2G, pois, do contrário, provavelmente não conseguiriam construir e operar suas respectivas plantas.

A última manifestação institucional normativa, que deriva da descrita no parágrafo anterior, foi encontrada na análise das entrevistas. Trata-se da P&D empresarial como prática emergente imposta ao STI do etanol 2G, pois com o advento do PAIS Industrial e os investimentos dele decorrentes em plantas de produção, houve o deslocamento gradual das atividades de geração e difusão de conhecimentos, tipicamente concentradas em universidades e centros de pesquisa, para as principais empresas produtoras de etanol 2G e seus parceiros fornecedores de tecnologia. Como ainda não havia uma tecnologia consolidada e provada para a produção do etanol 2G, essas empresas iniciaram uma corrida tecnológica marcada pela

estratégia de proteção da propriedade intelectual e de segredos industriais. Essa prática tornou-se ainda mais exacerbada à medida que as plantas de produção das empresas GranBio e Raízen (e de outras empresas do mundo) começaram a apresentar problemas na operação de pré-tratamento da biomassa, o que, em vez de cooperação para resolução de um problema comum, gerou uma forte demanda para que os próprios estruturas de P&D dessas empresas e de seus parceiros tecnológicos encontrassem as soluções. Como o entendimento por parte de atores do STI do etanol 2G é de que a resolução dos problemas enfrentados pelas empresas produtoras depende mais dos departamentos de engenharia do que da pesquisa acadêmica, a pesquisa universitária e de centros de pesquisa passou, portanto, a ter papel acessório na viabilização técnica do etanol 2G no Brasil.

Todas as funções do STI do etanol 2G receberam influência das instituições normativas identificadas no período 2011-2015; no entanto, as mais afetadas foram experimentação empreendedora/empresarial [F1], desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] e mobilização de recursos [F4].

A experimentação empreendedora/empresarial [F1], diferentemente dos dois períodos anteriores, apresentou uma dinâmica mais intensa indicando a movimentação de empresas e empreendedores no sentido de construir e operar plantas industriais visando à produção de etanol em escala comercial. A influência das instituições normativas foram evidenciadas nas ações dessas empresas por meio de sua busca permanente por uma tecnologia que se prove eficiente economicamente (economicidade), da capitalização e da promoção das externalidades ambientais positivas do etanol 2G (sustentabilidade ambiental), do desenvolvimento de parcerias e busca por tecnologias adequadas às condições brasileiras (parcerias interorganizacionais) e da geração de soluções para os problemas enfrentados pelas plantas de produção via P&D própria (P&D empresarial).

A função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] sofreu a influência direta das quatro instituições normativas identificadas. A economicidade e a sustentabilidade são encontradas na análise de dados como normas ou imperativos que perpassam as atividades de P&D, a primeira servindo como critério de sucesso das tecnologias adotadas pelas empresas produtoras de etanol 2G e a segunda como vantagem competitiva do processo produtivo desse biocombustível, mas que também pode ser melhorada incrementalmente com desenvolvimentos como a cana-energia, variedade cujo potencial de fixação de carbono é substancialmente maior do que a cana-de-açúcar convencional. As parcerias interorganizacionais e a P&D empresarial, por sua vez, por estarem originalmente vinculadas a

atividades que envolvem a produção de conhecimentos tecnológicos, tiveram impacto automático sobre a função F2.

A função mobilização de recursos [F4] foi influenciada pelas instituições normativas da economicidade, da sustentabilidade ambiental e das parcerias interorganizacionais para integração tecnológica. O objetivo de se obter economicidade nas tecnologias de produção de etanol 2G estava implícito no edital do PAISS Industrial, pois, o apoio financeiro concedido por BNDES e FINEP visava ao escalonamento das tecnologias de produção de etanol 2G com potencial de retorno sobre o investimento. A sustentabilidade ambiental também contribuiu para a mobilização de capitais (incluindo os oriundos do PAISS Industrial), pois mais do que um apelo trata-se de uma característica inerente à biotecnologia industrial aplicada à produção de biocombustíveis (alto potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa e substituição de combustíveis fósseis). Por último, as parceiras interorganizacionais foram decisivas para a mobilização de recursos, pois sem elas dificilmente empresas como CTC, Raízen e GranBio teriam tecnologias próprias no curto prazo para implantar as suas unidades de produção de etanol 2G. As parcerias interorganizacionais constituíram um dos itens de avaliação previstos no edital do PAISS Industrial.

As funções formação de mercado [F5], desenvolvimento de externalidades positivas [F6] e legitimação [F7] foram influenciadas com menor intensidade pelas instituições normativas. A formação de mercado, conforme a análise das entrevistas mostrou, foi considerada como influenciada pela economicidade das tecnologias de conversão de biomassa em desenvolvimento porque há o entendimento de parte dos entrevistados de que o custo do etanol 2G não será competitivo a menos que sejam formuladas políticas de estímulo à demanda desse biocombustível, tais como mandatos de adição de etanol 2G à gasolina ou pagamento de prêmio por litro produzido. Sem essas medidas há o prognóstico de que o etanol 2G não será viável economicamente no Brasil.

No que diz respeito à função legitimação, verificou-se que as instituições normativas, representadas pela economicidade dos processos de conversão de biomassa e da sustentabilidade ambiental, foram importantes para a sua ativação. A legitimidade do etanol 2G começou a ser reconhecida à medida que a sua produção comercial criou as condições para obtenção de custos competitivos com o etanol 1G – embora, na prática, os problemas enfrentados pelas plantas de produção tenham impedido que tal competitividade fosse alcançada. Do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, verificou-se que a legitimação do etanol 2G foi conquistada, especialmente quando a Presidente da República, Dilma Rousseff

reconheceu as qualidades ambientais desse biocombustível publicamente (inclusive recomendando sua inclusão no INDC enviado à COP 21) e quando a GranBio obteve a certificação CARB/LCFS para a comercialização de sua produção no mercado californiano de biocombustíveis.

A Figura 52 apresenta as vinculações entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.

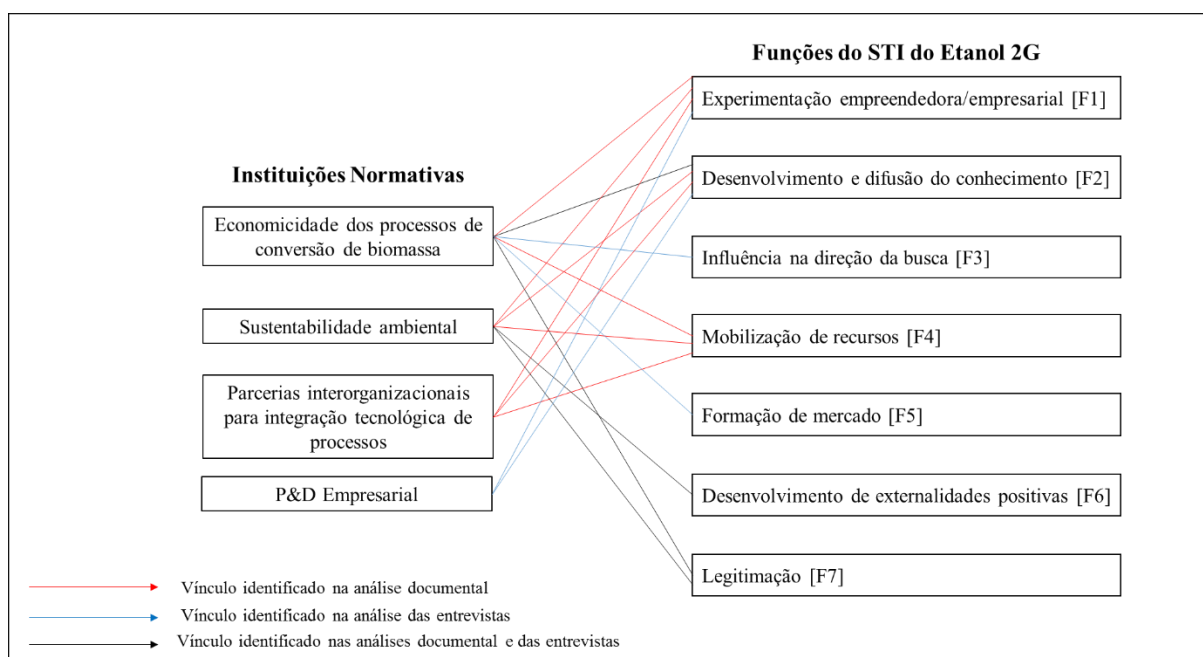


Figura 51: Representação consolidada dos vínculos entre instituições normativas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.

Fonte: Dados da pesquisa

No campo das instituições cultural-cognitivas identificaram-se três manifestações: paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar, paradigma da biotecnologia industrial e a percepção de baixo risco tecnológico das tecnologias estrangeiras.

A análise das entrevistas, em especial, mostrou que o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar como biomassa preferencial representa a consolidação, respectivamente, de uma rota tecnológica e de uma biomassa específica como o padrão sob o qual a indústria do etanol 2G será desenvolvida. O PAISS Industrial, por meio de seu edital, contribuiu para que isso ocorresse, pois estabeleceu *a priori* que os planos de negócios de P&D, produção e comercialização de etanol 2G submetidos à análise de BNDES e FINEP deveriam contemplar obrigatoriamente tecnologias avançadas de conversão de biomassa oriunda da cana-de-açúcar. Essa determinação, intencionalmente ou não, privilegiou a rota enzimática para tal finalidade, uma vez que, no período 2011-2015, era a solução tecnológica mais promissora e relativamente

mais eficiente do que outras rotas para a transformação de resíduos industriais e agrícolas da cana-de-açúcar em etanol 2G. Evidência disso foi a aprovação do financiamento à construção das plantas de produção de CTC, GranBio e Raízen, todas baseadas em tecnologias de hidrólise enzimática e tendo como matéria-prima básica o bagaço e/ou a palha da cana-de-açúcar.

O segundo paradigma identificado, ou seja, o da biotecnologia industrial, emergiu no período 2011-2015 como resultado da participação de diferentes empresas no STI do etanol 2G brasileiro e de outras com interesse no potencial da sucroquímica (obtenção de intermediários químicos por meio da conversão de açúcares) e das biorrefinarias. Estimulada pelo PAISS Industrial, que em seu edital definiu o etanol 2G e a sucroquímica como áreas prioritárias para financiamento, a biotecnologia industrial foi elevada à posição estratégica na agenda do desenvolvimento nacional, considerando o volume de recursos que foi disponibilizado pelo BNDES e pela FINEP para P&D e investimento em infraestrutura produtiva.

Diante desse contexto, doze empresas se uniram para a criação da Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI) com o objetivo principal de promover a biotecnologia industrial, contribuir para o aprimoramento do seu marco regulatório e discutir políticas públicas de incentivo para as empresas do setor. Em outras palavras, a ABBI surgiu para, entre outras ações, conferir legitimidade à biotecnologia industrial e para atingir esse intento definiu o etanol 2G como prioridade por ser esse o segmento mais adiantado em termos de P&D e investimentos produtivos e cujo processo de produção, uma vez consolidado, constituiria a base para a transformação de açúcares em intermediários químicos de alto valor agregado. Outro espaço de conquista de legitimação articulado pelos associados da ABBI foi o comitê de biotecnologia, criado no âmbito da estrutura de funcionamento da Frente Parlamentar da Química, coalizão política vinculada à Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM).

Por último, a terceira instituição de caráter cultural-cognitivo identificada foi a percepção de baixo risco tecnológico apresentado pelas tecnologias estrangeiras frente às tecnologias nacionais. Essa percepção parece ter sido gerada quando da disponibilização dos recursos do PAISS Industrial às empresas CTC, GranBio e Raízen, cuja menor parte era formada por subvenções da FINEP ou recursos não reembolsáveis do BNDES. Esses recursos, em volume maior, permitiriam que as referidas empresas eventualmente testassem tecnologias nacionais de hidrólise enzimática (menos avançadas do que as que já haviam no exterior), já que poderiam correr maiores riscos pelo fato de não terem que reembolsar os valores financiados às duas instituições. Porém, como a maior parte dos recursos aportados era formada

por linhas de crédito, o risco do insucesso tecnológico poderia comprometer o pagamento futuro dos recursos tomados sob a forma de empréstimos. Por conta disso, houve a deliberação das três empresas em buscar parcerias tecnológicas fora do Brasil.

As funções do STI do etanol 2G que mais sofreram influência das instituições cultural-cognitivas identificadas no período 2011-2015 foram a experimentação empreendedora/empresarial [F1] e a mobilização de recursos [F4]. Isso foi um reflexo do processo de disponibilização de recursos financeiros, promovido pelo PAISS Industrial [F4] para a viabilização da infraestrutura produtiva de etanol 2G e a inversão desses recursos por parte de empresas selecionadas por BNDES e FINEP na construção de plantas industriais em escala de demonstração e comercial. Nesse processo, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar influenciou a elaboração do edital do PAISS e a alocação dos recursos disponíveis, pois aparentemente havia o consenso de que essa rota tecnológica e essa biomassa, respectivamente, ofereciam as melhores oportunidades para que o Brasil desenvolvesse a produção de etanol 2G. Isso porque a hidrólise enzimática do bagaço da palha de cana-de-açúcar, resíduos com grande disponibilidade no país, contava com o acúmulo de diversas pesquisas aplicadas desenvolvidas nos anos 2000 e, portanto, constituíam o caminho mais promissor a ser explorado industrialmente.

O paradigma da biotecnologia industrial, estreitamente relacionado com o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar, exerceu influência nas funções F1 e F4 não somente pelo fato de a utilização de enzimas em escala industrial para produção de etanol 2G se inserir na lógica dessa emergente área de aplicação da bioeconomia. A influência também foi exercida por meio do consenso de que esse biocombustível seria apenas o primeiro passo para o desenvolvimento de uma indústria mais abrangente, que envolve a sucroquímica e a construção de biorrefinarias com capacidade para produção de diferentes intermediários químicos baseados em açúcares contidos na celulose e hemicelulose de biomassas como a cana-de-açúcar. Isso, de certa forma, orientou a concepção do edital do PAISS Industrial e o processo de seleção de planos de negócios submetidos à análise do BNDES e da FINEP, contribuindo, portanto, para a escolha dos empreendimentos a serem apoiados [F1] e os recursos a serem disponibilizados [F4].

A percepção de baixo risco das tecnologias estrangeiras, como instituição cultural-cognitiva, influenciou a função F1 e F4 da seguinte forma. Um dos aspectos analisados pela equipe conjunta BNDES-FINEP foram as parcerias tecnológicas estabelecidas pelas empresas postulantes dos recursos disponibilizados pelo PAISS e a sua importância para o alcance dos

objetivos propostos em seus respectivos planos de negócio. Os empreendimentos do CTC, da GranBio e da Raízen, financiados pelo PAISS, foram operacionalizados por meio de parcerias tecnológicas estrangeiras, refletindo a percepção de que as tecnologias desenvolvidas fora do Brasil ofereciam menores riscos que as nacionais. O argumento defendido por técnicos do BNDES em um artigo é de que isso se deveu ao fato de que a maior parte dos recursos do PAISS era formada por linhas de crédito (reembolsável) e não de subvenção econômica (não reembolsável), o que impeliu as referidas empresas a buscarem soluções tecnológicas com maior potencial de retorno sobre o investimento. Portanto, a análise dos dados sugere que essa percepção orientou não somente os planos de negócios que originaram às plantas de produção de etanol 2G no Brasil [F1], mas a liberação de recursos do PAISS para a implementação desses empreendimentos [F4].

A percepção de baixo risco tecnológico das tecnologias estrangeiras afetou também a função influência sobre a direção da busca [F3], uma vez que orientou o CTC, a GranBio e Raízen a procurarem desenvolvimentos tecnológicos mais avançados internacionalmente, em detrimento do aproveitamento das soluções tecnológicas eventualmente disponíveis no Brasil. Nesse processo de busca, o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar cumpriu um papel relevante, pois guiou a seleção de tecnologias que fossem baseadas em enzimas e capazes de converter bagaço e palha de cana em etanol. Esse paradigma também influenciou a função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] no período 2011-2015, visto que as atividades de P&D dos atores do STI do etanol 2G, em grande medida realizadas internamente pelas empresas produtoras e seus fornecedores de tecnologia, foram baseadas no aprimoramento da eficiência e resolução de problemas das tecnologias de hidrólise enzimática.

A função legitimação [F7], por sua vez, foi identificada como uma das forças que dinamizaram o STI do etanol e que recebeu forte influência de duas instituições cultural-cognitivas: o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar e o paradigma da biotecnologia industrial. O primeiro, influenciou a elaboração do edital do PAISS Industrial e contribuiu para que o etanol 2G produzido por conversão enzimática de bagaço e/ou palha de cana-de-açúcar fosse legitimado e privilegiado pelo BNDES e pela FINEP. O segundo implicou a legitimação da biotecnologia industrial por meio da criação da ABBI e do comitê de biotecnologia da Frente Parlamentar da Química, dois importantes fóruns de defesa dos interesses desse segmento econômico. Como todas as empresas produtoras de etanol 2G e seus principais fornecedores de tecnologia são sócios fundadores da ABBI, esse combustível

naturalmente ganhou um espaço político organizado para a sua legitimação perante as autoridades governamentais e a sociedade em geral.

As instituições cultural-cognitivas identificadas no período 2011-2015, diferentemente das instituições regulatórias e normativas, não influenciaram diretamente as funções formação de mercado [F5] e desenvolvimento de externalidades positivas [F6].

A Figura 53 mostra as relações de influência estabelecidas entre as instituições cultural-cognitivas e as funções do STI do etanol 2G entre 2011 e 2015.

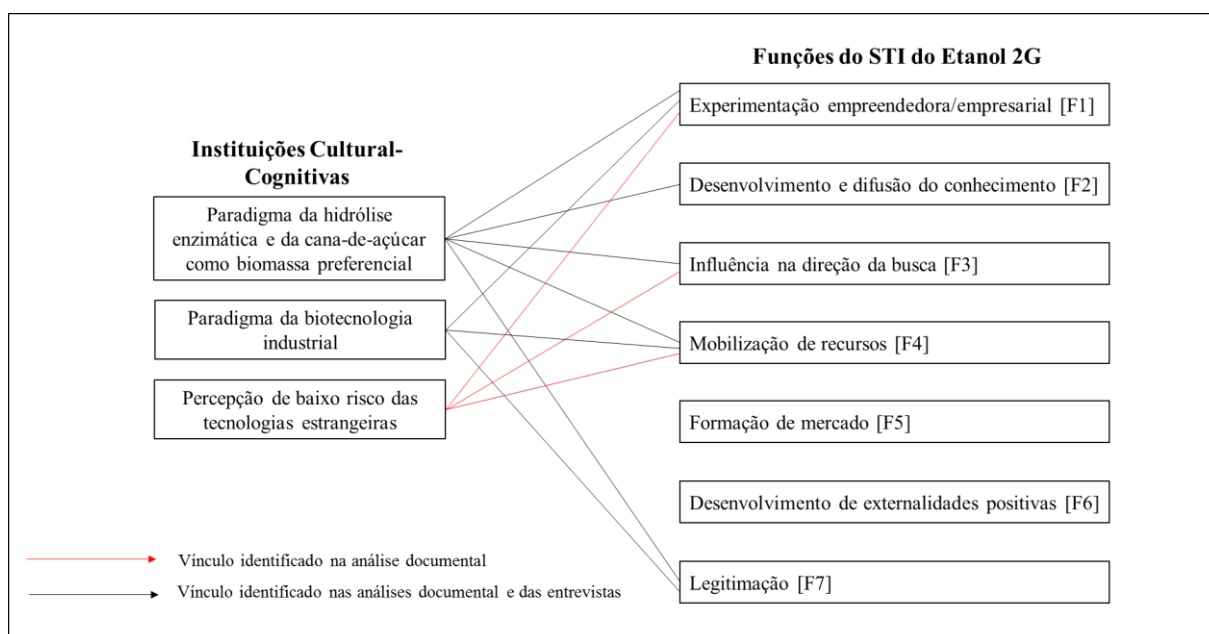


Figura 52: Representação consolidada dos vínculos entre instituições cultural-cognitivas e funções do STI do etanol 2G no período 2011-2015.

Fonte: Dados da pesquisa

3.9 Discussão dos resultados

Os dados provenientes da pesquisa documental e das entrevistas realizadas junto a diferentes atores do STI do etanol 2G, ao longo do intervalo 1975-2015, possibilitaram a identificação de 185 eventos, os quais foram analisados com base em uma narrativa temporal escalonada em três períodos e classificados, segundo as categorias da abordagem das funções de sistemas de inovação. O exame interpretativo desse material através das categorias institucionais adotadas nesta pesquisa permitiu a identificação de instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas, bem como a compreensão de sua influência no processo formativo do STI do etanol 2G, por meio da análise de seus vínculos de influência com as funções desempenhadas por esse sistema.

Verificou-se que em cada um dos três períodos, nos quais o intervalo 1975-2015 foi subdividido, o STI do etanol 2G apresentou uma configuração institucional distinta que influenciou o padrão da dinâmica interativa de suas funções e, conseqüentemente, o seu processo de formação ao longo do tempo. A seguir os principais achados relativos a cada período da análise serão apresentados à luz da teoria que fundamenta o presente estudo. Embora a análise neo-institucional em sistemas de inovação seja uma linha de pesquisa com poucos estudos – o que dificulta uma discussão teórica mais ampla e rica –, é necessário confrontar os resultados empíricos com os elementos que a teoria neo-institucional e a abordagem de sistemas tecnológicos oferecem.

3.9.1 Período 1975-1986

No período 1975-1986 o STI do etanol 2G foi influenciado por uma base institucional predominantemente regulatória e cultural-cognitiva, pois das nove manifestações institucionais identificadas, cinco são de natureza regulatória, uma normativa e três cultural-cognitivas.

O STI do etanol 2G no período 1975-1986 formou-se em torno da tecnologia de hidrólise ácida de biomassas cuja introdução no Brasil se deu por conta de pressões institucionais regulatórias e cultural-cognitivas. Do ponto de vista regulatório, o estado brasileiro instituiu dispositivos legais que criaram as condições para que diferentes atores envidassem esforços objetivando à viabilização da produção de etanol 2G no Brasil como complemento ao etanol 1G. Conforme North (1990) e Orr e Scott (2008) afirmam, as leis são exemplos de regras que governam o comportamento individual e organizacional. No caso do STI do etanol 2G, a lei de criação do programa Proálcool e o decreto de criação da COALBRA, foram os principais elementos regulatórios que influenciaram o comportamento de atores, principalmente governamentais, no sentido de promover o desenvolvimento da tecnologia de hidrólise ácida no Brasil.

Do ponto de vista cultural-cognitivo, a análise permitiu inferir que a independência energética e o nacionalismo tecnológico constituíram-se como um referencial que guiou a forma como o governo militar, nos anos 1970, concebeu o Proálcool e as iniciativas de produzir etanol com base em diferentes tipos de biomassa. Essas duas instituições cultural-cognitivas parecem ter se tornado o que Orr e Scott (2008) chamam de *framework* simbólica externa, ou seja, um quadro de referência contra o qual a realidade é interpretada. Os resultados encontrados na presente pesquisa sugerem que foi, baseado nessa *framework*, que a iniciativa de se produzir etanol 2G (e 1G), no Brasil, se ancorou, o que influenciou a concepção governamental de que

ser um país energeticamente independente e possuir tecnologia desenvolvida internamente deveriam ser objetivos estratégicos nacionais.

Além da independência energética e do nacionalismo tecnológico, o STI do etanol 2G contou com duas outras instituições cultural-cognitivas para a sua formação, isto é, o paradigma da hidrólise ácida e o paradigma da hidrólise enzimática. A adoção da tecnologia da hidrólise ácida como a tecnologia mais apropriada para a produção de etanol 2G, no Brasil, foi resultado de um consenso que, após a criação do Proálcool, se formou entre pesquisadores, agentes do governo federal e consultores. Tal consenso, ou concepção compartilhada, conforme Scott (1993), tornou-se um paradigma que guiou decisões sobre a alocação de recursos públicos e sobre pesquisas a serem realizadas com vistas ao desenvolvimento dessa rota tecnológica. Os dados levantados tanto na pesquisa documental quanto nas entrevistas sugerem que a introdução da hidrólise ácida no Brasil se deu como uma tentativa de imitar o modelo tecnológico soviético de produção de etanol 2G. Confrontando esse achado com a teoria neo-institucional, conclui-se que com tal tentativa o STI do etanol 2G apresentou um comportamento isomórfico, baseado em um processo mimético (Scott, 1995), que se provou mal-sucedido por conta do fracasso do projeto COALBRA.

Além do paradigma da hidrólise ácida, a pesquisa demonstrou que o paradigma da hidrólise enzimática começou a emergir, ainda que discretamente, concomitantemente ao paradigma da hidrólise ácida. Diferentemente desse último, a hidrólise enzimática não constituiu um processo isomórfico mimético, uma vez que no final dos anos 1970 e início dos anos 1980 não havia um modelo tecnológico no qual se inspirar, mas apenas uma concepção compartilhada (Scott, 2003) por uma pequena comunidade de pesquisadores de que a rota enzimática era mais promissora para a produção de etanol 2G.

Apenas uma instituição normativa foi identificada, a economicidade dos processos de conversão de biomassa, mas sua influência no processo de formação do STI do etanol 2G foi de importância secundária no período 1975-1986, de modo que é possível concluir, portanto, que as instituições regulatórias e cultural-cognitivas predominaram nesse intervalo temporal. Todas as funções do STI foram influenciadas por esse arcabouço institucional, mas três, em particular, de maneira mais intensa, isto é, a função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] com dez vínculos identificados, seguida das funções influência sobre a direção da busca [F3] e mobilização de recursos [F4], ambas com sete vínculos identificados

A proeminência da função desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2] sugere que o início da formação do STI do etanol 2G se caracterizou pelo aprendizado sobre a tecnologia de hidrólise ácida. Conforme propõe Hekkert et al. (2007a), o aprendizado correspondente a essa função pode se dar de duas formas, ou seja, pela busca (*learning by searching*) e pelo fazer (*learning by doing*). No caso analisado, o aprendizado pela busca foi obtido por meio de missões de prospeção tecnológica na União Soviética e pelo fazer quando se tentou replicar a tecnologia obtida daquele país no Brasil, seja em escala de laboratório no INT e na FTI, seja em escala industrial na COALBRA.

As funções influência sobre a direção da busca [F3] e mobilização de recursos [F4] foram as responsáveis por permitir que o conhecimento sobre hidrólise ácida fosse gerado e difundido no Brasil. Confirmando Suurs (2009), a primeira contribuiu para a geração de expectativas positivas dos atores do STI do etanol 2G em relação ao futuro da tecnologia emergente (no caso a hidrólise ácida). Já a segunda, conforme sugerem Bergek et al. (2007b), expressou a alocação de recursos, predominantemente públicos, para o financiamento da P&D em hidrólise ácida (pesquisa de laboratório e plantas-piloto) e da produção industrial do etanol 2G (planta da COALBRA).

As funções experimentação empreendedora/empresarial [F1], formação de mercado [F5], desenvolvimento de externalidades positivas [F6] e legitimação [F7], embora com um papel secundário no primeiro período da formação do STI do etanol 2G, receberam fortes influências do ambiente institucional identificado na pesquisa. Tais funções refletiram, respectivamente, o papel do empreendedorismo estatal, capitaneando a tentativa frustrada de produção do etanol 2G [F1], a inserção dessa produção no mercado de etanol combustível criado pelo Proálcool [F5], a estruturação de uma cadeia produtiva e mão de obra especializada em etanol 1G (com reflexos no 2G), o começo do reconhecimento das virtudes ambientais da hidrólise enzimática [F6], e, por fim, a legitimação do etanol 1G por intermédio do programa Proálcool que, por sua vez, criou condições para que os atores do STI do etanol 2G buscassem, igualmente, legitimar o etanol 2G quer pela via da hidrólise ácida, quer pela emergente hidrólise enzimática [F7].

3.9.2 Período 1987-2010

O período 1987-2010, por sua vez, apresentou uma configuração institucional dominada por instituições regulatórias, mas com uma presença importante e equilibrada instituições

normativas e cultural-cognitivas. Ou seja, foram identificadas seis manifestações institucionais de cunho regulatório, três de natureza normativa e três instituições cultural-cognitivas.

Das seis instituições regulatórias identificadas, quatro foram relevantes, pois contribuíram para a transição da agenda da P&D do STI do etanol 2G no período 1987-2010, marcando, assim, um ponto de inflexão na trajetória de formação desse sistema de inovação. Trata-se do conjunto de regras constantes do programa PITE-FAPESP, das chamadas de proposta da FAPESP em parceria com Oxiteno e Dedini e o edital do CNPq 006/2009. Essas regras, voltadas ao apoio financeiro de projetos de P&D em etanol 2G, refletiram a passagem do interesse que atores empresariais e acadêmicos do STI tinham na hidrólise ácida para a hidrólise enzimática.

As regras do programa PITE-FAPESP, por exemplo, marcaram o compromisso com a hidrólise ácida, à medida que enquadraram a construção da planta demonstrativa da Dedini, baseada nessa tecnologia, como um projeto estratégico e inovador, o que resultou no aporte de recursos financeiros substanciais para a sua execução. As regras contidas nas chamadas da FAPESP em parceria com Dedini e Oxiteno, por sua vez, marcaram a transição de rota tecnológica para a produção de etanol 2G, à medida em que contemplaram linhas temáticas relacionadas tanto à hidrólise ácida quanto à hidrólise enzimática. Já as regras do edital CNPq 006/2009 refletiram a consolidação do compromisso brasileiro, mas também internacional, com a rota da hidrólise enzimática, considerando-a mais promissora para a viabilização da produção industrial do etanol 2G nos anos vindouros.

De acordo com Carvalho et al. (2005), a conformação de organizações às leis e regras constitui a base da legitimação que caracteriza o pilar da regulação. Isso parece ter ocorrido com as regras emanadas da FAPESP e do CNPq, pois os projetos de pesquisa submetidos e selecionados, ou mesmo o convênio da Dedini no âmbito do programa PITE, tiveram que se subordinar às mesmas como pré-requisito para a obtenção dos recursos financeiros disponibilizados. Embora regras existam em qualquer edital, chamada de proposta de pesquisa ou termo de convênio elaborado por entidades de fomento à pesquisa, a observação de que influenciam o direcionamento de trajetórias tecnológicas de um STI parece ter sido um achado importante da presente pesquisa.

Outras duas instituições regulatórias foram identificadas: a “cláusula do 1%” da Lei do Petróleo e o código de propriedade industrial (Lei 9.279/1996). Embora leis sejam elementos criados e sancionados por estruturas regulatórias (Orr & Scott, 2008; Scott, 2003) com vistas à

conformação do comportamento individual ou organizacional. No caso analisado as estruturas regulatórias responsáveis pela implementação dessas leis foram a ANP e o INPI, respectivamente. A “cláusula do 1%” dotou o STI com recursos financeiros para P&D e o código de propriedade industrial forneceu segurança jurídica para a proteção das inovações produzidas pelo STI do etanol 2G no período 1987-2010.

No que diz respeito às instituições normativas, a pesquisa identificou três manifestações específicas dessa natureza, isto é, a sustentabilidade ambiental, a economicidade dos processos de conversão de biomassa e a internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas. Dessas, as duas primeiras foram fundamentais para o processo formativo do STI do etanol 2G, uma vez que, respectivamente, estabeleceram a eficiência econômica e a contribuição ao meio ambiente como elementos normativos intrínsecos às tecnologias de etanol 2G e necessários à sua legitimação como biocombustível competitivo com o etanol 1G e, portanto, à sua viabilidade comercial. Em outras palavras, esses elementos se tornaram pré-requisitos obrigatórios a serem perseguidos pelos atores do STI do etanol 2G ou, utilizando a concepção de normas de Orr e Scott (2008), tornaram-se especificações de como as coisas deveriam ser feitas no âmbito do STI para tornar esse biocombustível aceitável comercialmente e socialmente.

Com o advento da internacionalização da pesquisa e das parcerias tecnológicas, a terceira instituição normativa, a busca pela economicidade dos processos de conversão de biomassa e pela sustentabilidade se tornou cada vez mais importante, uma vez que fora do Brasil esses dois elementos normativos parecem constituir os critérios principais contra os quais o sucesso do etanol 2G é julgado.

Por último, três instituições cultural-cognitivas foram identificadas no período 1987-2010, a saber, o paradigma da hidrólise ácida, o paradigma da hidrólise enzimática e o paradigma da pesquisa em redes. As duas primeiras também foram identificadas no período 1975-1986; entretanto, houve uma substancial mudança na força da influência que cada uma exerceu no processo de formação do STI do etanol 2G, ao longo do período 1987-2010.

A hidrólise ácida permaneceu como paradigma dominante do STI do etanol 2G entre 1987 e 2005, pois o único projeto desenvolvido, no Brasil, para a conversão de bagaço de cana-de-açúcar em etanol nesse intervalo, ou seja, a tecnologia DHR da empresa Dedini, era baseado nessa rota. O insucesso técnico e econômico dessa tecnologia, verificado em uma planta de produção em escala de demonstração, deu lugar ao paradigma da hidrólise enzimática que,

desde a experiência da empresa Bioferm e a criação do SHEB (anos 1970 e 1980, respectivamente), já vinha emergindo e se fortalecendo. O fortalecimento desse novo paradigma parece ter ganhado impulso à medida que a pesquisa em processos de hidrólise baseados em enzimas se ampliou no Brasil, contando, inclusive, com o reforço de eventos de comunicação científica que, tais como o SHEB, eram voltados a essa área como, por exemplo, o Enzitec e o SINAFERM. Esses três eventos ao longo dos anos 1990 e da primeira década dos anos 2000 foram realizados regularmente e, portanto, é plausível supor que tenham servido como fórum principal de troca de informações e experiências na área de hidrólise enzimática.

A hidrólise enzimática ganhou força no Brasil a partir de 2005 quando recursos orçamentários do governo federal, ou mesmo do exterior, foram destinados ao financiamento de projetos de pesquisa de grande envergadura (Projeto Bioetanol - UNICAMP, Bioetanol II-UFRJ, Proethanol 2G e CEPROBIO) inspirados nos avanços de P&D obtidos, principalmente, nos Estados Unidos pelo laboratório nacional NREL e, no Canadá, pela empresa Iogen. Ambas as organizações foram mencionadas em relatórios de estudos encomendados pela Presidência da República sobre as oportunidades do etanol combustível para o desenvolvimento econômico do Brasil e, portanto, foram utilizadas como referência em hidrólise enzimática para fins de comparação do progresso científico e tecnológico nacional nessa área.

A pesquisa em rede foi interpretada neste estudo como uma instituição cultural-cognitiva do STI do etanol 2G, pois as evidências colhidas indicam que sua adoção espontânea como modelo de organização das atividades de P&D tornou-se mais intensa a partir de 2005, com a formação da Rede Bioetanol e de outros grupos multi-institucionais de pesquisa nacionais e internacionais. Embora, aparentemente tenha se tornado uma norma a ser seguida pelos atores do STI, a adoção das redes de pesquisa como arranjo organizacional parece ter sido, de início, resultado de um consenso compartilhado por pesquisadores e agências de fomento à pesquisa e que, portanto, se configurou como um paradigma. Aparentemente, as redes de pesquisa formadas no Brasil para a pesquisa de processos biotecnológicos de produção de etanol 2G foram fundamentais para o fortalecimento da hidrólise enzimática como novo paradigma dominante do STI do etanol 2G.

O arcabouço institucional identificado nesta pesquisa ao longo do período 1987-2010 influenciou todas as funções do STI do etanol 2G, exceto a função formação de mercado [F5]. Contudo, a influência institucional se deu de forma mais intensa, principalmente, através das funções desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], influência da direção da busca [F3] e mobilização de recursos [F4], repetindo o mesmo padrão identificado no período 1975-1986.

A influência institucional sobre as funções F2, F3 e F4 reflete um estágio da formação do STI do etanol 2G em que predominaram as atividades de P&D, o financiamento dessas atividades com recursos majoritariamente públicos e a busca por uma base tecnológica que se mostrasse técnica e economicamente viável. Nessa fase, a trajetória tecnológica do STI foi alterada pela mudança de paradigma tecnológico que, inicialmente, estava assentado na hidrólise ácida e representado exclusivamente pela empresa Dedini (depois apoiada por CTC e FAPESP) bem como por sua insistência nessa rota de conversão de biomassa. Com a comprovação da inviabilidade da tecnologia desenvolvida pela Dedini, o paradigma da hidrólise ácida cedeu lugar para a hidrólise enzimática e a cana-de-açúcar como paradigma dominante.

Essa mudança estabeleceu um novo padrão tecnológico, baseado na biotecnologia (microrganismos e enzimas) e no aproveitamento da palha e bagaço da cana-de-açúcar, que passou a guiar [F3] a P&D [F2] e os investimentos financeiros [F4] necessários para que novos processos de conversão fossem desenvolvidos e tornassem a produção de etanol 2G técnica e economicamente viável no Brasil. Esse processo foi caracterizado pelo aprendizado pela busca (*learning by searching*), segundo classificação de Hekkert et al. (2007a), uma vez que as atividades de P&D conduzidas no país procuraram desenvolver novas soluções tecnológicas apropriadas à conversão da biomassa mais disponível no Brasil, ou seja, a cana-de-açúcar – matéria-prima não testada nos desenvolvimentos tecnológicos produzidos à época no NREL (Estados Unidos) ou na Iogen (Canadá).

As funções F1, F6 e F7 foram também influenciadas pelo arcabouço institucional regulatório, normativo e cultural-cognitivo identificado na pesquisa para o período 1987-2010; no entanto, essas funções não apresentaram proeminência na formação do STI do etanol 2G. Em síntese, essas funções refletiram, respectivamente: a iniciativa empreendedora da empresa Dedini ao conseguir apoio técnico (do CTC) e financeiro (da FAPESP) para a construção de uma planta em escala de demonstração para o teste de sua tecnologia DHR; o reconhecimento governamental das virtudes ambientais da hidrólise enzimática, o que foi utilizado como uma das justificativas para a alocação de recursos à pesquisa sobre processos baseados nessa rota; a competição por legitimidade protagonizada pelos seguidores do paradigma da hidrólise ácida e do paradigma da hidrólise enzimática.

3.9.3 Período 2011-2015

O último período da trajetória de quarenta anos da formação do STI do etanol 2G foi caracterizado por um arcabouço institucional com predominância regulatória, mas com forte

suporte normativo e cultural-cognitivo. Foram identificadas oito manifestações institucionais regulatórias, quatro instituições normativas e três instituições cultural-cognitivas.

Entre as oito manifestações institucionais de natureza regulatória identificadas na análise, a que promoveu maior influência na dinâmica da formação do STI do etanol 2G foi o conjunto de regras contido no edital do PAISS Industrial, elaborado por BNDES e FINEP. As demais instituições regulatórias, exceto a “cláusula do 1%” e a Lei da Biodiversidade, parecem ter sido consequência direta ou indireta dos desenvolvimentos promovidos pelos recursos financeiros concedidos por meio desse edital a determinados atores do STI.

O PAISS Industrial foi o instrumento financeiro governamental responsável por impulsionar a implantação de três infraestruturas industriais dedicadas à produção de etanol 2G com base na biomassa de cana-de-açúcar, sendo duas delas em escala comercial, bem como ampliar a P&D sobre esse biocombustível. As regras do edital do PAISS definiram critérios de seleção de planos de negócios submetidos por empresas interessadas em acessar os recursos financeiros disponibilizados sob a forma de crédito e subvenção econômica. Uma das principais exigências nesse edital foi a pré-definição da cana-de-açúcar como biomassa obrigatória a ser convertida em etanol 2G, o que teve implicações na busca por tecnologias disponíveis no Brasil e no mundo que fossem capazes de processar de forma eficiente essa matéria-prima.

Os três empreendimentos voltados à produção de etanol 2G apoiados pelo PAISS Industrial foram o CTC (planta-demonstração), GranBio (planta comercial) e Raízen (planta comercial), empresas que se conformaram às regras do referido edital e com os recursos obtidos construíram infraestruturas de produção para processamento de resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e/ou palha) baseadas no processo de hidrólise enzimática. A GranBio e a Raízen, por conta de suas plantas em escala comercial, desencadearam a constituição de outras instituições regulatórias, operadas pela ANP, destinadas a garantir a construção/operação dessas unidades de produção (autorizações ANP), bem como permitir a comercialização do etanol 2G produzido no mercado brasileiro – Resolução ANP 14/2014 que deu nova redação à Lei 12.490/2011 e Resolução ANP 19/2015 que acolheu o etanol 2G como tendo as mesmas características do etanol 1G. Isso fez com que as empresas produtoras de etanol passassem a se subordinar à autoridade reguladora da ANP e estarem sujeitas a um dos mecanismos de aplicação das regras que, segundo DiMaggio & Powell (1983), caracterizam as instituições regulatórias, ou seja, a coerção (em seu sentido jurídico).

A empresa GranBio, em particular, ao estabelecer sua planta de produção comercial em Alagoas, fez uso de uma instituição regulatória da Califórnia, nos Estados Unidos, com vistas à certificação de seu processo de produção. Essa instituição regulatória é chamada de *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS) e define parâmetros para avaliação do ciclo de emissões de gases de efeito estufa de processos de produção de biocombustíveis. O processo da GranBio foi aprovado pelos avaliadores do *California Air Resources Board* (CARB) criando a oportunidade de comercialização de seu etanol 2G no mercado californiano a um preço prêmio.

Outras três instituições identificadas na análise referente ao período 2011-2015 foram o código de propriedade industrial, a “cláusula do 1%” e a Lei da Biodiversidade. Respectivamente, essas instituições refletiram: a importância que as patentes tiveram na proteção de conhecimentos produzidos no âmbito das parcerias entre empresas produtoras de etanol 2G e seus fornecedores de tecnologia; a aplicação de recursos provenientes da exploração do petróleo na P&D em etanol 2G; a criação do marco regulatório que estabeleceu condições desburocratizadas e seguras para o desenvolvimento da biotecnologia industrial no Brasil nas próximas décadas.

Em relação às instituições normativas identificaram-se quatro manifestações que, por sua vez, estabeleceram “concepções de ação apropriada”, nos termos de (Scott, 1995, p.28), para a atuação, sobretudo das empresas produtoras de etanol 2G e de seus fornecedores de tecnologia. Duas dessas instituições foram herdadas do período 1987-2010, quais sejam, a economicidade dos processos de conversão de biomassa (também identificada no período 1975-1986) e a sustentabilidade. As outras duas foram identificadas como manifestações institucionais correlacionadas do período mais recente da formação do STI do etanol 2G, a saber: parcerias interorganizacionais para integração tecnológica e a P&D empresarial.

A economicidade das tecnologias de conversão de biomassa, mais do que nos dois períodos anteriores, tornou-se condição *sine qua non* no período 2011-2015, pois com o advento do PAISS Industrial, pela primeira vez na história do do etanol 2G brasileiro foram concedidos incentivos financeiros para que sua produção alcançasse a escala comercial a um custo competitivo com etanol 1G e, portanto, pudesse se legitimar como biocombustível viável e aceitável socialmente. Com isso, a pressão por economicidade nas tecnologias desenvolvidas se tornou mais intensa, uma vez que, sem competitividade em termos de custo de produção, o etanol 2G não gerará as receitas necessárias para honrar o pagamento do financiamento obtido junto ao BNDES e FINEP por parte de empresas como GranBio e Raízen. A menos que políticas de demanda ou de isenção tributária temporárias sejam formuladas, a fim de se garantir um

preço final competitivo até que os custos de produção do etanol 2G caiam com o aumento da escala, a economicidade permanecerá como um critério que se impõe como norma não só desejável, mas necessária à sobrevivência do STI do etanol 2G.

Quanto à sustentabilidade ambiental como instituição normativa, a análise dos dados mostra que, no período 2011-2015, sua importância para o processo de legitimação do etanol 2G foi notória. Enquanto a sustentabilidade se impunha como norma nos dois períodos anteriores da formação do STI do etanol 2G, no terceiro período de sua evolução se configurou como um valor intrínseco ao próprio biocombustível produzido. Com a consolidação da rota biotecnológica da hidrólise enzimática como tecnologia básica das plantas industriais construídas com apoio do PAISS Industrial, as virtudes ambientais do processo de produção do etanol 2G foram exaltadas principalmente por ser mais limpo do que o processo baseado em hidrólise ácida e do que o próprio processo de produção de etanol 1G. Portanto, considerando que a sustentabilidade tornou-se um valor societal global nas últimas décadas, o etanol 2G brasileiro apresentou-se como uma alternativa energética capaz de ir ao encontro desse valor.

O reconhecimento desse potencial não se circunscreveu apenas aos atores do STI do etanol 2G. A própria Presidente da República o fez publicamente quando da inauguração da planta industrial da Raízen, recomendando que o mesmo fosse feito nas negociações sobre mudanças climáticas no âmbito da COP 21. De fato, o governo brasileiro submeteu um documento à COP 21, o *Intended National Determined Contribution* (INDC), no qual se comprometeu a aumentar a participação dos biocombustíveis de segunda geração como forma de contribuir para manter o aquecimento global abaixo de 2° C. Além desse esforço governamental no plano internacional, cabe destacar o esforço de natureza privada por parte da GranBio em obter o reconhecimento da sustentabilidade do etanol 2G brasileiro, ao submeter o seu processo de produção à avaliação do CARB para obtenção da certificação LCFS.

As outras duas instituições normativas detectadas como influenciadoras do processo de formação do STI do etanol 2G foram as parcerias interorganizacionais e a P&D empresarial. Ambas guardam uma relação de interdependência, pois refletem práticas envolvendo atores empresariais em sua busca por soluções para problemas que surgiram com a construção e operação de suas respectivas plantas industriais. As parcerias interorganizacionais se impuseram como norma porque as empresas beneficiadas com recursos do PAISS Industrial, por não possuírem tecnologias próprias para a produção do etanol 2G, tiveram que recorrer a diferentes parceiros para que, por meio da integração de suas tecnologias, pudessem

desenvolver a melhor solução tecnológica para a conversão de palha e/ou bagaço de cana-de-açúcar.

Desse processo derivou a instituição normativa da P&D empresarial, prática que se tornou necessária por conta do conteúdo sigiloso das parcerias mencionadas no parágrafo anterior, o que, inclusive, implicou no recurso à proteção de patentes como forma de resguardar a exclusividade dos direitos de propriedade das tecnologias desenvolvidas. A importância da P&D empresarial tornou-se ainda maior após a observação de problemas na operação de uma das etapas do processo de produção nas plantas da GranBio e Raízen. Como o entendimento das empresas envolvidas nas parcerias de desenvolvimento tecnológico é de que a solução para esses problemas será encontrada em seus próprios departamentos de engenharia e P&D, as parcerias com pesquisadores de universidades e de centros de pesquisa foi deslocada para uma posição secundária no processo de desenvolvimento e difusão de conhecimentos no âmbito do STI.

Por fim, no que diz respeito às instituições de caráter cultural-cognitivo, a presente pesquisa encontrou evidências da existência de três manifestações institucionais dessa natureza: paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar, paradigma da biotecnologia industrial e percepção de baixo risco de tecnologias estrangeiras. O paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar consolidou-se definitivamente como consenso entre os atores do STI do etanol 2G, definindo o padrão tecnológico adotado pelos três empreendimentos industriais financiados pelo PAISS Industrial no período 2011-2015.

A adoção da rota da hidrólise enzimática como padrão tecnológico contribuiu para que a biotecnologia industrial ganhasse força e emergisse como uma instituição cultural-cognitiva a influenciar as ações, interações e investimentos não só dos atores do STI do etanol 2G, mas também de outros atores interessados no potencial que a tecnologia utilizada por esse sistema de inovação oferece para a viabilização de biorrefinarias baseadas na sucroquímica. Nesta pesquisa a biotecnologia industrial é entendida como um paradigma pois, de acordo com os dados colhidos via documentos e entrevistas, parece haver uma crença compartilhada de que essa área do conhecimento aplicado constituiu uma fronteira do progresso tecnológico que se apresenta como um dos setores estratégicos para o desenvolvimento econômico e tecnológico do Brasil nas próximas décadas.

Essa crença compartilhada, e aparentemente tida como uma força inexorável, adquiriu uma relevância institucional ainda maior com a criação, em abril de 2014, da Associação

Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), entidade fundada por doze empresas de grande porte, incluídas as envolvidas com a produção de etanol 2G, com o objetivo de conferir legitimidade ao segmento da biotecnologia industrial junto às autoridades governamentais e à sociedade em geral. Essa iniciativa parece confirmar Scott (2003), quando este afirma que na perspectiva cultural-cognitiva a base de conformidade institucional é formada por crenças dadas como certas (*taken-for-granted*).

Outra instituição de natureza cultural-cognitiva identificada na análise realizada foi a percepção de baixo risco de tecnologias estrangeiras que, por sua vez, reflete a crença compartilhada de que as tecnologias de conversão de biomassa em etanol 2G encontravam-se em estágio de desenvolvimento mais avançado em outros países. Isso parece ter influenciado a elaboração dos planos de negócios submetidos por empresas como o CTC, a GranBio e a Raízen ao processo seletivo do PAISS Industrial, bem como a seleção dos mesmos por parte do BNDES e da FINEP, já que um dos itens avaliados nos planos de negócio analisados eram as parcerias entre as empresas postulantes de recursos e organizações nacionais e estrangeiras e como tais parcerias contribuiriam para o alcance dos objetivos tecnológicos e comerciais dos empreendimentos planejados.

Embora técnicos do próprio BNDES e FINEP tenham levantado a hipótese, em um artigo, de que essa orientação internacional tenha a ver com o baixo volume relativo de recursos de subvenção econômica – o que supostamente permitiria correr riscos maiores com soluções tecnológicas brasileiras –, aparentemente não havia (e ainda não haja) tecnologias de hidrólise enzimática disponíveis no Brasil suficientemente desenvolvidas para o *scale-up* industrial. A fala do entrevistado PROD1 evidencia isso: “[...] todo o conhecimento hoje para o 2G está vindo de fora [F2]. Eu não tenho nada prático que se possa usar que está sendo desenvolvido aqui”.

As instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas identificadas no período 2011-2015 influenciaram todas as funções do STI do etanol 2G, mas com maior intensidade as funções experimentação empreendedora/empresarial [F1], desenvolvimento e difusão do conhecimento [F2], mobilização de recursos [F4] e legitimação [F7].

A maior influência institucional sobre as funções F1, F2, F4 e F7 expressa uma fase da evolução do STI do etanol 2G marcada pelo empreendedorismo visando à viabilização da produção comercial de etanol de bagaço e/ou palha de cana-de-açúcar, atividades de P&D com o objetivo de aprimoramento do processo de hidrólise enzimática e da resolução de problemas

na etapa de pré-tratamento de biomassa; à disponibilização de volume significativo volume de recursos públicos para o apoio de empreendedores; e, por fim, à busca por legitimação do etanol 2G como biocombustível estratégico para o Brasil.

Para Hekkert et al. (2007a), empreendedores podem ser novos entrantes ou empresas incumbentes, que diversificam suas estratégias de negócios para obterem vantagens resultantes de novos desenvolvimentos tecnológicos. No caso do STI do etanol 2G, houve o surgimento de três empreendimentos [F1] que se enquadram nessa classificação, ou seja, uma nova entrante sem experiência com a produção de etanol (GranBio) e duas empresas incumbentes, sendo uma com larga experiência na produção de etanol e maior *player* brasileiro nesse segmento (Raízen) e a outra com profundo conhecimento acumulado em P&D relacionada à cana-de-açúcar e etanol (CTC).

Impulsionadas pelo PAISS Industrial, iniciativa pioneira do BNDES e da FINEP que se uniram para disponibilizar apoio financeiro [F4] a empresas interessadas em desenvolver a indústria de etanol celulósico, GranBio, Raízen e CTC fizeram investimentos na construção de plantas de produção [F1] configuradas para operarem processos de biotecnologia industrial para conversão de palha e/ou bagaço de cana-de-açúcar em etanol 2G. Por meio de parceiras tecnológicas internacionais, essas três empresas adotaram soluções tecnológicas baseadas em hidrólise enzimática, rota considerada ambientalmente correta e já utilizada em escala comercial em alguns países.

Ao serem implantadas no Brasil, essas soluções tecnológicas tiveram que ser adaptadas à biomassa brasileira (bagaço e palha de cana-de-açúcar), o que implicou algum esforço de P&D por parte de seus fornecedores. Apesar disso, e tal como tem ocorrido em outras plantas de produção de etanol 2G no mundo, pelo menos duas das plantas instaladas com ajuda do PAISS Industrial apresentaram problemas na etapa do pré-tratamento da biomassa (erosão e entupimento de tubulações), o que tem comprometido a economicidade dessas unidades de produção. Em virtude desses problemas não detectados ou vislumbrados antes do *scale-up* tecnológico, há o entendimento por parte das empresas produtoras de etanol 2G e de seus fornecedores de tecnologia de que os conhecimentos necessários para sua solução dependem de desenvolvimentos de engenharia e não da pesquisa científica aplicada [F2].

Mesmo com esses problemas, é notório que houve um progresso tecnológico e institucional sem precedentes na história do STI do etanol 2G, o que criou as condições para que seus atores pudessem reivindicar a legitimidade [F7] do etanol 2G como o sucedâneo (ou

complemento) do etanol 1G mais ambientalmente correto, como solução para o aumento da produtividade do setor sucroenergético (aumento da quantidade total de etanol combustível produzido sem a necessidade de aumentar a área plantada com cana-de-açúcar) ou como exemplo do potencial oferecido pela biotecnologia industrial, já que é apenas um dos produtos que por ser produzido com base na hidrólise enzimática de biomassa.

Conforme observam Bergek et al.(2008b), a função legitimação refere-se à tentativa, por parte dos proponentes da tecnologia emergente, em torná-la aceita e desejada por atores relevantes com vistas à mobilização de recursos, criação de demanda e ao fortalecimento político do STI (Bergek et al., 2008b). No caso do STI do etanol 2G, a mobilização de recursos para o escalonamento de tecnologias de hidrólise enzimática partiu do governo federal (via BNDES e FINEP), pois o objetivo era criar as condições para que o etanol 2G pudesse ter comprovada a sua viabilidade técnica e econômica e, com isso, ser legitimado como biocombustível integrante da matriz energética nacional de transportes. Mas, depois que as empresas CTC, GranBio e Raízen construíram suas plantas, foi iniciado entre elas e outras nove empresas um processo de articulação política que resultou na criação da ABBI, entidade que assumiu a responsabilidade pela legitimação e defesa dos interesses dos produtores de etanol 2G e da biotecnologia industrial perante, principalmente, o governo federal. Uma das pautas mais prementes da ABBI tem sido a negociação com instâncias do governo federal (já em processo de discussão) para a formulação de uma política pública que estimule a demanda por etanol 2G pelo menos até que as economias de escala previstas com a otimização tecnológica e a ampliação do parque produtivo permitam que o custo de produção desse biocombustível se iguale aos custos do etanol 1G.

A influência institucional sobre as funções F3, F5 e F6 foi menor, mas não menos importante, para a formação do STI do etanol 2G. A função F3 refletiu a consolidação de expectativas em torno da hidrólise enzimática como rota tecnológica em torno da qual o desenvolvimento do etanol 2G deverá ocorrer, bem como a necessidade de torná-la economicamente eficiente para a produção de um biocombustível competitivo com o etanol 1G. Essa função refletiu também a expectativa de que a biotecnologia industrial criará oportunidades para o aproveitamento da biomassa de cana-de-açúcar para a produção de bioquímicos de alto valor agregado.

A formação de mercado [F5] tornou-se uma questão crucial para a viabilização do etanol 2G, no Brasil. Apesar de seu enquadramento na legislação regulatória vigente pela ANP, garantindo-lhe acesso ao grande mercado já ocupado pelo etanol 1G, parece ser consenso que,

por conta do baixo volume de produção de apenas duas empresas (GranBio e Raízen) e dos problemas tecnológicos enfrentados por elas, o etanol 2G não atingirá no curto prazo a economicidade necessária para competir no mercado nacional e internacional de biocombustíveis. Apesar dessa desvantagem, no período 2011-2015 houve um esforço para que as externalidades ambientais positivas do etanol 2G [F6] fossem promovidas (na COP 21, por exemplo) a fim de se gerar oportunidades futuras para a expansão de sua comercialização e produção.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES

Esta tese teve como objetivo geral analisar os vínculos de influência estabelecidos entre as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas e as funções do sistema tecnológico de inovação do etanol de segunda geração brasileiro (STI do etanol 2G) ao longo do processo de formação desse sistema.

Para a realização da pesquisa, conduziu-se um estudo de caso descritivo que, por meio de levantamento documental, entrevistas semiestruturadas e análise de eventos, permitiu construir uma narrativa histórica da formação do STI do etanol 2G, no intervalo 1975-2015, que, para fins analíticos foi escalonado em três períodos: 1975-1986, 1987-2010 e 2011-2015. Os dados obtidos foram interpretados com base no modelo teórico elaborado a partir das categorias institucionais de Scott (1995; 2003) e nas categorias da abordagem das funções de sistemas de inovação de Bergek et al. (2008b). Dessa forma, buscou-se identificar tanto a dinâmica do processo de formação do STI do etanol 2G bem como as manifestações institucionais regulatórias, normativas e cultural-cognitivas que influenciaram tal processo.

A análise dos dados provenientes da pesquisa documental e das entrevistas realizadas junto aos diferentes atores do STI do etanol 2G mostrou que, ao longo de quarenta anos, desde a gênese desse sistema de inovação, na segunda metade dos anos 1970, até o seu período mais recente (2011-2015), houve importantes desenvolvimentos institucionais e tecnológicos. Os resultados encontrados nessa análise, foram organizados de modo a atender aos três objetivos específicos que detalham o objetivo geral desta pesquisa, quais sejam: descrever o processo de formação do STI do etanol 2G de 1975 a 2015 e identificar as funções responsáveis pela dinâmica de sua evolução; identificar na descrição do processo de formação do STI do etanol 2G manifestações institucionais de natureza regulatória, normativa e cultural-cognitiva; analisar os vínculos de influência dessas instituições com as funções do STI do etanol 2G ao longo de seu processo de formação.

No primeiro período de seu processo de formação (1975-1986), a formação do STI do etanol 2G foi liderada pelo governo federal que, por intermédio dos ministérios da Indústria e do Comércio (MIC) e da Agricultura (MA), alocou substanciais recursos financeiros e humanos [F4] para a realização de atividades de P&D [F2] direcionadas, principalmente, para a rota tecnológica da hidrólise ácida [F3] – importada da União Soviética – aplicada ao processamento de madeira (eucalipto) e, em menor extensão, ao bagaço de cana-de-açúcar. Essa primeira etapa de formação foi influenciada por um arcabouço institucional constituído por pelo menos nove instituições identificadas, sendo cinco de natureza regulatória, três de caráter cultural-cognitivo

e uma do tipo normativo. As instituições regulatórias e cultural-cognitivas, portanto, foram as que mais influenciaram as transformações do STI do etanol 2G.

No campo regulatório foram relevantes os dispositivos legais que instituíram o programa Proálcool e a empresa COALBRA, o primeiro criando as condições para que a P&D em etanol 2G fosse introduzida no Brasil e a segunda servindo como a primeira iniciativa empreendedora de produção desse biocombustível em escala demonstrativa, baseada na tecnologia soviética de hidrólise ácida. Essas manifestações institucionais parecem ter sido o resultado formal de três instituições cultural-cognitivas identificadas na pesquisa, isto é, o paradigma da hidrólise ácida, a independência energética e o nacionalismo tecnológico.

O segundo período da formação do STI do etanol 2G (1987-2010), a exemplo do primeiro período, também foi movido por atividades de P&D [F2] financiadas majoritariamente por recursos estatais [F4], mas que se orientaram em diferentes momentos por rotas tecnológicas distintas [F3]. Entre 1987 e 2007, a dinâmica do STI foi protagonizada pelos esforços de P&D da empresa Dedini (coadjuvada pelo CTC entre 1997 e 2007 e, posteriormente, pela FAPESP entre 2002 e 2007) que, apoiada por recursos próprios e do governo do estado de São Paulo (via FAPESP), insistiu em desenvolver a rota da hidrólise ácida aplicando-a à conversão do bagaço de cana-de-açúcar em etanol (tecnologia DHR). A comprovação da inviabilidade da tecnologia da Dedini, após testes em escala de demonstração, foi identificada como um dos marcos principais da inflexão da trajetória tecnológica do STI do etanol 2G que, de 2007 até 2010, redirecionou os esforços de P&D para outra rota tecnológica: a hidrólise enzimática.

Nesse segundo período, a formação do STI foi protagonizada por redes de pesquisadores nucleadas em universidades públicas brasileiras que, financiadas com recursos majoritariamente do governo federal e em interação com empresas, centros de pesquisa e universidades internacionais, produziram importantes conhecimentos sobre conversão enzimática de bagaço e palha de cana-de-açúcar em etanol. Além da disponibilização de recursos financeiros para projetos de P&D, o governo federal deu uma forte contribuição ao redirecionamento da trajetória tecnológica do STI do etanol 2G com a criação do CTBE e da Embrapa Agroenergia, dois importantes centros de pesquisa que, entre outras linhas de pesquisa, dedicam especial atenção à produção de etanol 2G pela via enzimática.

O quadro institucional que influenciou o período 1987-2010 da formação do STI constituiu-se de pelo menos 12 instituições identificadas nesta pesquisa, entre as quais seis regulatórias, três normativas e três cultural-cognitivas. Nesse longo período marcado por uma

transição tecnológica, o poder de influência das instituições regulatórias foi contrabalançado pelas instituições normativas e cultural-cognitivas.

Na esfera regulatória, as regras formalizadas em chamadas de propostas de pesquisa da FAPESP e em um edital do CNPq foram as manifestações institucionais que mais influenciaram o STI do etanol 2G, com forte contribuição para a efetivação da mudança de trajetória tecnológica. No que diz respeito às instituições normativas, destacaram-se a economicidade das tecnologias de conversão de biomassa e a sustentabilidade ambiental, sendo a primeira uma norma obrigatória segundo a qual o sucesso tecnológico seria mensurado; e, a segunda, um valor societal a ser incorporado nas tecnologias de produção do etanol 2G. No campo cultural-cognitivo predominou a influência concorrente entre os paradigmas da hidrólise ácida e da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar, ambos representando o confronto entre crenças compartilhadas distintas que marcou o processo de redirecionamento tecnológico experimentado pelos atores do STI, a partir de 2007.

O terceiro e mais recente período da formação do STI do etanol 2G, correspondente ao intervalo 2011-2015, foi movido por recursos financeiros públicos [F4], empreendedorismo privado [F1], atividades de P&D empresariais [F2] e pelas tentativas de legitimação do etanol 2G como biocombustível estratégico para o Brasil. Nesse período, o BNDES e a FINEP, em uma iniciativa conjunta, elaboraram o PAISS Industrial que disponibilizou crédito e subvenção econômica para o financiamento da construção de plantas industriais e atividades de P&D. Três empresas financiadas por esses recursos, em particular, levaram a efeito a instalação de plantas em escala comercial (GranBio e Raízen) e de demonstração (CTC), o que gerou uma competição pelo desenvolvimento do processo mais eficiente de conversão enzimática de biomassa de cana-de-açúcar, competição esta marcada pelo recurso à proteção de patentes como forma de garantir exclusividade à detentora da eventual tecnologia vencedora.

Para tanto, essas empresas formaram parcerias tecnológicas internacionais com empresas que já possuíam tecnologias de hidrólise enzimática testadas em escala de demonstração e comercial e, por meio de atividades de P&D conjunta, iniciaram um esforço para a adaptação dessas tecnologias para a conversão do bagaço e da palha da cana-de-açúcar em etanol 2G. A operação comercial das plantas da GranBio e Raízen, no entanto, a exemplo do que tem ocorrido com outras plantas de produção fora do Brasil, tem enfrentado problemas não previstos que surgiram, especificamente, no processo de pré-tratamento da biomassa (furos e entupimentos por conta de impurezas minerais), o que colocou em risco a viabilidade do etanol 2G nesses empreendimentos e do próprio STI estruturado em torno desse biocombustível.

Apesar desse obstáculo, cuja solução, segundo alguns entrevistados, está em via de ser encontrada, foi possível constatar que o reconhecimento dado pelo governo brasileiro ao etanol 2G (e à biotecnologia industrial) como biocombustível estratégico para a matriz energética nacional de transportes, financiando seu desenvolvimento e escalonamento tecnológico com recursos do BNDES e FINEP, permitiu com que sua produção em grande escala, e de modo economicamente eficiente, ficasse relativamente muito próxima de se concretizar, o que, do ponto de vista institucional, confere um grau de legitimidade inédito ao STI que em torno dele se estruturou ao longo dos últimos quarenta anos. As análises, aqui realizadas, sugerem que, em virtude desses fatores, os atores empresariais do etanol 2G têm se articulado para capitalizar sobre tal legitimidade, criando espaços de defesa de seus interesses, como a ABBI, para convencer o governo federal a formular políticas de demanda que incentivem o consumo e a produção do etanol 2G em sua fase introdutória no mercado nacional de biocombustíveis, bem como políticas e um marco regulatório que favoreçam o desenvolvimento da biotecnologia industrial (e biorrefinarias) no Brasil.

O arcabouço institucional que influenciou a formação do STI do etanol 2G no período 2011-2015, foi formado por pelo menos quinze instituições identificadas na pesquisa, sendo oito de natureza regulatória, quatro de caráter normativo e três de cunho cultural-cognitivo. Tal como no período anterior, o poder de influência das instituições regulatórias, embora em maior número, foi contrabalançado pelas instituições normativas e cultural-cognitivas.

Entre todas as manifestações institucionais regulatórias, as regras formais contidas no edital do PAISS Industrial foram as que produziram efeitos substanciais no STI do etanol 2G, mais até que os dispositivos legais estabelecidos pela agência reguladora ANP. As regras desse edital influenciaram o empreendedorismo, decisões tecnológicas e articulação de parcerias para a viabilização da produção do etanol 2G no Brasil. No campo normativo, entre as quatro instituições identificadas, a economicidade das tecnologias de conversão de biomassa e a sustentabilidade ambiental permaneceram como instituições com forte influência sobre o STI, ambas se consolidando como normas básicas para a viabilidade das tecnologias desenvolvidas para a produção do etanol 2G. Por fim, entre as instituições de natureza cultural-cognitiva, destacaram-se o paradigma da hidrólise enzimática e da cana-de-açúcar e o paradigma da biotecnologia industrial. O primeiro consolidando a crença compartilhada entre os atores do STI de que a rota enzimática e a cana-de-açúcar constituem a base do desenvolvimento tecnológico do etanol 2G, no Brasil. O segundo, ampliando a concepção de que o etanol 2G constitui o primeiro passo para o desenvolvimento da biotecnologia como setor estratégico da economia brasileira.

Os resultados encontrados mostram que, ao longo dos quarenta anos do processo formativo do STI do etanol 2G, ocorreu um crescimento de seu quadro institucional que, de nove instituições no período 1975-1986, passou a doze no período 1987-2010, chegando a 15 instituições identificadas no período 2011-2015. Essas instituições estabeleceram vínculos com o STI, influenciando as funções responsáveis por sua gênese e dinâmica de formação. Confirmando o pressuposto do modelo teórico elaborado para este trabalho, ou seja, de que a influência institucional sobre a formação de sistemas tecnológicos de inovação deve ser inferida por meio da análise da vinculação institucional com as sete funções do sistema de inovação, a presente pesquisa verificou que os vínculos institucionais não se limitam a influenciar particularmente às funções influência sobre a direção da busca [F3] e legitimação [F7], conforme sugerem Bergek et al. (2008a). Exceto pelo período 1987-2010, em que a função formação de mercado [F5] não sofreu efeitos de nenhuma das doze manifestações institucionais identificadas, observou-se que, nos demais períodos analisados, as sete funções (experimentação empreendedora/empresarial, desenvolvimento e difusão de conhecimento, influência sobre a direção da busca, mobilização de recursos, formação de mercado, desenvolvimento de externalidades positivas e legitimação) do STI do etanol 2G foram influenciadas por uma ou mais instituições.

A adoção da abordagem das funções de sistemas de inovação para inferir o arranjo institucional de cada período da formação do STI e a sua influência sobre esse processo, corroborando Jacobsson e Bergek (2004), permitiu compreender como as instituições moldam a geração, difusão e utilização de uma tecnologia. De modo mais específico, a interpretação dos dados obtidos por meio de documentos e entrevistas possibilitam dizer que as instituições identificadas moldaram a trajetória tecnológica do STI do etanol 2G ao longo de sua história de formação, ou seja, que o arcabouço institucional identificado entre 1975 a 1986 influenciou a adoção da hidrólise ácida como tecnologia básica do STI e o eucalipto como matéria-prima para a produção de etanol.

No período 1987-2010, o mais longo dos períodos analisados, constatou-se a formação de um quadro institucional que contribuiu para a transição de trajetória tecnológica do STI, isto é, entre 1987 e 2007, houve a insistência no desenvolvimento da hidrólise ácida, por conta da iniciativa de uma única empresa (a Dedini¹¹⁹) e, entre 2007 e 2010, ocorreu a mudança tecnológica para a hidrólise enzimática, pelo menos no âmbito da pesquisa em escala de laboratório e piloto – com enfoque no bagaço e na palha de cana-de-açúcar como matérias

¹¹⁹ Coadjuvada tecnicamente pelo CTC (entre 1997 e 2007) e financeiramente por FAPESP (de 2002 a 2007).

primas preferenciais. No período 2011-2015, as instituições identificadas influenciaram a consolidação da hidrólise enzimática como tecnologia básica do STI do etanol 2G, em escala industrial, e o bagaço e a palha de cana-de-açúcar como matérias primas básicas.

Embora a influência reversa da tecnologia sobre as instituições do STI do etanol 2G não tenha sido estudada com profundidade, os dados analisados sugerem que as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas coevoluem com a trajetória tecnológica desse sistema de inovação. Em outras palavras, à medida que o desempenho das tecnologias adotadas ou desenvolvidas pelo STI é aferido por seus atores, obtem-se informações que retroalimentam, principalmente, o processo de formação e desenvolvimento de instituições cultural-cognitivas (crenças compartilhadas, percepções, expectativas, *frameworks* cognitivas) que, por sua vez, são contingenciadas pela imposição de instituições normativas (normas e valores) e, por fim, se formalizam por meio de instituições regulatórias (leis e outros dispositivos infralegais formais). Esse achado reforça a afirmação de Nelson (2002) de que a coevolução entre tecnologias físicas e instituições (tecnologias sociais) é a essência do conceito de sistemas de inovação.

Dessa forma, frente aos resultados aqui encontrados, torna-se possível responder à questão que norteou a presente pesquisa e da qual deriva o seu objetivo geral: *Como as instituições se vinculam às funções de um sistema tecnológico de inovação e influenciam as transformações que nele ocorrem ao longo do seu processo de formação?*

Ou seja, as instituições identificadas com base em documentos e entrevistas vinculam-se ao STI do etanol 2G por intermédio de todas as sete funções que correspondem às atividades básicas desempenhadas por seus atores (e redes de atores), visando à formação e ao desenvolvimento tecnológico do sistema, isto é, à experimentação empreendedora/empresarial, ao desenvolvimento e difusão de conhecimento, influência sobre a direção da busca, mobilização de recursos, à formação de mercado, ao desenvolvimento de externalidades positivas e à legitimação. Com base nesses vínculos, as instituições influenciaram ações e interações dos atores do STI, bem como as inovações tecnológica produzidas ao longo de quarenta anos, da seguinte maneira:

- Instituições regulatórias: por meio de regras e dispositivos legais que formalizam decisões – no caso do STI estudado, decisões governamentais – que direcionam recursos financeiros para o seu desenvolvimento tecnológico, tal como, por exemplo, o PAISS Industrial, ou que produzem as condições jurídicas para a legitimação das inovações produzidas ou do produto delas derivado, conforme pode ser evidenciado pelos dispositivos regulatórios operados pela ANP (autorizações e resoluções relativas à produção e comercialização do etanol 2G, por exemplo);

- Instituições normativas: por meio da imposição de normas e valores expressos em concepções que definem o que é considerado apropriado ou requisitos básicos para o desenvolvimento do STI como, por exemplo, sustentabilidade ambiental e economicidade;
- Instituições cultural-cognitivas: por meio de paradigmas tecnológicos, crenças compartilhadas ou *frameworks* cognitivas que moldam as expectativas dos atores STI e direcionam suas ações e investimentos para o desenvolvimento de trajetórias tecnológicas, baseadas em determinados processos ou matérias primas como, por exemplo, hidrólise ácida e hidrólise enzimática ou madeira e bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente.

4.1. Contribuições da pesquisa

Com base nos resultados obtidos por esta pesquisa, acredita-se ser possível listar algumas contribuições, que dela derivam em termos teóricos, metodológicos, de formulação de política pública e gerencial.

Do ponto de vista teórico, este trabalho contribuiu para o avanço da análise institucional em sistemas de inovação, linha de pesquisa defendida por Nelson (2002) e Hollingsworth (2000), mas que, conforme demonstrou o levantamento do estado-da-arte apresentado na seção 1.4, aparentemente está subdesenvolvida, haja vista a pequena quantidade de trabalhos publicados em periódicos, não tendo sido encontrado nenhum trabalho produzido no Brasil. Somando-se aos esforços pioneiros de Wirth et al. (2013) e Markard et al. (2016), a pesquisa conduzida incorporou a teoria neo-institucional da sociologia organizacional aos estudos sobre sistemas tecnológicos de inovação, com o objetivo de investigar o papel que instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas, segundo a classificação de Scott (1995), desempenham na formação desses sistemas.

Em termos metodológicos, a contribuição desta tese reside na operacionalização das categorias institucionais de Scott (1995) e da abordagem das funções de sistemas de inovação de modo que, por meio da análise de sua vinculação mútua, seja possível encontrar evidências da influência institucional no processo de formação de um sistema de inovação específico. Para tanto, lançou-se mão da análise histórica de eventos, que possibilitou a reconstituição e organização cronológica da história do STI do etanol 2G e do desenvolvimento de suas funções ao longo do tempo. Com base nessa reconstituição, foram identificadas as manifestações institucionais que influenciaram a formação do STI, uma vez que as instituições, juntamente

com atores, redes e tecnologia são os elementos estruturais que dinamizam as funções de um sistema de inovação.

Os resultados desta pesquisa contribuem também para a formulação da política pública, à medida que a aplicação da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação e, mais especificamente, a utilização da abordagem das funções, podem ser ferramentas úteis para que o formulador da política possa examinar e compreender a dinâmica da formação de um sistema de inovação e como as instituições influenciam esse processo. Ao se conhecer as instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas que influenciam um STI pode-se conceber políticas públicas de suporte mais sensíveis às demandas dos atores que o compõem e ao direcionamento do seu desenvolvimento. Isso, segundo Wirth et al. (2013), torna as políticas públicas mais eficazes, à medida em que alinham-se às particularidades do STI.

Por último, tem-se a contribuição que este trabalho oferece aos gestores de organizações pertencentes a sistemas tecnológicos de inovação emergentes, como no caso do etanol 2G. Entende-se que esses profissionais podem se beneficiar da abordagem das funções de sistemas de inovação e da análise institucional de modo a compreenderem melhor a influência e o papel que as instituições cumprem no processo empreendedor e no desenvolvimento, uso e difusão de tecnologias emergentes e ambientalmente sustentáveis, bem como na formação de redes e coalizões de interesses que contribuem para a viabilização de mercados e legitimação de tais tecnologias. Espera-se que, com isso, os aspectos institucionais relacionados, particularmente, à inovação tecnológica em energia sustentável sejam incorporados à formulação de estratégias e à elaboração de planos de negócios de modo a permitir que as empresas se posicionem diante dos desafios e oportunidades que se apresentam nesse importante segmento promotor da transição tecnológica que, eventualmente, poderá libertar as nações de seu aprisionamento às fontes energéticas de carbono, ou *carbon lock-in* (Unruh, 2000).

4.2 Limitações da pesquisa

O presente trabalho possui algumas limitações que merecem ser destacadas. Deve ser destacado que houve dificuldade de acesso a uma base maior de fontes documentais, o que prejudicou a identificação de eventos, dados ou informações deixando vazios na análise histórica. Exemplos disso são a pouca disponibilidade em bibliotecas ou websites dos anais dos três principais eventos que abordam a hidrólise enzimática no Brasil (SINAFERM, SHEB e Enzitec). Isso fez com que não fosse possível conduzir um levantamento dos trabalhos apresentados nesses eventos voltados exclusivamente à temática do etanol 2G. Ou ainda, o pouco acesso a registros documentais relacionados ao processo de desenvolvimento da

tecnologia DHR pela empresa Dedini entre 1987 a 2002. Esse problema poderia ser, eventualmente, superado com a realização de entrevistas com executivos dessa organização ou outros indivíduos que tenham participado do desenvolvimento da referida tecnologia; mas, apesar das tentativas não foi possível lograr êxito nessa tarefa. Tais limitações e dificuldades também foram relatadas por Suurs (2009) em sua ampla pesquisa comparativa sobre sistemas tecnológicos de inovação em energia renovável

Outra limitação desta pesquisa foi a dificuldade de acesso a pesquisadores de universidades e centros de pesquisa, cujo depoimento poderia agregar informações sobre eventos relevantes para a reconstituição do STI do etanol 2G. Recomenda-se que outras pesquisas apliquem as abordagens de sistemas tecnológicos de inovação e funções de sistemas de inovação em uma perspectiva temporal longitudinal, entrevistando um maior número de indivíduos ligados as atividades de pesquisa científica aplicada e ao desenvolvimento tecnológico em departamentos de P&D.

Por fim, como pode ser observado na presente pesquisa, a maior parte dos eventos identificados consistiu de ocorrências de mudanças no STI do etanol 2G de caráter positivo, ou seja, eventos que promoveram avanços do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico e institucional desse sistema, em vez de retrocessos. Por conta disso, a análise procedida destacou mais virtudes do que problemas, o que significa dizer que as conclusões obtidas podem conter um viés muito mais favorável ao STI do etanol 2G do que a realidade efetivamente percebida por seus atores pode sugerir.

4.3 Agenda de pesquisa

Para que a pesquisa possa avançar com mais estudos que empreguem a abordagem neo-institucional em sistemas tecnológicos de inovação recomenda-se a seguinte agenda de pesquisa:

- Replicar a metodologia e o modelo teórico deste estudo em outros sistemas tecnológicos de inovação baseados em energia renovável tais como etanol de terceira geração, biogás, bioquerosene, células a combustível, energia eólica ou energia fotovoltaica, com vistas à sua validação;
- Realizar estudos comparativos entre sistemas tecnológicos de inovação localizados em diferentes países com vistas à identificação de padrões comuns e divergentes de influência institucional na formação e desenvolvimento desses sistemas. Embora a comparação de instituições de diferentes países seja uma tarefa complexa, entende-se que o esforço pode ser útil para a compreensão dos

fatores regulatórios, normativos e cultural-cognitivos que favorecem ou inibem a adoção de tecnologias emergentes;

- Complementar a análise institucional de sistemas tecnológicos de inovação com o exame dos contextos de origem das instituições identificadas. Segundo Markard et al. (2015), uma das críticas recebidas pela abordagem de sistemas tecnológicos de inovação é a sua relativa negligência aos fatores contextuais. Bergek et al. (2015), sugerem quatro contextos que podem ser estudados: o tecnológico, o setorial, o geográfico e o político. Diferentemente desses autores que recomendam a análise contextual vinculada a um STI específico, sugere-se aqui que esta análise seja concentrada nos contextos tecnológico, setorial, geográfico e político das instituições do STI;
- Enfocar a análise institucional de sistemas tecnológicos de inovação nas instituições cultural-cognitivas e normativas, uma vez que a influência dessas instituições parece ser mais intensa do que as instituições formais (regulatórias), porém mais difícil de se captar. Wirth et al. (2013) já fizeram um estudo pioneiro dessa natureza no STI do biogás austríaco que pode servir de referência para pesquisadores interessados em dar continuidade à investigação desses autores;
- Realizar estudos com enfoque nas influências negativas das instituições regulatórias, normativas e cultural-cognitivas sobre sistemas tecnológicos de inovação, visando compreender como isso pode inibir ou mesmo inviabilizar o desenvolvimento tecnológico desses sistemas e, portanto, o seu sucesso;

A partir dessa agenda de pesquisa, espera-se ser possível a utilização da abordagem de sistemas tecnológicos de inovação e de categorias do neo-institucionalismo da sociologia organizacional para estudar a interação instituições-inovação, sobretudo no âmbito do desenvolvimento de tecnologias com potencial de promover a transição para um futuro mais sustentável.

S.D.G.

REFERÊNCIAS

- Abbot, A. (1995). Sequence analysis: new methods for old ideas. *Annual Review of Sociology*, 21, 93-113.
- Afuah, A. N., & Utterback, J. M. (1997). Responding to structural industry changes: a technological evolution perspective. *Industrial and Corporate Change*, 6 (1), 183-202.
- Aguilera-Caracuel, J., & Ortiz-de-Mandojana, N. (2013). Green innovation and financial performance: an institutional approach. *Organization & Environment*, 26(4), 365-385.
- Ahn, M. J., York, A. S., Sohn, S. Y., & Benyamini, P. (2013). Biotechnology innovation: a legitimacy-based view. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 10(4), 1-21.
- Alexander, E. A. (2012). The effects of legal, normative, and cultural-cognitive institutions on innovation in technology alliances. *Management International Review*, 52(6), 791-815.
- Alkemade, F., Kleinschmidt, C., Hekkert, M. (2007). Analyzing emerging innovation systems: a functions approach to foresight. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 3, 139-168.
- Amarasekara, A.S. (2014). *Handbook of cellulosic ethanol*. Scrivener Publisher, Salem, Massachusetts.
- Arora, S., Romijn, H. A., & Caniëls, M. C. J. (2013). Governed by history: institutional analysis of a contested biofuel innovation system in Tanzania. *Industrial and Corporate Change*, 23(2), 573-607.
- Barbosa, N., & Faria, A. P. (2011). Innovation across Europe: how important are institutional differences? *Research Policy*, 40, 1157-1169.
- Bardin, L. (1986). *El analisis de contenido*. Madrid: Ediciones Akal.
- Bergek, A. (2002). Shaping and exploiting technological opportunities: the case of renewable energy technology in Sweden. PhD thesis, Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Bergek, A. (2012). Ambiguities and challenges in the functions approach to TIS analysis: a critical literature review. *3rd International Conference on Sustainability Transition 2012*, August 29-31 Copenhagen.
- Bergek, A., Hekkert, M., & Jacobsson, S. (2008a). Functions in innovation systems: a framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers. In: Foxon, T., Köhler, J., & Oughton, C. (Eds.) (2008). *Innovations for a low carbon economy: economic, institutional and management approaches*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, S., & Truffer, B. (2015). Technological innovation systems in contexts: conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 51-64.
- Bergek, A., & Jacobsson, S. (2003). The emergence of a growth industry: a comparative analysis of the German, Dutch and Swedish wind turbine industries. In: Metcalfe, S., & Cantner, U. (eds). *Change, transformation and development*. Physica-Verlag: Heidelberg.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., Rickne, A. (2005). Analyzing the dynamics and functionality of sectoral innovation systems: a manual. Paper presented at the *10 Year Anniversary DRUID Summer Conference*, June 25-27, Copenhagen.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., Rickne, A. (2008b). Analyzing the functional dynamics of technological innovations systems: a scheme of analysis. *Research Policy*, 37, 407-429.
- Bergek, A., Jacobsson, Hekkert, M., & Smith, K. (2010). Functionality of innovation systems as a rationale for and guide to innovation policy. In: Smits, R., Kuhlmann, S., & Shapira, P.

- (Eds.). *Innovation policy, theory and practice: an international handbook*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Berger, P. L., & Luckmann, T. (1991). *The social construction of reality: a treatise in the sociology of knowledge*. London: Penguin Books.
- Bon, E. P. S., & Ferrara, M. A. (2007, outubro). Bioethanol production via enzymatic hidrolisis of cellulosic biomass. Documento preparado para o Seminário da FAO *The Role of Agricultural Biotechnologies for Production of Bioenergy in Emerging Countries*, Roma, Itália, p. 1-11. Retrieved from: <http://www.fao.org/biotech/seminaroct2007.htm>
- Buckeridge, M. S., & Goldman, G. H. (Eds.) (2011). *Routes to cellulosic ethanol*. Springer, New York.
- Carlsson, B. (2006). Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. *Research Policy*, 35, 56-67.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, 31, 233-245.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1, 93-118.
- Carney, R. W., & Zheng, L. Y. (2009). Institutional (dis)incentives to innovate: an explanation for Singapore's innovation gap. *Journal of East Asia Studies*, 9, 391-319.
- Carvalho, A. C., & Vieira, M. F. M. (2003). Contribuições da perspectiva institucional para a análise das organizações: possibilidades teóricas, empíricas e de aplicação. In Carvalho, A. C., & Vieira, M. F. (Eds). *Organizações, cultura e desenvolvimento local: a agenda de pesquisa do Observatório da Realidade Organizacional*. Recife: EDUFEPE
- Carvalho, A. C., Vieira, M. F. M., & Goulart, S. (2005). A trajetória conservadora da teoria institucional. *Revista de Administração Pública*, 39(4), 849-874.
- Casper, S., & Matraves, C. (2003). Institutional frameworks and innovation in the German and UK pharmaceutical industry. *Research Policy*, 32, 1865-1879.
- Castro, M. H. M., & Schwartzman, S. (2008). *Tecnologia para a indústria: a história do Instituto Nacional de Tecnologia*. Ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais.
- Cooke, P., Uranga, M.G., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26, 475-491.
- Coriat, B., & Weinstein, O. (2002). Organizations, firms and institutions in the generation of innovation. *Research Policy*, 31, 273-290.
- Crubellate, J. M., Grave, P. S., & Mendes, A. A. (2004). A questão institucional e suas implicações para o pensamento estratégico. *Revista de Administração Contemporânea*, Edição Especial, 37-60.
- Dantas, E., & Figueiredo, P. (2009). The evolution of the knowledge accumulation function in the formation of the Brazilian biofuels innovation system. Paper presented at *VII Globelics Conference*, Dakar, 6-8 October.
- Deeds, D. L., Mang, P. Y., & Frandsen, M. L. (2004). The influence of firms' and industries' legitimacy on the flow of capital into high-technology ventures. *Strategic Organization*, 2(1), 9-34.
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147-160.
- Doloreux, D., & Parto, S. (2004). Regional innovation systems: a critical review. United Nations University, INTECH, Discussion Paper Series.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11, 147-162.

- Dosi, G., & Nelson, R. R. (2013). The evolution of technologies: an assessment of the state-of-the-art. *Eurasian Business Review*, 3(1), 3-46.
- Dunham, F. B. (2009). Mudança tecnológica e institucional em sistemas de inovação: análise histórica da indústria de álcool combustível no Brasil. PhD Thesis. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Edquist, C. (2001). The systems of innovation approach and innovation policy: an account of the state of the art. *Paper presented at DRUID Conference, Aalborg*, 12-15 June.
- Edquist, C. (2004). Reflections on the systems of innovation approach. *Science and Public Policy*, 31(6), 485-489.
- Edquist, C., & Johnson, B. (1997). Institutions and organizations in systems of innovation. In: Edquist, C. (Ed.). *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*. Pinter Publishers, London.
- Emmert, G. H., & Blotkamp, P. J. (1980). *U.S. Patent No. 4,220,721*. Washington, DC. U.S. Patent and Trademark Office.
- Fargerberg, J., Fosaas, M., & Sapprasert, K. (2012). Innovation: exploring the knowledge base. *Research Policy*, 41, 1132-1153.
- Freeman, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-24.
- Furtado, A. T., Scandiffio, M. I. G., & Cortez, L. A. B. (2011). The Brazilian sugarcane innovation system. *Research Policy*, 39, 156-166.
- Gibson, W., & Brown, A. (2009). *Working with qualitative data*. London: Sage Publications.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2006). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New Brunswick: Aldine Transaction.
- Godoy, A. S. (2010). Estudo de caso qualitativo. In: Godoi, C. K., Bandeira-de-Mello, R., & Silva, A. B. (Eds.). *Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais: paradigmas, estratégias e métodos*. 2a ed. Saraiva: São Paulo.
- Hamelinck, C. N., Van Hooijdonk, G., Faaij, A. P. C. (2005). Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-, and long term. *Biomass and Bioenergy*, 28, 384-410.
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *The American Journal of Sociology*, 82(5), 929-964.
- Hardless, Christian, & Jaffar, Ahmad (2011). Heterogeneous inter-organizational IT innovation creation: institutional constraints in a public sector oriented market. *Scandinavian Journal of Innovation Systems*, 23(1), 29-58.
- Hargadon, A. B., & Douglas, Y. (2001). When innovations meet institutions: Edison and the design of the electric light. *Administrative Science Quarterly*, 46, 476-501.
- Hawley, A. (1968). Human ecology. In Sills, D. L. (Ed.). *International Encyclopedia of the Social Sciences*, New York: Macmillan.
- Hekkert, M. P., Harmsen, R., & de Jong, A. (2007b). Explaining the rapid diffusion of Dutch cogeneration by innovation system functioning. *Energy Policy*, 35, 4677-4687.
- Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., & Harmsen, R. (2011). *Technological innovation system analysis: a manual for analysts*. Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Hekkert, M. P., Negro, S. O. (2008). Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. *Technology Analysis and Strategic Management*, 20(4), 465-482.
- Hekkert, M. P., Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 584-594.

- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007a). Functions of innovation systems: a new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 413-432.
- Hellsmark, H., & Jacobsson, S. (2009). Opportunities for and limits to academics as system builders: the case of realizing the potential of gasified biomass in Austria. *Energy Policy*, 37 (12), 5597-5611.
- Hillman, K. M., Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Sandén, B. A. (2008). Cumulative causation in biofuels development: a critical comparison of the Netherlands and Sweden. *Technology Analysis and Strategic Management*, 20 (5), 593-612.
- Hollingsworth, J. R. (2000). Doing insitutional analysis: implications for the study of innovations. *Review of International Political Economy*, 7 (4), 595-644.
- Huang, Y. H., & Wu, J. H. (2007). Technological system and renewable energy policy: a case study of solar photovoltaic in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 345-356.
- Hung, S. (2000). Institutions and systems of innovation: an empirical analysis of Taiwan`s personal computer competitiveness. *Technology in Society*, 22, 175-187.
- Hudson, L., Winskel, M., & Allen, S. (2011). The hesitant emergence of low carbon technologies in the UK: the micro-CHP innovation system. *Technology Analysis and Strategic Management*, 23 (3), 297-312.
- Jacobsson, S. (2008). The emergence and troubled growth of a “biopower” innovation system in Sweden. *Energy Policy*, 36, 1491-1508.
- Jacobsson, S., & Bergek, A. (2004). Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. *Industrial and Corporate Change*, 13 (5), 815-849.
- Jacobsson, S., & Johnson, A. (2000). The diffusion of renewable energy technology: na analytical framework and key issues for research. *Energy Policy*, 28, 625-640.
- Johnson, A., & Jacobsson, S. (2001). Inducement and blocking mechanisms in the development of a new industry: the case of renewable energy technology in Sweden. In: Coombs, R., Green, K., Richards, A., & Walsh, V. (eds). *Technology and the market: demand, users and innovation*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Johnson, A. (1998). Functions in innovation system approaches. Mimeo, Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Johnson, F. X., & Silveira, S. (2014). Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden. *Environmental Innovations and Societal Transitions*, 11, 1-24.
- Klepper, S. (1997). Industry life cycles. *Industrial and Corporate Change*, 6 (1), 145-181.
- Langley, A. (1999). Strategies for theorizing from process data. *The Academy of Management Review*, 24 (4), 691-710.
- List, F. (1986). *Sistema nacional de economia política*. 2a. ed. Nova Cultural, São Paulo.
- Liu, X., Jiang, S., Chen, H., Larson, C. A., & Roco, M. C. (2015). Modelling knowledge diffusion in scientific innovation networks: an institutional comparison between China and US with illustration for nanotechnology. *Scientometrics*, 105, 1953-1984.
- Liu, Y. (2011). High-tech ventures` innovation and influences on institutional voids. *Journal of Chinese Entrepreneurship*, 3(2), 112-133.
- Lundvall, B-Å. (1992). *National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning*. Pinter Publishers, London.
- Lundvall, B-Å. (2005). National innovation systems: analytical concept and development tool. *Paper presented at DRUID Tenth Anniversary Summer Conference, Copenhagen, 27-29 June*.

- Lundvall, B.-Å., Johnson, B., Andersen, E.S., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31, 213-231.
- Lynn, L.H., Reddy, N.M., & Aram, J.D. (1996). Linking technology and institutions. *Research Policy*, 25, 91-106.
- Machado-da-Silva, C. L., Guarido Filho, E. R., & Rossoni, L. (2006). Organizational fields and structuration perspective: analytical possibilities. *Brazilian Administration Review*, 3(2), 32-56.
- Machado-da-Silva, C. L., Fonseca, V. S., & Crubellate, J. M. (2010). Estrutura, agência e interpretação: elementos para uma abordagem recursiva do processo de institucionalização. *Revista de Administração Contemporânea*, 77-107.
- Malerba, F. (1993). The national system of innovation: Italy. In: Nelson, R.R. (Ed.) (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press, Oxford.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31, 247-264.
- Malerba, F. (Ed.) (2004). *Sectoral systems of innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe*. Cambridge University Press, New York.
- March, J. G., & Olsen, J. P. (1984). The new institutionalism: organizational factors in political life. *The American Political Science Review*, 78(3), 734-749.
- Markard, J., Hekkert, M. P., & Jacobsson, S. (2015). The technological innovation systems framework: response to six criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 76-86.
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41, 955-967.
- Markard, J., & Truffer, B. (2008a). Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework. *Research Policy*, 37, 596-615.
- Markard, J., & Truffer, B. (2008b). Actor-oriented analysis of innovation systems: exploring micro-meso level linkages in the case of stationary fuel cells. *Technology Analysis and Strategic Management*, 20 (4), 443-464.
- Markard, J., Wirth, S., & Truffer, B. (2016). Institutional dynamics and technology legitimacy: a framework and a case study on biogas technology. *Research Policy*, 45, 330-344.
- Marques, P. (2015). Why did the Portuguese economy stop converging with the OECD: Institutions, politics and innovation. *Journal of Economic Geography*, 15, 1009-1031.
- Martin, B.R. (2012). The evolution of science policy and innovation studies. *Research Policy*, 41, 1219-1239.
- Matias, C. A. (2011). Co-evolução dos componentes do marco institucional e das trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no setor de agro-energia (etanol) no Brasil (1970-2009). Master's Dissertation. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, Brazil.
- Matias, C. A., Souza, G. S., & Figueiredo, P. N. (2013). Co-evolution of institutional frameworks and technological capability building across different industrial regimes. *Journal for Global Business Communities*, 4 (1), 65-80.
- Ménard, C., & Shirley, M. M. (2005). *Handbook of new institutional economics*. Dordrecht: Springer.
- Meyer, J. W. (1977). The effects of education as an institution. *The American Journal of Sociology*, 83(1), 55-77.
- Meyer, J. W., & Rowan, B. (1977). Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony. *American Journal of Sociology*, 83(2), 340-363.
- Milanez, A. Y., Nyko, D., Valente, M. S., Sousa, L. C., Bonomi, A., Jesus, C. D. F., Watanabe, M. D. B., Chagas, M. F., Rezende, M. C. A. F., Cavalett, O., Junqueira, T. L., & Gouvêia, V. L. R. (2015). Da promessa à realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a

- indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*, 41, 237-294.
- Moraes, M. A. F. D., & Zilberman, D. (2014). *Production of ethanol from sugarcane in Brazil: from state intervention to a free market*. New York, Springer.
- Negro, S. O., & Hekkert, M. P. (2008). Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20 (4), 465-482.
- Negro, S. O., Hekkert, M. P., Smits, R. E. (2007). Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion: a functional analysis. *Energy Policy*, 35, 925-938.
- Negro, S. O., Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P. (2008). The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands: explaining the rise and fall of an emerging innovation system. *Technological Forecasting & Social Change*, 75, 57-77.
- Nelson, R.R. (1991). Why do firms differ, and how does it matter? *Strategic Management Journal*, 12, 61-74.
- Nelson, R.R. (Ed.) (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press, Oxford.
- Nelson, R.R. (1995a). Recent evolutionary theorizing about economic change. *Journal of Economic Literature*, 32, 48-90.
- Nelson, R.R. (1995b). Co-evolution of industry structure, technology and supporting institutions, and the making of comparative advantage. *International Journal of the Economics of Business*, 2 (2), 171-184.
- Nelson, R.R. (2001). The coevolution of technology and institutions as the driver of economic growth. In: Foster, J., & Metcalfe, J. S. (Eds). *Frontiers of evolutionary economics: competition, self-organization and innovation policy*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Nelson, R.R. (2002). Technology, institutions, and innovation systems. *Research Policy*, 31, 265-272.
- Nelson, R.R. (2008). What enables rapid economic progress: what are the needed institutions? *Research Policy*, 37, 1-11.
- Nelson, R.R., & Sampat, B. N. (2001). Making sense of institutions as a factor shaping economic performance. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 44 (1), 31-54.
- Nelson, R.R., & Winter, S.G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.
- Nitsch, M. (1991). O programa de biocombustíveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira. *Revista de Economia Política*, 2 (42), 11, 123-138.
- North, D. C. (1986). The new institutional economics. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 142(1), 230-237.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- North, D. C. (1991). Institutions. *The Journal of Economic Perspectives*, 5 (1), 97-112.
- Nyko, D., Garcia, J.L.F., Milanez, A.Y., & Dunham, F.B. (2010) A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, 32, 5-48.
- Nyko, D., Valente, M. S., Dunham, F. B., Milanez, A. Y., Costa, L. M., Pereira, F. S., Tanaka, A. K. R., & Rodrigues, A. V. P. (2013). Planos de fomento estruturados podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados. *BNDES Setorial*, 38, 55-78.
- OECD. (1997). *National innovation systems*. Paris: OECD.
- Olivério, J. L., & Hilst, A. P. (2005, fevereiro). DHR: Dedini rapid hydrolysis: revolutionary process for producing alcohol from sugarcane bagasse. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*, Guatemala City, Guatemala, 25.

- Oluwatobi, S., Efobi, U., Olurionola, I., & Alege, P. (2014). Innovation in Africa: why institutions matter. *South African Journal of Economics*, 83(3), 390-410.
- Orr, R. J., & Scott, W. R. (2008). Institutional exceptions on global projects: a process model. *Journal of International Business Studies*, 39, 562-588.
- Oyelaran-Oyeyinka, B. (2006). Systems of innovation and underdevelopment: an institutional perspective. *Science, Technology and Society*, 11(2), 239-269.
- Perez, C. (1983). Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems. *Futures*, 357-375.
- Pinto, H., & Pereira, T. S. (2013). Efficiency of innovation systems in Europe: an institutional approach to the diversity of national profiles. *European Planning Studies*, 21(6), 755-779.
- Powell, W. W. (1991). Expanding the scope of institutional analysis. In Powell, W. W., & DiMaggio, P. J. (Eds). *The new institutionalism in organizational analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Powell, W. W., & DiMaggio, P. J. (1991). *The new institutionalism in organizational analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Praetorius, B., Martiskainen, M., Sauter, R., & Watson, J. (2010). Technological innovation systems for microgeneration in the UK and Germany: a functional analysis. *Technology Analysis and Strategic Management*, 22 (6), 745-764.
- Prata, J., Beirão, N., & Tomioka, T. (1999). *Sérgio Motta: o trator em ação*. São Paulo: Geração Editorial.
- Quitow, R. (2015). Dynamics of policy-driven market: the co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 126-148.
- Rohracher, H., Truffer, B., & Markard, J. (2008). Doing institutional analysis of innovation systems: a conceptual framework. Paper presented at the *DIME Conference*, Bordeaux.
- Romijn, H., Raven, R., & de Visser, I. (2010). Biomass energy experiments in rural India: insights from learning-based development approaches and lessons for strategic niche management. *Environmental Science and Policy*, 13, 326-338.
- Rosário, F. J. P., & Fonseca, M. G. D. (2008). Transformações industriais e sistemas setoriais de inovações: progresso técnico e implicações na dinâmica da agroindústria sucroenergética no Brasil. *Economia Política do Desenvolvimento*, 1 (2), 95-134.
- Rowan, B. (2010). Organizational institutionalism at Stanford: reflections on the founding of a 30-year theoretical research program. In Schoonhoven, C. B., & Dobbin, F. (Eds.). *Stanford's organization theory renaissance 1970-2000*. Bingley: Emerald Group.
- Sandén, B. A., & Hillman, K. M. (2011). A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. *Research Policy*, 40, 403-414.
- Santos, L. V., Grassi, M. C. B., Gallardo, J. C. M., Pirolla, R. A. S., Calderón, L. L., Carvalho-Netto, O. V., Parreiras, L. S., Camargo, E. L. O., Drezza, A. L., Missawa, S. K., Teixeira, G. S., Lunardi, I., Bressiani, J., & Pereira, G. A. G. (2016). Second-generation ethanol: the need is becoming a reality. *Industrial Biotechnology*, 12 (1), 40-57.
- Shikida, P. F. A., & Bacha, C. J. C. (1999). A evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. *Revista Brasileira de Economia*, 53 (1), 69-89.
- Schumpeter, J.A. (1961). *Capitalismo, socialismo e democracia*. Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro.
- Scott, W. R. (1987). The adolescence of institutional theory. *Administrative Science Quarterly*, 32(4), 493-511.
- Scott, W. R., & Meyer, J. W. (1991). The organization of societal sectors: propositions and early evidence. In Powell, W. W., & DiMaggio, P. J. (1991). *The new institutionalism in organizational analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Scott, W. R. (1995). *Institutions and organizations*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Scott, W. R. (2003). Institutional carriers: reviewing modes of transporting ideas over time and space and considering their consequences. *Industrial and Corporate Change*, 12(4), 879-894.
- Scott, W. R. (2005). Institutional theory: contributing to a theoretical research program. In Smith, K. G., & Hitt, M. A. (2005). *Great minds in management: the process of theory development*. Oxford: Oxford University Press.
- Scott, W. R. (2008). Approaching adulthood: the maturing of institutional theory. *Theory and Society*, 37, 427-442.
- Selznick, P. (1996). Institutionalism “old” and “new”. *Administrative Science Quarterly*, 41(2), 270-277.
- Simões, J. (2007). Pesquisadores da UFRJ selecionam melhores organismos para hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. *Inovação Unicamp*, p. 1-4.
- Smith, A. (2005). *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*. Retrieved from <http://www2.hn.psu.edu/faculty/jmanis/adam-smith/wealth-nations.pdf>
- Smith, A., Stirling, A., & Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, 34, 1491-1510.
- Smith, A., Vob, J-P., & Grin, J. (2010). Innovation studies and sustainability transitions: the allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research Policy*, 39, 435-448.
- Sousa, L. C. (2015). O setor sucroenergético e sua dinâmica de inovação. PhD Thesis. Universidade de Brasília, Brasília, Brazil.
- Suurs, R. A. A. (2009). *Motors of sustainable innovation: towards a theory on the dynamics of technological innovation systems*. Utrecht University, Utrecht.
- Suurs, R. A. A., & Hekkert, M. P. (2009a). Competition between first and second generation technologies: lessons from the formation of a biofuels innovation system in the Netherlands. *Energy*, 34, 669-679.
- Suurs, R. A. A., & Hekkert, M. P. (2009b). Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: the case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 1003-1020.
- Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2010). Understanding the formative stage of technological innovation system development: the case of natural gas as an automotive fuel. *Energy Policy*, 38, 419-431.
- Szmrecsányi, T., & Moreira, E. P. (1991). O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. *Estudos Avançados*, 11 (5), 57-79.
- Tolbert, P. S., & Zucker, L. G. (1983). Institutional sources of change in the formal structure of organizations: the diffusion of civil service reform 1880-1935. *Administrative Science Quarterly*, 28(1), 22-39.
- Tolbert, P. S., & Zucker, L. G. (1996). The institutionalization of institutional theory. In Clegg, S. R., & Hardy, C. (Eds). *Studying organization: theory & method*. London: Sage Publications.
- Triviños, A. N. S. (1987). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas.
- Truffer, B., Rohracher, H., & Markard, J. (2009, June). The analysis of institutions in technological innovation systems: a conceptual framework applied to biogas development in Austria. *Paper presented at DRUID Conference*, Copenhagen.
- Truffer, B., Markard, J., Binz, C., & Jacobsson, S. (2012). A literature review on energy innovation systems: structure of an emerging scholarly field and its future research directions. EIS Radar Paper.
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28, 817-830.
- Utterback, J. M. (1996). *Dominando a dinâmica da inovação*. Qualitymark, Rio de Janeiro.

- Utterback, J. M., & Abernathy, W. J. (1975). A dynamic model of process and product innovation. *Omega*, 3 (6), 639-656.
- Van Alphen, K., Hekkert, M. P., & Turkenburg, W. C. (2009a). Comparing the development and deployment of carbon capture and storage technologies in Norway, the Netherlands, Australia, Canada and the United States: an innovation system perspective. *Energy Procedia*, 1, 4591-4599.
- Van Alphen, K., Van Ruijven, J., Kasa, S., Hekkert, M., & Turkenburg, W. (2009). The performance of the Norwegian carbon dioxide, capture and storage innovation system. *Energy Policy*, 37, 43-55.
- Van Alphen, K., Noothout, P. M., Hekkert, M. P., & Turkenburg, W. C. (2010). Evaluating the development of carbon capture and storage technologies in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 971-986.
- Van de Ven, A. H., & Huber, G. P. (1990). Longitudinal field research methods for studying processes of organizational change. *Organization Science*, 1 (3), 213-219.
- Van de Ven, A. H., & Poole, M. S. (1990). Methods for studying innovation development in the Minnesota Innovation Research Program. *Organization Science*, 1 (3), 313-335.
- Van Dijk, S., Berends, H., Jelinek, M., Romme, A. G. L., & Weggeman, M. (2011). Micro-institutional affordances and strategies of radical innovation. *Organization Studies*, 32(11), 1485-1513.
- Van Eijck, J. V., & Romijn, H. (2008). Prospects for Jatropha biofuels in Tanzania: an analysis with strategic niche management. *Energy Policy*, 36, 311-325.
- Varrichio, P. C., & Queiroz, S. (2010). Innovation and knowledge production in traditional sectors: the Brazilian bioethanol case. Paper presented at the *DRUID-DIME Academy Winter 2010 PhD Conference on Innovation, Knowledge and Entrepreneurship*, Aalborg, 21-23 January.
- Vermeulen, P., Büch, R., & Greenwood, R. (2007b). The impact of governmental policies in institutional fields: the case of innovation in the Dutch Concrete Industry. *Organization Studies*, 28(4), 515-540.
- Vermeulen, P. A. M., Van den Bosch, F. A. J., & Volberda, H. W. (2007a). Complex incremental product innovation in established service firms: a micro institutional perspective. *Organization Studies*, 28(10), 1523-1546.
- Wirth, S., Markard, J., Truffer, B., & Rohracher, H. (2013). Informal institutions matter: professional culture and the development of biogas technology. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 8, 20-41.
- Wu, J. (2013). Diverse innovation environment and product innovation of emerging market firms. *Management International Review*, 53, 39-59.
- Wu, J., Wu, Z., & Zhuo, S. (2015). The effects of institutional quality and diversity of foreign markets on exporting firms innovation. *International Business Review*, 24, 1095-1106.
- Zucker, L. G. (1977). The role of institutionalization in cultural persistence. *American Sociological Review*, 42(5), 726-743.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 1: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE EMPRESAS PRODUTORAS DE ETANOL 2G E EMPRESAS FORNECEDORAS DE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre sua empresa:
 - Quando foi fundada.
 - Quais os seus principais produtos e serviços.
 - Mercados de atuação.
 - Qual produto, solução ou tecnologia oferece/utiliza para a produção de etanol 2G.
 - Quando a empresa entrou no negócio do etanol 2G.
2. Fale sobre quais eram as expectativas que sua empresa tinha quando iniciou o desenvolvimento/adoção da tecnologia que fornece/utiliza equais são as expectativas neste momento.
3. Fale sobre os desenvolvimentos tecnológicos de sua empresa relacionados ao etanol 2G:
 - Descreva o processo pelo qual a tecnologia fornecida/utilizada por sua empresa foi desenvolvida.
 - Onde e quando começou o seu desenvolvimento e se houve testes, experimentos, protótipos, unidades demonstrativas antes de seu lançamento comercial.
 - Fale sobre o(s) principal(is) aprendizado(s) obtidos até o momento por sua empresa com o desenvolvimento/utilização dessa tecnologia.
 - Existência de algum processo de aperfeiçoamento tecnológico, ou desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas ao etanol 2G, em curso no momento.
 - Indicar se para tais processos de desenvolvimento tecnológico há financiamento/subsídios públicos. Se sim, quais? Se não, quais são os principais financiadores privados?
 - Existência de algum aspecto técnico relacionado à tecnologia que a empresa fornece/utiliza que tenha constituído algum obstáculo ou exigido uma atenção especial por parte da P&D ou do pessoal técnico.
 - Tipo de infraestrutura que foi necessária para o desenvolvimento/utilização da tecnologia e para sua viabilização comercial.
 - Indicar se a tecnologia desenvolvida/utilizada pela empresa já sofre algum tipo de regulação técnica ou legal. Se sim, qual(is)?
 - Tipo de significado cultural ou social que, na opinião do entrevistado, a tecnologia fornecida/utilizada por sua empresa possui, considerando-se a fronteira tecnológica que o etanol 2G representa.

- Tipos de redes nas quais a empresa está inserida e como elas estão relacionadas como o desenvolvimento/adoção da tecnologia que fornece/utiliza para a produção do etanol 2G.
- Tipos de relacionamentos desenvolvidos com outras organizações ou instituições (nacionais ou internacionais) ao longo da trajetória da empresa no segmento do etanol 2G. Por exemplo: alianças, parcerias, acordos de cooperação, pesquisa consorciada, associações etc.

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.
- Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
- Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.

6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
 8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
 9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc.).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE B – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 2: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE MINISTÉRIOS

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre seu departamento/área:
 - Quando ele(a) foi criado(a).
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as políticas/programas (ou recursos) que o seu ministério/departamento/área coordena para atender ao desenvolvimento e difusão de tecnologias de produção de etanol 2G:
 - Quando essas políticas/programas foram iniciadas (em que elas se inspiraram) e qual tem sido a sua evolução desde então.
 - Resultados atingidos até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas políticas/programas.
 - Como elas são operacionalizadas.
3. Fale sobre as interações/relacionamentos que o seu ministério/departamento mantém com os atores interessados no etanol 2G (indústria, universidades, institutos de pesquisa, outros órgãos e agências governamentais dentro e fora do país).

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.

- Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE C – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 3: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE AGÊNCIAS OU FUNDAÇÕES GOVERNAMENTAIS (FOMENTO)

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre seu departamento/área.
 - Quando ele(a) foi criado(a).
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as ações/programas (linhas de apoio financeiro) que a sua agência/departamento tem desenvolvido para atender a geração, desenvolvimento e difusão de tecnologias de produção do etanol 2G.
 - Quando essas ações/programas foram iniciados (em que eles foram inspirados) e qual tem sido sua evolução até o momento.
 - Resultados atingidos até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas ações/programas.
 - Como elas são operacionalizadas.
3. Fale sobre os tipos de interações que essas ações/programas mantêm com os atores diretamente interessados no etanol 2G (indústria, universidades, institutos de pesquisa, órgãos e agências governamentais dentro e fora do país).

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.
 - Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.

18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE D – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 4: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE AGÊNCIA DE REGULAÇÃO

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre seu departamento/área.
 - Quando ele(a) foi criado(a).
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as ações de regulamentação que seu departamento tem desenvolvido para atender a geração, desenvolvimento e difusão de tecnologias de produção do etanol 2G.
 - Quando essas ações de regulamentações foram iniciadas (em que eles foram inspirados) e qual tem sido sua evolução até o momento.
 - Resultados foram atingidos até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas ações de regulamentação.
3. Fale sobre os tipos de interações que sua agência/departamento mantêm com atores diretamente interessados no etanol 2G (indústria, universidades, institutos de pesquisa, órgãos e agências governamentais dentro e fora do país).

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.

- Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE E – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 5: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE BANCO DE DESENVOLVIMENTO

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre seu departamento/área.
 - Quando ele(a) foi criado(a).
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as ações/linhas de crédito que o banco tem colocado à disposição para atender ao desenvolvimento e difusão de tecnologias de produção de etanol 2G.
 - Quando essas ações/linhas de crédito foram iniciadas (em que elas se inspiraram) e qual tem sido a sua evolução.
 - Resultados foram atingidos até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas ações/linhas de crédito.
 - Como elas têm sido operacionalizadas.
3. Fale sobre os tipos de interações/relacionamentos que o banco ou seu departamento mantém com os atores interessados no etanol 2G (indústria, universidades, institutos de pesquisa, outros órgãos e agências governamentais).

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.

- Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE F – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 6: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE CENTROS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E UNIVERSIDADES

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre o seu centro/departamento/ grupo de pesquisa.
 - Quando ele foi criado.
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as linhas de pesquisa que têm sido desenvolvidas pelo seu centro/departamento/grupo de pesquisa relacionadas ao etanol 2G.
 - Quando elas começaram a ser realizadas e qual tem sido a sua evolução ao longo do tempo.
 - Resultados alcançados até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas linhas de pesquisa.
 - Envolvimento de pesquisadores (universidades) de outros países.
3. Fale sobre os tipos de interações que essas pesquisas vêm mantendo com os atores diretamente interessados no etanol celulósico (indústria, universidades, institutos de pesquisa, órgãos e agências governamentais dentro e fora do país) ao longo do tempo.

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

4. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

5. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.

- Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
6. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
7. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

10. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
11. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

12. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
 - Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.
13. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
 - Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.
14. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

15. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

16. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

17. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
18. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE G – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 7: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DE ASSOCIAÇÕES DE CLASSE

1º Bloco de Temas

1. Fale sobre sua associação (departamento na associação).
 - Quando ele(a) foi criado(a).
 - Com qual(is) propósito(s).
2. Fale sobre as expectativas (e a visão) do setor sucroenergético frente à fronteira tecnológica representada pelo etanol 2G.
 - Avaliação sobre o interesse e disposição do setor em investir no desenvolvimento tecnológico e comercial das tecnologias de produção dessa nova geração de biocombustível.
3. Fale a respeito de como sua associação tem encaminhado a temática do etanol 2G e quais têm sido as ações que ela tem conduzido nesse sentido.
 - Quando essas ações foram iniciadas.
 - Resultados atingidos até o momento.
 - Objetivos e expectativas em relação a essas ações.
 - Como são operacionalizadas.
4. Fale sobre os tipos de interações/relacionamentos que a sua associação/área mantém com os atores interessados no etanol celulósico (indústria, universidades, institutos de pesquisa, outros órgãos e agências governamentais dentro e fora do país).

2º Bloco de Temas

Experimentação Empreendedora/Empresarial

5. Fale sobre as forças e as deficiências dos empreendedores (firmas) que têm atuado no segmento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Grau de inovação dos empreendedores mencionados frente aos desafios tecnológicos do etanol 2G.
- Conhecimento sobre os tipos de experimentos tecnológicos realizados ou desenvolvimento pelos empreendedores mencionados.
- Avaliação sobre se o desempenho dos empreendedores mencionados em termos de seus experimentos tecnológicos e produção constitui uma barreira para que o etanol 2G avance para um novo estágio de desenvolvimento.

Desenvolvimento e difusão de conhecimento

6. Fale sobre a quantidade e a qualidade do conhecimento desenvolvido no Brasil sobre etanol 2G.

Explorar:

- Se tal conhecimento é suficiente para o desenvolvimento desse biocombustível no Brasil e se constitui uma barreira para o progresso do etanol 2G no Brasil.
 - Os atores que têm sido os principais responsáveis pela produção desse conhecimento.
 - Se o tipo de conhecimento desenvolvido até o momento atende as necessidades do segmento do etanol 2G.
7. Fale a respeito dos projetos e investimentos em P&D sua empresa relacionados ao etanol 2G.

Obter:

- A descrição dos projetos e informações sobre a existência de patentes depositadas pela empresa.
8. Fale sobre a troca de conhecimentos entre a ciência (academia) e a indústria do etanol 2G.
9. Fale sobre a troca de conhecimentos entre os usuários da tecnologia do etanol 2G (plantas de produção) e a indústria que a desenvolve e produz.
10. Fale sobre a troca de conhecimentos em nível internacional (entre Brasil e outros países), tanto no âmbito da indústria como da ciência.

Explorar:

- Se há alguma área problemática em termos de troca de conhecimentos entre os atores envolvidos no desenvolvimento do etanol 2G.
- Se a troca de conhecimentos entre os atores ligados ao etanol 2G constitui uma barreira para o seu desenvolvimento e difusão no Brasil.

Influência sobre a direção da busca

11. Fale sobre a sua visão e a visão dos atores ligados ao etanol 2G (firmas, academia, governo) sobre como esse biocombustível deve se desenvolver em termos de “design” tecnológico e de crescimento de mercado nos próximos anos.

Explorar

- Expectativas do entrevistado a respeito do campo tecnológico do etanol 2G.
 - Se há alinhamento entre as visões e as expectativas dos diferentes atores envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.
 - Se as visões e expectativas existentes (ou a falta delas) têm bloqueado o desenvolvimento do etanol 2G no país.
12. Fale sobre as políticas públicas relacionadas ao etanol 2G.

Explorar:

- A existência (ou ausência) de políticas públicas relacionadas ao etanol 2G e os seus objetivos.

Mobilização de recursos

13. Fale sobre os recursos humanos envolvidos com o desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- Se os recursos humanos têm sido suficientes para o desenvolvimento do etanol 2G e, em que medida sua quantidade e qualidade tem constituído uma barreira para o segmento.
- Onde tem sido formado o pessoal que atua (ou poderá atuar) na indústria do etanol 2G.

14. Fale sobre os recursos financeiros alocados ao desenvolvimento do etanol 2G no Brasil.

Explorar:

- A disponibilidade recursos financeiros para investimento no desenvolvimento do etanol 2G, se tem sido suficientes e em que medida têm constituído uma barreira para o segmento.
- Quem tem financiado os investimentos já realizados e ora em curso.

15. Fale sobre a infraestrutura disponível ou necessária no Brasil para o desenvolvimento do etanol 2G.

Explorar:

- Expectativas de restrições de infraestrutura ou recursos físicos que possam impedir ou dificultar o desenvolvimento e a difusão da tecnologia de produção do etanol 2G.
- Avaliação sobre se a infraestrutura disponível está suficientemente desenvolvida para suportar a difusão do etanol 2G no país.

Formação de mercado

16. Fale sobre a formação do mercado para o etanol 2G brasileiro

Explorar:

- O tamanho esperado do mercado e se é suficiente ou se constitui uma barreira para o desenvolvimento e a viabilização do etanol 2G no Brasil.
- Em que se baseia essa expectativa (projetos instalados, em construção, previstos etc).
- O que deve ser feito, na opinião do entrevistado, para se expandir o mercado do etanol 2G.

Desenvolvimento de externalidades positivas

17. Fale sobre os benefícios que o etanol 2G oferece ou pode oferecer para o Brasil em termos sociais, econômicos, ambientais, de matriz energética de combustíveis e de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Legitimação

18. Fale sobre a existência ou ausência de pressão política (lobby)/sensibilização em curso a fim de obter apoio governamental, da indústria sucroenergética ou da sociedade para a viabilização ou expansão do mercado para o etanol 2G no Brasil.
19. Fale sobre eventuais resistências que o etanol 2G tem enfrentado para ser adotado pela indústria sucroenergética ou para se constituir como uma nova indústria (independente do setor sucroenergético).

APÊNDICE H – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 8: ENTREVISTA COM REPRESENTANTES DO GRUPO HISTÓRICO (UFRJ e USP/LORENA – Relativas ao INT)

1. Temas e questões norteadoras da entrevista

1. Qual é a sua área de pesquisa atualmente? Qual é a ligação/interação dessa área com o etanol celulósico? Explorar:
 - principais linhas de pesquisa;
 - fontes de financiamento;
 - inserção internacional (universidades, empresas e/ou pesquisadores estrangeiros);
 - interações com outras universidades/centros de pesquisas brasileiros;
 - interações com empresas de etanol celulósico.
2. A Sra. Trabalhou no INT nos anos 1970 na equipe do pesquisador João Consane Perrone? Descreva as atividades de pesquisa que vocês desenvolviam para a obtenção de etanol de madeira. Explorar:
 - em qual contexto a(s) pesquisa(s) foi iniciada (motivações, incentivos, etc.);
 - como o governo apoiou tal iniciativa;
 - qual era o estado da arte dos conhecimentos científicos e tecnológicos àquela época;
 - quais foram os avanços obtidos e lições aprendidas nas fases de pré-tratamento, hidrólise e fermentação.
3. O que aconteceu depois? Quem se apropriou dos resultados obtidos (academia, indústria e governo)?
4. Naquele tempo já se pensava na rota enzimática para a hidrólise da biomassa? Se não, como esse conhecimento se desenvolveu no Brasil ao longo de tempo?
5. Quais centros de pesquisa de destacaram entre os anos 1970 e 1980 no que diz respeito aos conhecimentos em hidrólise de biomassa (ácida e enzimática) para a obtenção de etanol? E nos anos 1990 e 2000 (até recentemente)?
6. Quais os principais fóruns (eventos) de divulgação científica brasileiros onde os conhecimentos associados à hidrólise de biomassa têm sido comunicados e discutidos?
7. Como as agências de fomento à pesquisa têm apoiado as investigações científicas na área de biocombustíveis avançados (notadamente de etanol celulósico)?
8. De que forma os conhecimentos produzidos pelas pesquisas do INT contribuíram para o estado da arte que temos hoje no Brasil no tocante ao etanol celulósico?
9. A Sra. conhece o processo de produção de etanol celulósico das empresas Raízen, Granbio e CTC? Quais são as suas impressões e opiniões sobre os avanços tecnológicos que essas empresas e seus fornecedores têm desenvolvido até o presente momento?

10. A Sra. acredita na viabilidade técnica e econômica do processo dessas empresas? E do etanol celulósico em si aqui no Brasil? Quais são suas expectativas?
11. A Sra. acha que o Brasil está atrasado nessa categoria tecnológica? Por que a hidrólise ácida não logrou êxito no nosso país? A hidrólise enzimática logrará?
12. Quais são os principais desafios científicos que, na sua opinião, devem ser superados para que o etanol celulósico seja amplamente produzido no Brasil nos próximos anos?
13. O que o seu centro de pesquisa tem feito para avançar o conhecimento na área do etanol celulósico?

APÊNDICE I – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

ROTEIRO 9: ENTREVISTA COM REPRESENTANTE DO GRUPO HISTÓRICO (COALBRA – ex-diretor)

1. Temas e questões norteadoras da entrevista

1. Em qual contexto foi criada a COALBRA e com qual propósito? Naquela época, quando vocês se engajaram nesse projeto, qual era a motivação principal?
2. Qual Ministério estava ligado a COALBRA?
3. O Sr. participou das missões técnicas à União Soviética? Houve missões em outros países?
4. Quem, no governo federal, teve participação no processo de constituição da COALBRA?
5. Quais foram os principais desafios ou problemas enfrentados nos processos de implantação e operação da planta da COALBRA? Que providências foram tomadas para superá-los?
6. Explique as etapas do processo de produção utilizado na planta da COALBRA.
7. Houve alguma articulação da COALBRA com universidades ou centro de pesquisas para adaptação de processos/tecnologias ou desenvolvimento de novos processos/novas tecnologias?
8. Como foi a participação dos soviéticos na transferência de tecnologia para a COALBRA?
9. Havia consenso de que a hidrólise ácida era, de fato, a melhor rota tecnológica para se extrair etanol de madeira?
10. O etanol produzido pela COALBRA chegou a ser comercializado? Para qual empresa?
11. O Sr. conhece o processo de produção de etanol celulósico das empresas Raízen, Granbio e CTC? Quais são as suas impressões e opiniões sobre os avanços tecnológicos que essas empresas e seus fornecedores têm desenvolvido até o presente momento?
12. O desenvolvimento do etanol 2G no Brasil por essas empresas está muito baseado em proteção da propriedade intelectual, ou seja, patentes. Na época da COALBRA também era assim?
13. O Sr. acha que nós temos no Brasil conhecimento científico, tecnológico distribuídos pelas universidades, pelas empresas em quantidade e qualidade suficientes para fazer frente a essa fronteira tecnológica que está perseguindo ou a gente vai ter que buscar fora esses conhecimentos?
14. O Sr. acredita na cana-energia como uma alternativa para a viabilização do etanol 2G no Brasil?
15. Qual a sua avaliação do papel do governo federal no contexto atual do desenvolvimento do etanol 2G no Brasil?

APÊNDICE J-LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS

1. *Decreto n. 76.593, de 14 de novembro de 1975* (1975). Dispõe sobre o Programa Nacional do Álcool. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República.
2. BNDES & CGEE (Eds.) (2008). *Sugarcane-based bioethanol: energy for sustainable development*. Rio de Janeiro, RJ: Authors.
3. Cruz, A. S. (2007, junho 24). As mentes brilhantes do etanol brasileiro. *O Estado de São Paulo*, Recuperado em 13 julho, 2016, de <https://www.jornalcana.com.br/asmentesbrilhantesdoetanolbrasileiro/>
4. Castro, M. H. M., & Schwartzman, S. (2008). *Tecnologia para a indústria: a história do Instituto Nacional de Tecnologia*. Ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais.
5. Bennertz, R. (2009). *Completa aí...com álcool! O fechamento da controvérsia sobre o combustível automotivo brasileiro*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
6. Anciães, A. W. F. (Ed) (1981). *Avaliação tecnológica do etanol etílico* (3a ed.). Brasília, CNPq.
7. Instituto Nacional de Tecnologia (2005). *Instituto Nacional de Tecnologia: desde 1921 gerando tecnologia para o Brasil*. Rio de Janeiro, INT.
8. Perrone, J. C. (1977, dezembro). Os processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis. *Revista Silvicultura* (Edição Especial – Anais do seminário Floresta: Potencial Energético Brasileiro), 22-33.
9. Ferrari, A. F. (2002). O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT e a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP. *Revista Brasileira de Inovação*, 1 (1), 151-188.
10. Jornal do Brasil (1980, fevereiro 10). Biobrás dá contribuição valiosa à economia brasileira. *Jornal do Brasil* (Informe Especial), Recuperado em 13 julho, 2016, de http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=030015_10&pasta=ano%20198&pesq=Bioferm
11. XX SINAFERM & XI SHEB (2015). O evento. Recuperado em 13 julho, 2016, de <http://http://2015.sinafermsheb.com.br/>
12. Ministério da Indústria e Comércio (1981). *Estado-da-arte da produção de etanol a partir da madeira*. Brasília, Secretaria de Tecnologia Industrial/MIC.
13. COALBRA – Coque e Álcool de Madeira S.A. (1983). Questões básicas sobre o etanol de madeira. *Cadernos COALBRA*, Brasília, COALBRA.
14. Programa Roda Viva (1986). Entrevista: Sérgio Motta (Transcrição). *Fapesp*, Recuperado em 27 maio, 2015, de http://www.rodaviva.fapesp.br/materia/468/entrevistados/sergio_motta_1996.htm
15. *Lei n. 6.768, de 20 de dezembro de 1979* (1979). Dispõe sobre a criação da COALBRA – Coque e Álcool de Madeira S.A. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República.
16. *Decreto n. 84.465, de 07 de fevereiro de 1980* (1980). Dispõe sobre a constituição da COALBRA – Coque e Álcool de Madeira S.A. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República.

17. Prata, J., Beirão, N., & Tomioka, T. (1999). *Sérgio Motta: o trator em ação*. São Paulo: Geração Editorial.
18. Bonassa, E. C. (1994, julho 10). Assessor de FHC dá prejuízo à União. *Folha de São Paulo*, Recuperado em maio 20, 2016, de <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/7/10/brasil/7.html>
19. Motta, S. R. V. (1994, julho 14). Prejuízo à União. *Folha de São Paulo*, Recuperado em maio 17, 2016, de <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/7/14/painel/3.html>
20. Câmara dos Deputados (1985). *Anais do I Simpósio Nacional sobre Álcool Combustível*. Brasília, DF, 1.
21. Gerhard, P. R. L. (2015). Oportunismo ideológico? As relações econômicas entre a União Soviética e a ditadura militar. *Revista Espaço Acadêmico*, 175, 39-47.
22. Helene, M. E. M., Graça, G. M. G., & Goldemberg, J. (1981). Etanol de madeira: balanço energético. *Ciência e Cultura*, 33 (9), 1183-1191.
23. Leite, R. C. C. (2008). CODETEC: Companhia de Desenvolvimento Tecnológico. *Revista Brasileira de Inovação*, 7 (2), 483-489.
24. *Decreto n. 93.603, de 21 de novembro de 1986* (1986). Dispõe sobre a extinção da COALBRA – Coque e Álcool de Madeira S.A. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
25. Simões, J. (2007). Pesquisadores da UFRJ selecionam melhores organismos para hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. *Inovação Unicamp*, Recuperado em agosto 3, 2015, de <http://www.agrosoft.org.br/br/pesquisadores-da-ufrj-selecionam-melhores-organismos-para-hidrolise-enzimatica-do-bagaco-da-cana-de-acucar/tecnologia>
26. Ometto, D., & Wahle, S. C. (1981). *Patente PI-800394*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
27. Silva, G. (2013). *Aprendizado do etanol celulósico no Brasil: o caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR)*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
28. Ziggiatti, L. (1982, setembro 25). Projeto Hidrocon inova utilização da biomassa. *Folha de São Paulo*, Recuperado em 17, maio, 2016, de <http://acervo.folha.uol.com.br/fsp/1982/09/25/2>
29. Soares, P. A., & Rossell, C. E. V. (2007). *Conversão da celulose pela tecnologia organosolv*. Vol. 3, São Paulo, NAIPE/USP.
30. Guimarães, E. J. L. (1982). *Patente PI-8102802*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
31. Gerez, J. C. C., Gerez, M. C. A., & Miller, J. (1982) *Patente PI-8203026*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
32. *Portaria n. 73, de 07 de abril de 1978* (1978). Dispõe sobre a homologação do novo estatuto da Fundação de Tecnologia Industrial. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Ministério da Indústria e do Comércio.
33. Stambuk, B. U., Eleutherio, E. C. A., Florez-Pardo, L. M., Souto-Maior, A. M., & Bon, E. P. S. (2008). Brazilian potential for biomass ethanol: challenge of using hexose and pentose co-fermenting yeast strains. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67, 918-926.
34. *Decreto n. 82.618, de 08 de novembro de 1978* (1978). Dispõe sobre a transferência da gestão do Fundo de Amparo à Tecnologia – FUNAT para a Secretaria de Tecnologia

- Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
35. *Lei n. 7.392, de 07 de julho de 1991* (1991). Dispõe sobre a incorporação pelo Poder Executivo da Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL ao Sistema Estadual de Ensino Superior. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, SP, Governo do Estado de São Paulo.
 36. *Decreto-Lei n. 239, de 28 de fevereiro de 1967* (1967). Dispõe sobre o Programa Tecnológico Nacional e o sistema nacional de tecnologia. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
 37. Guye, A. (1987). *Patente PI-8602228*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
 38. Guye, A. (1986). *Patente PI-8603984*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
 39. Fundação Universidade Estadual de Maringá (1983, outubro). *Anais do Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas*. Maringá, PR, Brasil, 1.
 40. Bon, E. P. S. (2009, março). Historical and recent developments in the enzymatic hydrolysis of Brazilian feedstocks for ethanol production. *Bioenergy II – Fuels and Chemicals from Renewable Resources*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1.
 41. Olivério, J. L., & Hilst, A. P. (2005, fevereiro). DHR: Dedini rapid hydrolysis: revolutionary process for producing alcohol from sugarcane bagasse. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*, Guatemala City, Guatemala, 25.
 42. *Aditivo 02/86 ao contrato 018/84, de 29 de julho de 1986* (1986). Dispõe sobre a prorrogação de prazo do projeto Pesquisa, Desenvolvimento e Operação Piloto e de Demonstração para Novo Processo de Produção de Álcool Etílico (ACOS). Diário Oficial da União. Brasília, DF, Ministério da Indústria e do Comércio.
 43. Hilst, A. G. P. (1996). *Patente PI-9600972-2*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
 44. Inovação Unicamp (2007). Executivo da Dedini Indústrias de Base conta como empresa se organiza. *Inovação Unicamp*, Recuperado em abril 28, 2016, de <http://www.bv.fapesp.br/namidia/noticia/10623/executivodediniindustriasbaseconta/>
 45. *Lei n. 9.478, de 06 de agosto de 1997* (1997). Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
 46. *Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005* (2005). Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
 47. *Lei n. 12.490, de 16 de setembro de 2011* (2011). Dispõe sobre a alteração das leis nos. 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Presidência da República.
 48. Moraes, M. A. F. D., & Zilberman, D. (2014). *Production of ethanol from sugarcane in Brazil: from state intervention to a free market*. New York, Springer.
 49. Perozzi, M. (2007). O dobro de álcool na mesma área plantada. *Inovação Uniemp*, 2 (3), 46-47.
 50. PITE-FAPESP (2016). Instruções para o programa de apoio à pesquisa em parceria para a inovação tecnológica. *FAPESP*, Recuperado em junho 06, 2016, de <http://www.fapesp.br/61#12.1>
 51. FAPESP (2016). Projeto DHR (Dedini Hidrólise Rápida): projeto, implantação e operação da Unidade de Desenvolvimento de Processo (UDP). *FAPESP*, Recuperado

- em maio 2, 2016, de <http://www.bv.fapesp.br/pt/auxilios/405/processodhrdedinihidroliserapidaprojetoiimplantacaooperacaodaunidadeededesenvolviment/>
52. Vasconcelos, Y. (2002, julho). Não sobra nem o bagaço: novo processo pode aumentar a produção de álcool em 30% e contribuir para a reativação do Proálcool. *Pesquisa Fapesp*, 77, 66-70.
 53. Olivério, J. L. (2003). Fabricação nacional de equipamentos para a produção de álcool e co-geração. *Seminário Álcool – Potencial Gerador de Divisas e Emprego*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1.
 54. Hilst, A. G. P. (2005). *Patente PI-0505212-2*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
 55. Ewing, R. (2007, maio 14). Dedini anuncia avanço na fabricação de álcool de celulose. *Reuters*, Recuperado em julho, 13, 2016, de <http://noticias.uol.com.br/economia/ultnot/reuters/2007/05/14/ult29u55396.jhtm>
 56. Escobar, H. (2008, junho 23). Álcool de bagaço de cana, nos EUA: americanos lideram pesquisa com etanol de celulose, usando, inclusive, a principal fonte de biomassa brasileira. *O Estado de São Paulo*, Recuperado em maio 3, 2016, de <http://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/20080623-41887-nac-14-ger-a14-not>
 57. FAPESP (2015). Convênio de cooperação científica e tecnológica entre a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e a Dedini S.A. Indústrias de Base para o apoio à pesquisa sobre processos industriais para a fabricação de etanol de cana-de-açúcar. *FAPESP*, Recuperado em junho 6, 2016, de <http://www.fapesp.br/2905>
 58. FAPESP (2008). BIOEN Chamada FAPESP-Dedini para apoio à pesquisa. *FAPESP*, Recuperado em maio 18, 2016, de <http://www.fapesp.br/3257>
 59. Marques, F. (2008, julho). Vias para avançar como líder do etanol: FAPESP lança programa para impulsionar pesquisa em bioenergia. *Pesquisa Fapesp*, 149, 20-25.
 60. FAPESP (2016). Aprovados na chamada FAPESP-Dedini. *FAPESP*, Recuperado em maio 1, 2016, de <http://www.fapesp.br/5557>
 61. Batista, F. (2015, novembro 18). Dedini propõe pagar seus credores no prazo de doze anos. *Valor Econômico*, Recuperado em maio 26, 2016, de <http://www.canaoeste.com.br/conteudo/dedinipropoepagarosseuscredoresnoprazode12anos>
 62. FAPESP (2015). Convênio FAPESP/Oxiten. *Fapesp*, Recuperado em junho 6, 2016, de <http://www.fapesp.br/2569>
 63. FAPESP (2006). Chamada de propostas de pesquisa FAPESP-Oxiten: seleção pública de propostas para desenvolvimento de projetos cooperativos de pesquisa nas áreas de álcoolquímica e sucroquímica. *Fapesp*, Recuperado em maio 3, de <http://www.fapesp.br/2592>
 64. Santos, C., & Góes, F. (2007, maio 21). Oxiten e Dow apostam no conceito de biorrefinarias. *Valor Econômico*. Recuperado em maio 3, 2016, de <http://gvces.com.br/oxitenedowapostamnoconceitodebiorrefinarias?locale=pt-br>
 65. Zanin, G. (1999). Discurso de abertura do VI SHEB. *Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas*, Recuperado em fevereiro 1, 2016, de http://www.deq.uem.br/eventos/Sheb/VISheb/VIShebPort_discurso.htm
 66. Wyman, C. E. (2001). Twenty years of trials, tribulations, and research progress in bioethanol technology: selected key events along the way. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 91-93, 5-21.
 67. Himmel, M. E. (2009). Corn stover conversion of biofuels: DOE's preparation for readiness in 2012. *Cellulose*, 16, 531-534.

68. National Renewable Energy Laboratory (2000). The DOE bioethanol pilot plant: a tool for commercialization. *U. S. Department of Energy*. Recuperado em maio 3, 2016, de <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28397.pdf>
69. Wooley, R., Ruth, M., Sheehan, J., Ibsen, K., Majdeski, H., & Galvez, A. (1999). *Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis current and futuristic scenario*. Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory.
70. Iogen Corporation (2016). *History of Iogen*. Recuperado em maio 3, 2016, <http://www.iogen.ca/about-iogen/history.html>
71. CGEE (2016). *CGEE: ciência, tecnologia e inovação*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Recuperado em maio 06, 2016, de <http://www.mcti.gov.br/cgee>
72. Macedo, I. (2003). *Estado da arte e tendências das tecnologias para energia*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
73. Moomaw, W.R., Moreira, J.R., Blok, K., Greene, D.L., Gregory, K., Jaszay, T., Kashiwagi, T., Levine, M., McFarland, M. Prasad, N. S., Price, L., Rogner, H.-H., Sims, R., Zhou, F. & Zhou, P.(2001). Technological and economic potential of greenhouse gas emission reduction. In: Metz,B., Davidson,O., Swart, R., & Pan, J. (eds.). *Climate Change 2001: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 167–277.
74. Oliveira, J. D., Rousef, D., Campos, E., & Gushiken, L. (2005). Apresentação. *Cadernos NAE*, 2, 5-7.
75. Macedo, I. C. & Nogueira, L. A. H. (2004). *Avaliação do biodiesel no Brasil*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
76. Macedo, I. C. & Nogueira, L. A. H. (2004). *Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
77. Moore, B. (2004, august 24). Finally, cellulosic ethanol: interview with Iogen Energy vice presidente Jeff Passmore on the commercial future of cellulosic ethanol. *EV World*. Recuperado em maio 3, 2016, de <http://evworld.com/article.cfm?storyid=735>
78. Iogen Corporation (2004, april 21). Cellulose ethanol is ready to go: Iogen producing world's first cellulose ethanol fuel. *Iogen Corporation (Press Release)*. Recuperado em maio 3, 2016, de <https://www.environmental-expert.com/news/cellulose-ethanol-is-ready-to-go-iogen-producing-world-s-first-cellulose-ethanol-fuel-3456>
79. Iogen Corporation (2016). *History of Iogen*. Recuperado em maio 3, 2016, <http://www.iogen.ca/about-iogen/history.html>
80. *Public Law n. 109-58, de 08 de agosto de 2005* (2005). Dispõe sobre o Energy Policy Act. U. S. Government Publishing Office. Washington, DC, 109th Congress.
81. Schnepf, R., & Yacobucci, B. D. (2013). *Renewable Fuel Standard (RFS): overview and issues*. CRS Report for Congress R40155. Washington, DC., U.S. Congress Research Service.
82. Hoekman, S. K. (2009). Biofuels in the U.S.: Challenges and opportunities. *Renewable Energy*, 34, 14-22.
83. Leite, R. C. C. et al. (2005). *Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 1 (Relatório Final)*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
84. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2005). *Relatório do contrato de gestão MCT-CGEE 2005*. Brasília, DF, Author.

85. Leite, R. C. C. et al. (2007). *Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 (Relatório Final)*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
86. Leite, R. C. C. et al. (2007). *Estudo prospectivo do solo, clima e impacto ambiental para o cultivo da cana-de-açúcar e análise técnica/econômica para o uso do etanol como combustível – Fase 3 (Relatório Final)*. Brasília, DF, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
87. Ministério da Ciência e Tecnologia (2007). *Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento nacional: plano de ação 2007-2010*. Brasília, DF, Author.
88. Associação Brasileira de Tecnologia de Luz Síncrotron (2009, janeiro 16). Extrato de contrato. *Diário Oficial da União*, 11, Seção 3, 202.
89. Ministério da Ciência e Tecnologia (2009, agosto 7). Extrato de termo aditivo. *Diário Oficial da União*, 150, Seção 3, 6.
90. Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (2016). *Website institucional*. Recuperado em maio 5, 2016, de <http://ctbe.cnpem.br/>
91. Nyko, D., Garcia, J.L.F., Milanez, A.Y., & Dunham, F.B. (2010) A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, 32, 5-48.
92. *Public Law n. 110-140, de 19 de dezembro de 2005* (2005). Dispõe sobre o Energy Independence and Security Act. U. S. Government Publishing Office. Washington, DC, 110th Congress.
93. Empresa de Pesquisa Energética (2013). *Plano decenal de expansão de energia 2022*. Brasília, DF, MME/EPE.
94. Ribeiro, S. K., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D.S., Muromachi, Y., Newton, P.J., Plotkin, S., Sperling, D., Wit, R., & Zhou, P.J. (2007). Transport and its infrastructure. In: Metz, B. et al. (Eds.). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
95. Leite, R. C. C. (2007, fevereiro 9). *É possível substituir 10% da gasolina usada no mundo pelo etanol brasileiro?* Apresentação para o Conselho de Tecnologia e Competitividade da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Recuperado em maio 3, 2016, de <http://docslide.com.br/documents/objetivo-do-projeto-etanol.html>
96. FINEP (2010). *Manual de convênios e termos de cooperação 2010*. Rio de Janeiro, RJ, Author.
97. Bon, E. P. S., & Ferrara, M. A. (2007, outubro). Bioethanol production via enzymatic hydrolysis of cellulosic biomass. Documento preparado para o Seminário da FAO *The Role of Agricultural Biotechnologies for Production of Bioenergy in Emerging Countries*, Roma, Itália, p. 1-11. Recuperado em 14 março, 2008, de <http://www.fao.org/biotech/seminaroct2007.htm>
98. Silva, A. S., Webb, C., Ferreira Filho, E. X., Bon, E. P. S., Eleutherio, E. C. A., Gottshalk, L. M. F., Moreira, L. R. S., Pereira, M. D., Ferrara, M. A., Teixeira, R. S. S. (2007). *Patente PI- 0705744-0*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
99. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2005). *Plano nacional de agroenergia 2006-2011*. Brasília, DF, Author.
100. Sant`anna, L. M., Pereira Jr., N., Bitancur, G. J. V., Bevilaqua, J. V., Gomes, A. C., & Menezes, E. P. (2005). *Patente PI-0505299-8*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

101. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2006). *Plano nacional de agroenergia 2006-2011*. 2a ed. rev. Brasília, DF, Author.
102. Sant'anna, L. M., Pereira Jr., Gomes, A. C., & Vásquez, M. P. (2006). *Patente PI-0605017-4*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
103. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2010). *Química verde no Brasil 2010-2030*. Brasília, DF, Author.
104. Santos, M. F. R. F., Borschiver, S., & Couto, M. A. P. G. (2011). Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil. *Economia & Energia*, 15 (82), 1-12.
105. Agência Estado (2007, outubro 25). Petrobras anuncia unidade de etanol para 2011. *Agência Estado*. Recuperado em maio 18, 2016, de http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL1586219356,00PETROBRAS+ANUNCIA+UNIDADE+DE+ETANOL+PARA.html.
106. Escobar, H. (2008, junho 23). Álcool de bagaço de cana, nos EUA: americanos lideram pesquisa com etanol de celulose, usando, inclusive, a principal fonte de biomassa brasileira. *O Estado de São Paulo*, Recuperado em maio 3, 2016, de <http://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/20080623-41887-nac-14-ger-a14-not>
107. Scaramuzzo, M., & Bouças, C. (2007, maio 3). Cresce apetite por novos combustíveis. *Valor Econômico*. Recuperado em maio 8, 2016, de <http://gvces.com.br/cresce-apetite-por-novos-combustiveis?locale=pt-br>
108. Dillon, A. J. P., Salgueiro, A. A., Chagas, C. F., Baudel, H. M., Tomé, J. A. T. R., & Camassola, M. (2007). *Patente PI-0703302-8*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
109. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016). Embrapa Agroenergia: história. *Embrapa Agroenergia*. Recuperado em maio 19, 2016, de <https://www.embrapa.br/agroenergia/historia>
110. Embrapa Agroenergia (2011). *Relatório da gestão: janeiro de 2007 a agosto de 2011*. Brasília, DF, Autor.
111. Portal do Ministério da Ciência e Tecnologia (2008). Dados do projeto: utilização da metagenômica, genômica e proteômica visando à prospecção de genes e proteínas de interesse biotecnológico para o setor sucroalcooleiro. *Ministério da Ciência e Tecnologia*. Recuperado em maio 29, 2016, de <http://sigcti.mct.gov.br/fundos/rel/ctl/ctl.php?act=projeto.visualizar&idp=16218>
112. Novozymes (2007). Novozymes concludes agreement in Brazil on the development of second-generation biofuels. *Novozymes*. Recuperado em maio 1, 2016, de <http://www.novozymes.com/en/news/newsarchive>
113. Freitas, R. (2014). Etanol de 2a geração: tecnologia E2G CTC. *Centro de Tecnologia Canavieira*. Recuperado em maio 5, 2016, de <http://docplayer.com.br/8325136-Etanol-de-2a-geracao-tecnologia-e2g-ctc.html>
114. Galvão, C. M. A., Morelli Filho, D., Baudel, H. M., Fingerut, J., & Tomé, J. A. T. R. (2008). *Patente PI-0802153-8*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
115. Costa, A. C., Maciel Filho, R., & Rabelo, S. C. (2008). *Patente PI-0802559-2*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
116. Rabelo, S. C. (2010). Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
117. Gomes, A. C., Castro, A. M., Silveira, C. J. G., Moyses, D. N., Menezes, E. P., Bandeira, L. F. M., Sant'anna, L. M. M., Pereira Jr., N., & Maeda, R. N. (2008). *Patente PI-0805560-2*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

118. *Lei n. 9.478, de 06 de agosto de 1997 (1997)*. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
119. *Regulamento ANP n. 5/2005, de 18 de novembro de 2005 (2005)*. Dispõe sobre a regulamentação técnica para a realização dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento e elaboração do relatório demonstrativo das despesas realizadas. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
120. *Jornal Cana (2008)*. Shell escolhe Unicamp para projeto voltado ao biocombustível. *Jornal Cana*. Recuperado em junho 1, 2016, de <https://www.jornalcana.com.br/shellescolheunicampparaprojetovoltadoaobiocombustivel/>
121. Universidade Estadual de Campinas (2013, novembro 22). Unicamp inaugura laboratório com a colaboração da Shell. *Unicamp*, Recuperado em junho 1, 2016, de <http://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2013/11/21/unicampinauguralaboratorioemcolaboracaocomshell>
122. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). Investimento em pesquisa e desenvolvimento – autorização prévia: relação de projetos autorizados entre janeiro/2006 e março/2015 (planilha eletrônica). *Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico*. Recuperado em maio 6, 2016, de <http://www.anp.gov.br/?pg=76517&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1465854459411>
123. *Regulamento ANP n. 3/2015, de 25 de novembro de 2015 (2015)*. Dispõe sobre as definições, diretrizes e normas para a aplicação de recursos a que se referem as cláusulas de pesquisa, desenvolvimento e inovação, presentes nos contratos para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, bem como estabelece as regras para comporvação das atividades de P,D&I e respectivas despesas realizadas pelas empresas petrolíferas em cumprimento às referidas cláusulas contratuais. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
124. *Resolução ANP n. 15/2016, de 06 de abril de 2016 (2016)*. Dispõe sobre a padronização dos procedimentos e do estabelecimento de critérios e requisitos para aplicação dos recursos. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
125. BIOEN Fapesp (2010). *Brazilian research on bioenergy*. São Paulo, SP, FAPESP.
126. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2013). Programa FAPESP de pesquisa em bioenergia – BIOEN [Folder]. São Paulo, SP, FAPESP.
127. Ministério da Ciência e Tecnologia (2008). Edital 15/2008 – MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/FAPEMIG/FAPERJ/FAPESP/Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. Brasília, DF, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
128. Portal de Convênios (2016). Convênio INCT 1460859. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Recuperado em junho 11, 2016, de <http://api.convenios.gov.br/siconv/id/proposta/1460859>
129. Buckeridge, M. (2010). *INCT Bioetanol: science and technology of bioethanol*. São Paulo, INCT Bioetanol.
130. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (2014). Artigos completos publicados em periódicos. *INCT Bioetanol*. Recuperado em junho 11, 2016, de <http://www.vision.ime.usp.br/~liu/inct1/PB0-0.html>

131. Ministério da Ciência e Tecnologia (2008). Edital 006/2009 – MCT/CNPq e fundações de amparo à pesquisa: FAPEAM, FAPDF, FAPEMIG, FAPEPI, FAPESP, FAPERJ, FACEPE, FAPERGS. Brasília, DF, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
132. *Agreement for scientific and technological cooperation between the European Community and the Federative Republic of Brazil, of January 19th, 2004.* (2005). *Official Journal of the European Union*, L 295/38, Brussels, European Union.
133. *Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009* (2009). *Jornal Oficial da União Europeia*, L 140/16, Brussels, European Union.
134. Proethanol 2G (2011). Integration of biology and engineering into an economical and energy-efficient 2G biethanol biorefinery. *Newsletter #1*, 1-2.
135. Bon, E. P. S. (2015). *Bioethanol Laboratory IQ/COPPE – UFRJ: R&D activities on biomass processing* [Apresentação]. Rio de Janeiro, Bioetanol IQ-COPPE-UFRJ.
136. SUNLIBB (2011). Sustainable liquid biofuels from biomass biorefining. *Newsletter #1*, York, 1-2.
137. SUNLIBB (2016). Report summary. CORDIS: Projects & Results Service. Recuperado em maio 18, 2016, de http://cordis.europa.eu/result/rcn/168223_en.html
138. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2016). Relatórios de fundos setoriais MCT: edital CNPQ n. 6/2009. MCTI. Recuperado em maio 31, 2016, de http://sigcti.mct.gov.br/fundos/rel/ctl/ctl.php?act=projeto.financeiro_I&idd=807&idf=17&ida=CNPQ
139. Community Research and Development Information Service (2016). *CaneBioFuel: conversion of sugar cane biomass into ethanol.* CORDIS: Projects & Results Service. Recuperado em maio 18, 2016, de http://cordis.europa.eu/project/rcn/90103_en.html
140. FINEP (2009, dezembro 9). Extrato de convênio: encomenda vertical de projeto de pesquisa Referência 1421/08. *Diário Oficial da União*, 14, Seção 3, 235.
141. Instituto de Química UFRJ (2016). *Fontes de energia.* IQ/UFRJ. Recuperado em maio, 31, 2016, de <https://www.iq.ufrj.br/fontesdeenergia/>
142. Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas (2005). *Programação do VIII SHEB.* Maringá, PR, Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.
143. Zanin, G., Gimenes, M. L., Moraes, F. F. (2009). *IX Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas: programa e resumos.* Maringá, PR, Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.
144. Maugeri Filho, F., Costa, F. A. A., & Silva, M. A. (2010). *Patente PI-1004486-8.* Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
145. Novozymes (2010). Dedini and Novozymes sign memorandum of understanding on cellulosic ethanol. Novozymes. Recuperado em maio 1, 2016, de <http://novozymes.com/en/newsarchive/Pages/45904.aspx>
146. Petrobras (2010, agosto 24). Petrobras e KL Energy assinam contrato para desenvolver tecnologia de etanol celulósico. Petrobras. Recuperado em junho 1, 2016, de <http://fatosedados.blogspot.com.br/2010/24/petrobraseklenergyassinamcontratoparadesenvolvertecnologiadeetanolcelulosico/>
147. Petrobras (2012). *Tecnologia Petrobras 2011.* Rio de Janeiro, Petrobras.
148. Junior, C. (2010, agosto 24). Petrobras firma acordo com KLE para produzir álcool a partir de celulose. *Folha de São Paulo.* Recuperado em junho 1, 2016, de <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/787922petrobrasfirmaacordocomamericanaklparaproduziralcoolapartirdecelulose.shtml>
149. Abdala, V. (2010, agosto 24). Petrobras vai aprofundar pesquisas de etanol de bagaço de cana nos Estados Unidos. *Agência Brasil.* Recuperado em junho 1, 2016, de

- <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2010-08-24/petrobras-vai-aprofundar-pesquisas-de-etanol-de-bagaco-de-cana-nos-estados-unidos>
150. Nyko, D., Garcia, J.L.F., Milanez, A.Y., & Dunham, F.B. (2010) A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, 32, 5-48.
 151. BNDES & FINEP (2014). Edital de seleção pública conjunta BNDES/FINEP de apoio à inovação tecnológica agrícola no setor sucroenergético – PAISS Agrícola – 02/2014. Rio de Janeiro, BNDES/FINEP.
 152. BNDES & FINEP (2011). Plano conjunto BNDES-FINEP de apoio à inovação tecnológica industrial dos setores sucroenergético e sucroquímico – PAISS. Rio de Janeiro, BNDES/FINEP.
 153. Nyko, D., Valente, M. S., Dunham, F. B., Milanez, A. Y., Costa, L. M., Pereira, F. S., Tanaka, A. K. R., & Rodrigues, A. V. P. (2013). Planos de fomento estruturados podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados. *BNDES Setorial*, 38, 55-78.
 154. Centro de Tecnologia Canavieira (2013). *CTC avança na construção de sua planta de etanol de segunda geração*. Piracicaba, CTC.
 155. Centro de Tecnologia Canavieira (2015, julho). Cellulosic ethanol. *Ethanol Summit 2015*, São Paulo, SP, Brasil, 5.
 156. Centro de Tecnologia Canavieira (2016). Etanol 2G. CTC. Recuperado em junho 1, 2016, de <http://www.ctcanavieira.com.br/etanol2g.html>
 157. Ridlewski, C. (2015, abril 25). A maior startup do Brasil. *Época Negócios*. Recuperado abril 30, 2016, de <http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Visao/noticia/2015/04/majorstartupidobrasil.html>
 158. Scaramuzzo, M. (2014, outubro 1). GranBio inicia produção de etanol 2G. *O Estado de São Paulo*. Recuperado em junho 14, 2016, de <http://biominas.org.br/blog/2014/10/01/granbioiniciaproducaodeetanol2g/>
 159. *Autorização ANP n. 758, de 07 de outubro de 2013* (2013). Dispõe sobre autorização para construção da planta produtora de etanol da empresa Bioflex Agroindustrial S.A. Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, RJ, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
 160. Beta Renewables (s.d.). A revolução verde: PROESA. Material de comunicação. São Paulo, Beta Renewables.
 161. *Época Negócios* (2012, agosto). Entrei no bagaço. *Época Negócios*. Recuperado em maio 7, 2016, de <http://www.raizen.com.br/entrei-no-bagaco>
 162. *Autorização ANP n. 338, de 26 de agosto de 2014* (2014). Dispõe sobre autorização da operação da planta produtora de etanol da empresa Bioflex Agroindustrial S.A. Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, RJ, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
 163. Valor Econômico (2014, setembro 4). DSM e Poet dão largada em etanol celulósico. *Valor Econômico*. Recuperado em abril 30, 2016, de <http://www.canaonline.com.br/conteudo/dsmepoetdaolargadaemetanolcelulosico.html#.VyT2jjArLIU>
 164. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2015*. Rio de Janeiro, ANP.
 165. GranBio (2014). GranBio inicia produção de etanol de segunda geração. GranBio. Recuperado em junho 30, 2016, de http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2014/09/partida_portuguese.pdf
 166. California Environmental Protection Agency (2014). Method 2 application for the establishment of a new fuel pathway under the California Low Carbon Fuel Standard

- (LCFS): Granbio. *Air Resources Board*. Recuperado em junho 1, 2016, de <http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/2a2b/apps/gb-app-102414.pdf>
167. GranBio (2016). Produção sustentável. GranBio. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://www.granbio.com.br/blog/conteudos/producaosustentavel/>
168. California Environmental Protection Agency (2014). ARB staff summary. *Air Resources Board*. Recuperado em junho 1, 2016, de <http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/2a2b/apps/gb-sum-102414.pdf>
169. Oliveira, M. (2015, setembro). A vez da biotecnologia na biomassa: GranBio investe em P&D para superar os desafios da segunda geração de etanol. *Pesquisa Fapesp*, 235, 70-73.
170. Pereira, G. A. G., Teixeira, G. S., & Santos, L. V. (2014). *Patente BR-102014027984-9*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
171. American Process Inc. (2016). History. API. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://www.americanprocess.com/History.aspx>
172. GranBio (2016). API. GranBio. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://www.granbio.com.br/blog/conteudos/api/>
173. Lane, J. (2015, outubro 14). GranBio, Solvay JV acquires Cobalt's technology assets. *Biofuels Digest*. Recuperado em junho 15, 2016, de <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/10/14/granbiosolvayjvacquirescoblttechnologiesassets/>
174. Valor Econômico (2015, outubro 15). GranBio e Solvay compram a Cobalt Technologies dos EUA. *Valor Econômico*. Recuperado em junho 14, 2016, de <http://www.clubedaembalagem.com.br/noticias/5/6040>
175. Batista, F. (2016, abril 6). GranBio paralisa usina em Alagoas. *Valor Econômico*. Recuperado em junho 15, 2016, de <http://www.revistacanaiveiros.com.br/conteudo/granbioparalisausinaemalagoas>
176. Revista Raízen (2011). Próxima parada: o mundo. *Revista Raízen*. Edição especial de lançamento. Piracicaba, SP, Raízen.
177. Lane, J. (2015, fevereiro 24). Raízen: Biofuels's Digest 2015 5-minutes guide. *Biofuels Digest*. Recuperado em junho 15, 2016, de <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/02/24/razien-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>
178. Batista, F. (2014, dezembro 18). Raízen começará a construir em 2016 sua segunda planta de etanol celulósico. *Valor Econômico*. Recuperado em maio 5, 2016, de <http://alfonsin.com.br/razencomearaconstruirem2016suasegundaplantadeetanolcelulsi co>
179. Raízen (2013). Raízen inicia construção de primeira unidade de etanol de segunda geração. Raízen. Recuperado em junho 18, 2016, de <http://www.raizen.com/raizeniniciaconstrucaodeprimeiraunidadeedeetanoldesegundageracao>
180. *Autorização ANP n. 437, de 20 de outubro de 2014* (2014). Dispõe sobre autorização da operação da planta produtora de etanol da empresa Raízen Energia S.A. Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, RJ, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
181. Scaramuzzo, M. (2015, julho 23). Raízen inaugura usina de etanol de 2ª geração. *O Estado de São Paulo*. Recuperado em maio 5, 2016, de <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,raizeninaugurausinaeetanolde2geracaoimp,1730373>
182. Milanez, A. Y., Nyko, D., Valente, M. S., Sousa, L. C., Bonomi, A., Jesus, C. D. F., Watanabe, M. D. B., Chagas, M. F., Rezende, M. C. A. F., Cavalett, O., Junqueira, T.

- L., & Gouvêia, V. L. R. (2015). Da promessa à realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*, 41, 237-294.
183. Bevill, K. (2011). Gearing up for bagasse. *Ethanol Producer Magazine*. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://www.ethanolproducer.com/articles/7485/gearingupforbagasse>
184. Petrobras (2013). *Tecnologia Petrobras 2012*. Rio de Janeiro, Petrobras.
185. Schill, S. R. (2013). Western Biomass up for sale; Blue Sugar files bankruptcy (2013, maio 16). *Ethanol Producer Magazine*. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://ethanolproducer.com/articles/9872/westernbiomassupforsalebluesugarsfilesbankruptcy>
186. Lane, J. (2013, maio 17). Ciao Western biomass energy: formerly Blue Sugars, formerly KL Energy. Recuperado em maio 15, 2016, de <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/05/17/ciaowesternbiomassenergyformerlybluesugarsformerlyklenergy/>
187. Freitas, G. (2011, agosto 11). Fundadores da CanaVialis criam cana só para a biomassa. *Valor Econômico*. Recuperado em maio 15, 2016, de www.vignis.com.br/Noticias/Jornal%20Valor%20Economico.pdf
188. Novacana (2015, outubro 22). Cana-energia: a revolução sucroenergética está começando. Novacana. Recuperado em junho 15, 2016, de <http://www.webioenergias.com.br/noticias/biocombustiveis/3088/canaenergiaarevolucao sucroenergeticaestacomecando.html>
189. Humbird et al. (2011). *Process design and economics for biochemical conversion of lignocellulosic biomass to ethanol: dilute-acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover*. Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory.
190. *Lei n. 12.490, de 16 de setembro de 2011* (2011). Dispõe sobre a alteração das Leis Nos. 9.478, de 06 de agosto 1987, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
191. *Resolução ANP n. 26, de 30 de agosto de 2012* (2012). Dispõe sobre os requisitos para a atividade de produção de etanol, abrangendo a construção, ampliação de capacidade, modificação e operação de planta produtora de etanol. Diário Oficial da União, Brasília, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
192. União da Indústria da Cana-de-Açúcar (2012, setembro 4). Parceria Embrapa e CTC incrementa pesquisas para o etanol celulósico. UNICA. Recuperado em junho 13, 2016, de http://www.unica.com.br/noticia/32026594920328781316/parceriaembrapaectcincrementa_pesquisas_para_o_etanol_celulosico/
193. Spalato, D. S., Marques, M. S. (2012). *Patente BR-102012031841-5*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
194. Laboratório Bioetanol (2016). Apresentação. Laboratório Bioetanol-IQ-COPPE-UFRJ. Recuperado em junho 01, 2016, <http://bioetanol-ufrj.com.br/laboratorio/apresentacao>
195. Silva, A. S., Bon, E. P. S., Teixeira, R. S. S., Lee, S-H., Takashi, E. (2013). *Patente BR-102013010415-9*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
196. *Resolução n. 283/2012, de 02 de abril de 2012*. (2012). Dispõe sobre o disciplinamento do exame prioritário de Patentes Verdes no âmbito do INPI e os procedimentos relativos ao Programa Piloto relacionado ao tema. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

197. Valor Econômico (2012, maio 16). INPI reduz tempo para emissão de patente verde. *Valor Econômico*. Recuperado em junho 16, 2016, de <http://luizhmdias.jusbrasil.com.br/artigos/121935511/inpireduztempoparaemissaodepatenteverde>
198. *Resolução n. 131/2014, de 15 de abril de 2014*. (2014). Dispõe sobre a expansão e o disciplinamento do exame prioritário de Patentes Verdes no âmbito do INPI e os procedimentos relativos ao Programa Piloto relacionado ao tema. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
199. *Resolução n. 145/2015, de 17 de março de 2015*. (2015). Dispõe sobre a alteração de prazoconcedido pelo artigo 13, da Resolução INPI/PR n. 131, de 15 de abril de 2014, que expande e disciplina exame prioritário de pedidos de Patentes Verdes, bem como os procedimentosrelativos ao Programa Piloto relacionados ao tema. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
200. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (2016). Patentes Verdes está temporariamente suspenso. *INPI*. Recuperado em julho 15, 2016, de <http://www.inpi.gov.br/comunicados/patentesverdesestemporariamentesuspenso>
201. *Resolução ANP n. 14, de 06 de março de 2014* (2014). Dispõe sobre alterações na Resolução n. 26, de 30 de agosto de 2012. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
202. Mian, R. (2014, abril 29). Lançada a Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial. *Agência UDOP de Notícias*. Recuperado em maio 1, 2016, de <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1113093>
203. Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (2016). Estatuto. ABBI. Recuperado em abril 16, 2016, de <http://www.abbi.org.br/pt/estatuto/>
204. Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (2015, abril 7). O impacto fiscal de novas plantas de E2G [Apresentação BNDES]. Rio de Janeiro, ABBI.
205. Portal Fator Brasil (2015, abril 1). Frente Parlamentar da Química é relançada em evento no Congresso Nacional. *Revista Fator Brasil*. Recuperado em julho 15, 2016, de http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=292262
206. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2015). Nova estratégia nacional de CT&I deve incluir aumento da produção de biomassa. *MCTI Ascom*. Recuperado em abril 16, 2016, de http://www.mcti.gov.br/visualizar//asset_publisher/jIPU0I5Rgmq/content/novaestrategianacionaldectideveincluiraumentodaproducaodebiomassa;js...
207. Távora et al. (2015, outubro). Comentários à Lei n. 13.123, de 20 de maio de 2015: novo marco regulatório do uso da biodiversidade. Textos para Discussão nº184. Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, Brasília, Senado Federal.
208. *Lei n. 13.123, de 20 de maio de 2015* (2015). Dispõe sobre a regulamentação do inciso II do § 1o e o § 4o do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3o e 4o do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto no 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória no 2.18616, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
209. *Resolução ANP n. 50, de 25 de novembro de 2015* (2015). Dispõe sobre a aprovação do Regulamento Técnico ANP n. 3/2015. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
210. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). Investimentos em pesquisa e desenvolvimento – relação de projetos autorizados nas regras do

Regulamento Técnico ANP nº 5/2005: período janeiro/2006 e abril/2016 (planilha eletrônica). *Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico*. Recuperado em junho 13, 2016, de <http://www.anp.gov.br/?pg=76517&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1465854459411>

211. Federative Republic of Brazil (2015). Intended nationally determined contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Brasília, República Federativa do Brasil.
212. Revista Brasil Açucareiro (1982, setembro/novembro). Resíduos agrícolas transformam-se em etanol. *Revista Brasil Açucareiro*, L, C, 3/5, 6.
213. *Lei 9.279, de 14 de maio de 1996* (1996). Dispõe sobre a regulamentação dos direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
214. *Lei 5.772, de 21 de dezembro de 1971* (1971). Dispõe sobre o código de propriedade industrial. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Presidência da República.
215. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2011). Aprovados na chamada FAPESP-Oxitenol. *FAPESP*. Recuperado em maio 26, 2016, de <http://www.fapesp.br/2918>
216. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2009). *Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil*. Brasília, CGEE.