

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CDS

Sintropia em agroecossistemas:
subsídios para uma análise bioeconômica

André Luis Zanela Monte

Orientador: Arthur Oscar Guimarães

Dissertação de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável

Brasília – DF, dezembro/2013

Monte, André Luis Zanela

Sintropia em agroecossistemas: subsídios para uma análise bioeconômica. André Luis Zanela Monte.

Brasília, 2013.

121p.:il.

Dissertação de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília.

1. Agroecossistemas. 2. Sistemas agroflorestais sucessionais.
3. Sintropia. 4. Bioeconomia. 5. Indicadores de sustentabilidade.
I. Universidade de Brasília. CDS. II. Título.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos ou científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

André Luis Zanela Monte

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CDS

Sintropia em agroecossistemas:
subsídios para uma análise bioeconômica

André Luis Zanela Monte

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração Ciência e Tecnologia.

Aprovado por:

Arthur Oscar Guimarães, Doutor (Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS/UnB)

José Aroudo Mota, Doutor (Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS/UnB)

Fabiana Mongeli Peneireiro, Doutora (ONG Mutirão Agroflorestal)

Brasília, 19 de dezembro de 2013.

Dedico esta obra às forças propulsoras da vida,
em especial a meus pais,
minha esposa
e meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu estimado orientador e amigo Arthur Oscar Guimarães, pela fé nas melhores qualidades do ser humano, pelo apoio incondicional, responsabilidade e ânimo inabalável para o trabalho.

Agradeço ao CNPq, pela oportunidade, e em especial aos colegas do dia a dia, tanto no ambiente da Coordenação Geral do Programa de Pesquisa em Agropecuária e Biotecnologia, como de outros tantos e tantas colegas generosos e estimuladores, por uma ou outra via, desta dissertação.

Agradeço em particular especiais contribuições diretas para a execução deste trabalho a: Kilma Gonçalves César, Tânia Gomes Figueira, Cláudia Gorgati, Roberto Camargos, Beatriz Volpato, Ângela Sathiko, Josiane Batista, Wayne Beskow, Melina Starling, Jorge Alexandre Carvalho da Silva, Rafael Andrade, Marcelo Gondim, Ângela Meneses e Yuri Lasmar Pacheco Monte.

Agradeço à UNB pela honra de ter sido seu estudante; em especial, agradeço a atenção da equipe de apoio do CDS e o empenho de nossos professores em guiar nosso espírito na busca de caminhos seguros de desenvolvimento para o Brasil. Destaco a importância desta turma de mestrado para mim, pela oportunidade que me foi dada de ser parte de um grupo tão especial.

Especiais agradecimentos ao estimado professor José Aroudo Mota, pelo incentivo, experiência e sabedoria, e para a admirável profissional e amiga Fabiana Mongeli Peneireiro, pelas excelentes contribuições teóricas e pelo apoio permanente.

De modo profundo, agradeço à Vivi, à Íris e ao Luca pelo amor de cada dia.

RESUMO

O presente trabalho busca oferecer subsídios ao desenho de políticas públicas apropriadas à evidenciação, valorização e ativação de capitais biofísicos e também sociais locais, enquanto estratégia para a evolução dos processos de construção da sustentabilidade rural, em sentido *lato*. Estabelece-se assim, e de modo transversal, o marco conceitual dos parâmetros teóricos abordados, como suporte à análise de estudos de caso, onde se observa, por meio de indicadores biofísicos, a emergência de processos de acumulação de recursos – matéria, energia e informação - via processos sintrópicos identificados em sistemas agroflorestais de base sucessional. Complementarmente, estabelece-se uma panorâmica das políticas públicas em CT&I envolvendo o tema *sistemas agroflorestais*, tanto no exterior quanto no Brasil, e em particular no âmbito do CNPq, procedendo-se uma análise prospectiva voltada ao desenvolvimento do setor no Brasil. O estudo objetiva, sobretudo, seu aproveitamento por gestores e *policy-makers* (tomadores de decisão) envolvidos e/ou comprometidos com a busca por sustentabilidade ambiental efetiva em nosso País.

Palavras-chave: agroecossistemas; sistemas agroflorestais sucessionais; sintropia; bioeconomia; indicadores de sustentabilidade.

ABSTRACT

This project aims to contribute to the formulation of appropriate public policies for disclosure and activation of biophysical and also local social capital, as a strategy for the development of procedures of rural sustainability construction, in the broadest sense. It is established, transversely, the conceptual mark of the theoretical parameters, as a support to the case studies analysis. The emergence of processes of accumulation of resources – material, energy and information – via syntropic processes identified in successional based agroforestry systems can be observed by the biophysical indicators. Furthermore, an overview of STI public policies on the agroforestry systems question - abroad, in Brazil and within the scope of CNPq - is presented, proceeding to a prospective analysis focused on developing the sector in Brazil. The study intends, mainly, its use by managers and policy-makers (decision makers) involved and committed with the research for effective environmental sustainability in our country.

Keywords: agroecosystems; successional agroforestry systems; syntropy; bioeconomy; ecological economics; sustainability indicators.

LISTA DE SIGLAS

ABA	Associação Brasileira de Agroecologia
ABIO	Associação de Agricultores Biológicos do Estado do RJ
ANA	Articulação Nacional de Agroecologia
AS-PTA	Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CATIE	Tropical Agricultural Research and Higher Education Centre
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CTI	Ciência, Tecnologia e Inovação
CIRAD	Agricultural Research Centre for International Development
CMMAD	Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente E Desenvolvimento
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONSAF	Consórcio Agroflorestal em Rede na Mata Atlântica
Cooperafloresta	Associação dos Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo/SP e Adrianópolis/PR
DS	Desenvolvimento Sustentável
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD)
EE	Economia Ecológica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ/USP	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
FESLM	Framework for the Evaluation of Sustainable Management
FMI	Fundo Monetário Internacional
FNMA	Fundo Nacional do Meio Ambiente
GATT	Acordo Geral sobre Comércio e Tarifas
IB	Instituto Biodinâmico
ICRAF	World Agroforestry Centre
ICTs	Instituições de Ciência e Tecnologia
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
ISEW	Índice de Bem-estar Econômico Sustentável
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MESMIS	Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Mediante Indicadores de Sustentabilidad
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONG's	Organização não governamental

PD/A-MMA	Projetos Demonstrativos Tipo A do Ministério do Meio Ambiente
PMFS	Regulamentações para Planos de Manejo Florestal Sustentado
PNAE	Programa Nacional de Alimentação Escolar
PNATER	Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural
PNUMA	Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
PNUMA	Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
PRONAF Floresta	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar Floresta
REBRAF	Rede Brasileira Agroflorestal
CIR-Boa Esperança	Centro Integrado Rural de Boa Esperança
Rede Ecovida	Rede Ecovida de Agroecologia
Rede PTA	Rede Projeto de Tecnologias Alternativas
Rio+20	Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável
SAF	Sistemas agroflorestais
SARN	Sostenibilidad de la Agricultura y los Recursos Naturales
SASOP	Serviço de Assessoria a Organizações Populares Rurais
SBSAF	Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Recuperação de uma floresta nativa no estado da Florida, EUA.	41
Figura 2. Ilustração do desenvolvimento dos processos sucessionais dentro de um ciclo completo, exemplificada em ecossistema com floresta, conforme apresentado por Ernst Götsch.	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fluxo de caixa de SAFs e cultura de Teca.	80
Gráfico 2. Evolução de publicações científicas em sistemas agroflorestais no mundo.	85
Gráfico 3. Evolução das publicações científicas em <i>agroforest*</i> no Brasil.	86
Gráfico 4. Evolução de publicações científicas (artigos) financiadas pelo CNPq.	87
Gráfico 5. Classificação de acordo com os temas prioritários listadas no quadro 5 das publicações científicas de grupos de pesquisa brasileiros.	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cronologia das publicações históricas em torno do princípio da sintropia.	28
Quadro 2. Indicadores de sustentabilidade de sistema agroflorestal na fazenda Três Colinas (atualmente Olhos d'Água)– Piraí do Norte, sul do estado da Bahia,	73
Quadro 3. Indicadores de sustentabilidade de sistema agroflorestal no sítio São José, Sertão do Taquari, Paraty/Rio de Janeiro.	75
Quadro 4. Indicadores de sustentabilidade de sistemas agroflorestais da Cooperafloresta, Barra do Turvo, São Paulo em comparação com área padrão.	76
Quadro 5. Prioridades para pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação em SAF.	89
Quadro 6. Métodos de avaliação da sustentabilidade agrícola.	102
Quadro 7. Políticas e programas/estratégias com possíveis interfaces com o desenvolvimento de sistemas agroflorestais	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Fluxo de caixa de quatro modalidades de sistemas agroflorestais em comparação 79 com a prospecção de retornos estimada para a cultura da Teca.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÃO

ÍNDICE DE GRÁFICO

ÍNDICE DE QUADRO

ÍNDICE DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INTRODUÇÃO

16

1. SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS NOS TRÓPICOS E
SUBTRÓPICOS: UMA REVISÃO TRANSVERSAL

24

1.1 Entropia e sintropia em agroecossistemas: a termodinâmica da
sustentabilidade

24

1.1.1 O princípio da conservação da energia

25

1.1.2 O princípio da entropia

26

1.1.3 O princípio da sintropia

27

1.1.4 A perspectiva biofísica da termodinâmica

30

1.2 CONTRIBUIÇÕES DA ECOLOGIA PARA A GESTÃO DA
SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

32

1.2.1 Ecologia da paisagem

32

1.2.2 Ecologia de ecossistemas

33

1.2.2.1 Fluxos de energia, matéria e informação em agroecossistemas

34

1.2.2.2 Propriedades emergentes e cibernética de ecossistemas

35

1.2.2.3 A mobilização de recursos via sucessão ecológica

37

1.3 TEORIAS ECONÔMICAS, AGRICULTURA E SUSTENTABILIDADE

42

1.3.1 A teoria econômica e a lógica microeconômica

42

1.3.2 Desenvolvimento, planificação e intervenção do Estado

46

1.3.3 Economia Ambiental: A busca do equacionamento da questão ambiental
dentro da lógica matemático-mecanicista

46

1.3.4. Economia Verde: uma perspectiva de reordenamento macroeconômico

47

1.3.5 A lei da entropia e o surgimento da Bioeconomia ou Economia Ecológica

48

1.4 SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS NOS TRÓPICOS E
SUBTRÓPICOS: UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA

52

1.4.1 Adaptação, coevolução e sustentabilidade na história da agricultura

52

1.4.2 Os ciclos da produção científica e tecnológica voltados à sustentabilidade
de agroecossistemas

54

1.4.2.1 O primeiro ciclo: o surgimento de pesquisas e modelos agrícolas

apresentando conexões entre Ecologia e Agronomia	54
1.4.2.2 O segundo ciclo: respondendo aos limites do crescimento	56
1.4.2.3 O terceiro ciclo: a conquista da sustentabilidade efetiva por meio do manejo da sucessão natural em sistemas agroflorestais	59
1.4.2.4 A Agroecologia e o compromisso com a sustentabilidade dos agroecossistemas nos trópicos e subtropicais	63
2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E EVIDÊNCIAS DE PROCESSOS SINTRÓPICOS EM AGROECOSSISTEMAS	65
2.1 Demanda e adequação de indicadores	65
2.2 Evidências de processos sintrópicos em agroecossistemas via análise de indicadores	72
2.2.1 Estudo de caso 1: SAF em área de domínio da Mata Atlântica no sul da Bahia	72
2.2.2 Estudo de caso 2: SAF em área de domínio da Mata Atlântica em Paraty-RJ	74
2.2.3 Estudo de Caso 3: SAF em área de domínio da Mata Atlântica no Vale do Ribeira - Barra do Turvo/SP	75
2.2.4 Estudo de Caso 4: Análise da viabilidade financeira de sistemas agroflorestais em comparação com a cultura da Teca (<i>Tectona grandis</i>) no Brasil.	78
3. POLÍTICAS DE CT&I VOLTADAS AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO BRASIL	83
3.1 Adequação das estruturas de fomento às demandas de CT&I em sustentabilidade de agroecossistemas	83
3.1.1 Produção científica em sistemas agroflorestais no mundo e no Brasil	85
3.2 Necessidade de integração de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de sustentabilidade de sistemas agroflorestais	91
CONCLUSÕES	96

INTRODUÇÃO

Atualmente há um intenso debate em torno das propostas de modelagem econômica voltadas ao equacionamento dos desafios envolvendo a sustentabilidade, particularmente na busca de um desenvolvimento tecnológico e social. A origem desse debate reside nas elaborações do *Clube de Roma*, contidas no documento que passou a ser conhecido como *Relatório Meadows*, publicado no ano de 1972, sob o título *Os Limites do Crescimento* (MEADOWS; MEADOWS, 1972).

A sociedade, refém da modernidade autoconstruída, vê-se de frente com a necessidade de rever os paradigmas do desenvolvimento humano, nos termos definidos por Guimarães (2001), que qualifica o atual momento como o “[...] esgotamento de um estilo de desenvolvimento ecologicamente depredador, socialmente perverso, politicamente injusto, culturalmente alienante e eticamente repulsivo”. Resgatando as contribuições de Benett (1976 *apud* GUIMARÃES, 2001) na obra *Transição Ecológica*, o autor identifica a origem destes processos a partir da transição ecológica inaugurada há 9.000 anos, com o advento da Revolução Agrícola, no período Neolítico. O autor alerta para o fato de que a prática agropecuária “transgrediu” leis fundamentais de funcionamento dos ecossistemas: diversidade, resiliência, capacidade de suporte, equilíbrio (homeostase).

Na sinalização de um caminho, como resposta aos flagrantes desafios da sustentabilidade agrícola, desponta a ciência da Agroecologia, que possui hoje uma base epistemológica sistematizada por autores de diversos países, na busca de focos e princípios norteadores comuns.

Ainda que a prática agroecológica possa ser encontrada em diferentes pontos da história da agricultura, em realidades geográficas e sociais completamente distintas, reconhece-se a importância das sistematizações surgidas a partir do início do século XX, particularmente das experiências levadas a efeito na Alemanha, Japão, França e Inglaterra.

No Brasil, a Agroecologia vem demandando, já há pelo menos duas décadas, grande interesse de pesquisadores das diversas áreas que fazem interface com o tema. Muitas Instituições de Ciência e Tecnologia vêm criando núcleos e programas de abordagem específica. Nesse cenário acadêmico, é crescente a criação de cursos de Pós-graduação em Agroecologia. Registra-se hoje, de modo relevante, a presença tanto de sociedades científicas (ABA, SBSAF)¹, quanto de instituições de pesquisa e integração tecnológica

¹ ABA – Associação Brasileira de Agroecologia; SBSAF – Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais.

vinculadas ao terceiro setor, além de fortes redes de colaboração para a difusão da Agroecologia (ANA, Rede PTA, Rede Ecovida, REBRAF)².

Importa particularmente para o foco da análise aqui proposta, o surgimento, ao final dos anos 70, dos primeiros processos de certificação de produtos oriundos de sistemas agrícolas de base orgânica. Já em 1978 a Cooperativa Ecológica Colmeia, no Rio Grande do Sul, iniciava a formulação de processos de certificação de garantia dos produtos orgânicos comercializados. Em 1986, a Associação de Agricultores Biológicos do Estado do Rio de Janeiro (ABIO) estabeleceu a primeira normativa de certificação. No início do século 21, surgem as primeiras legislações brasileiras sobre o tema, fundamentadas em especificações do *Codex Alimentarius* e nos regulamentos adotados nos EUA, na União Européia e no Japão (FELICÔNIO, 2002).

No entanto, os critérios para a obtenção de certificação, atualmente aplicados no país, nutrem-se ainda, em grande medida, das sistematizações metodológicas concebidas a partir das experiências de vanguarda, cuja origem no continente europeu remonta ao século 19, preponderantemente na Alemanha, Inglaterra e França (BRANDENBURG, 2002). Muito embora tratem dos ciclos naturais de transformação da matéria como fundamento para a concepção dos sistemas produtivos, tais modelos partem de referências específicas de agroecossistemas europeus, onde inclusive a presença coevolutiva de espécies como o boi europeu (*Bos taurus*) como processadores de biomassa vegetal em esterco é, em termos práticos, obrigatória, associada à utilização de adubos verdes de ciclo anual. É justamente daí que surge o que se pode considerar como a simplificação natural dos agroecossistemas europeus, e assim também em termos de sua matriz “orgânica”, tendo por referência uma realidade fitogeográfica específica, com dominância de ecossistemas pouco biodiversos, em grande parte compostos por estepes naturais, formações vegetais de baixo/médio porte e florestas monoespecíficas de coníferas.

Mesmo diante do compromisso de considerar a sustentabilidade efetiva dos modelos orgânicos europeus em seus ecossistemas originais, cumpre voltar a nossa atenção para a apropriação destes às condições tropicais e subtropicais, nas quais a presença de ecossistemas florestais é dominante, em correlação direta com a aceleração dos processos metabólicos e de intemperismo proporcionados pelas altas temperaturas e pela umidade elevada. Somam-se a esses aspectos o fato de que o revestimento florestal natural configura-se como elemento fundamental, particularmente em virtude da capacidade de proteção dos solos superficiais, da potencialização do ciclo hidrológico, da fixação de carbono e nitrogênio atmosféricos e da manutenção da biodiversidade.

² ANA – Articulação Nacional de Agroecologia; Rede PTA – Rede Projeto de Tecnologias Alternativas; Rede Ecovida – Rede Ecovida de Agroecologia; e REBRAF – Rede Brasileira Agroflorestal.

Embora parte destes mecanismos seja considerada em um protocolo de certificação orgânica nos moldes formais, a análise é efetuada em bases absolutamente qualitativas, sendo o fator preponderante a ausência de contaminantes no processo produtivo. Necessário pontuar, neste aspecto, a existência contemporânea de uma espécie de *laissez-faire* no que se refere à introdução nestes sistemas de insumos não renováveis ou subprodutos da agropecuária convencional, como é o caso dos já escassos fosfatos naturais, dos filmes de polietileno para cultivos protegidos, do esterco bovino (oriundo de pastagens depauperadas) e dos grãos do *agribusiness* aceitos como complementação do arraçoamento dos plantéis orgânicos.

É inegável o crescimento do mercado de produtos orgânicos no Brasil, hoje inclusive em plena fase de expansão e contando com apoio governamental. Multiplicam-se as gôndolas específicas para disposição de produtos orgânicos em grandes cadeias de supermercados e a cobertura de nichos de consumo específicos voltados a um número crescente de consumidores.

Hoje, é possível afirmar que faz parte de um contingente crescente da população a noção de que os produtos com certificação orgânica possuem a dupla qualidade, de um lado, da isenção de contaminantes e produtos sintéticos característicos dos processos convencionais de produção e, de outro, da responsabilidade/sustentabilidade socioambiental na produção. Em outras palavras, o mundo orgânico, no modo como se encontra hoje formatado e a partir da perspectiva histórica e das condicionantes apresentadas, apropriou-se da prerrogativa da sustentabilidade de seus sistemas produtivos, sem que se aplique qualquer critério mais consequente neste sentido, sendo necessária, portanto uma revisão crítica de tais valores ocultos, tomando por base a análise de indicadores de sustentabilidade efetiva.

Projeta-se, para tanto, estabelecer, com base em evidências teórico-científicas, as convergências entre o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas com a teoria bioeconômica, por um lado e, com as modelagens ecológicas modernas, por outro. Considera-se aqui, como pressuposto do estudo a ser realizado, que estas frentes de pesquisa oferecem subsídios suficientes para a montagem de um programa de análise de indicadores de sustentabilidade efetiva. Há espaço de investigação para uma aproximação dos pressupostos e instrumentos específicos de cada uma destas áreas de investigação, com vistas à aplicabilidade conjunta em protocolos de certificação da sustentabilidade de agroecossistemas, tendo por base o desenvolvimento de indicadores como instrumentos voltados à valoração da prestação de serviços ambientais, à

indução de ações em CT&I específicas e à formulação de políticas de desenvolvimento rural sustentável.

Com a realização da pesquisa proposta, espera-se poder contribuir para a identificação e diferenciação de produtos e processos segundo o grau de sustentabilidade auferido pelos sistemas de manejo e produção de origem, oferecendo assim maior visibilidade e valorização a iniciativas dedicadas à busca de sustentabilidade efetiva nos sistemas de produção.

Pretende-se, por extensão, contribuir para a construção de um referencial transversal seguro e apropriado para tomadores de decisão em programas de desenvolvimento sustentável, apoiando a construção de políticas voltadas à sustentabilidade, que estimulem iniciativas de produção baseadas em indicadores apropriados.

Partindo do foco da evolução do discurso do Desenvolvimento Sustentável (DS) ao longo dos 25 anos da proposição original baseada na tríade ambiente-sociedade-economia (CMMAD, 1988), identifica-se um processo que contém duas derivações distintas. A primeira, de caráter *acadêmico e social*, diz respeito à constatação, por parte dos especialistas envolvidos, de que o conceito de sustentabilidade exige um maior aprofundamento ético (BOFF, 2012). Quanto maior a abrangência horizontal, defendendo sua expansão para áreas de intervenção antes não consideradas relevantes, assim como a compreensão de seus mecanismos geradores (SACHS, 2008). Alguns autores reforçam o enfoque no homem enquanto agente de transformação, uma vez estabelecidos processos amplos de educação e formação orientados para os objetivos do DS (SÁENS *et al*, 2006). Dovers e Handmer (1993) apontam uma série de contradições e consequentes pontos a serem aprofundados e equacionados, no que diz respeito às bases conceituais originais emanadas de “*Nosso Futuro Comum*”³, alertando para a necessidade de uma releitura do enfoque antropocêntrico, da matriz tecnológica e de consumo e do enfrentamento à condição de pobreza de grandes contingentes marginais.

Outra abordagem que guarda pertinência e relevância é a compreensão do conceito a partir das óticas específicas dos grupos a que se encontra vinculado, como na cadeia agricultores/técnicos/acadêmicos/consumidores. Conforme afirma Goldman (1995), “[...] devem ser consideradas as visões dos diferentes atores sociais envolvidos”. A partir desta

³ “No início da década de 1980, a ONU retomou o debate das questões ambientais. Indicada pela entidade, a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, chefiou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, para estudar o assunto. A comissão foi criada em 1983, após uma avaliação dos 10 anos da Conferência de Estocolmo, com o objetivo de promover audiências em todo o mundo e produzir um resultado formal das discussões. O documento final desses estudos chamou-se *Nosso Futuro Comum* ou Relatório Brundtland. Apresentado em 1987, propõe o desenvolvimento sustentável, que é “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (CMMAD, 1988).

ótica, a sustentabilidade é construída de modo empírico, imersa em seu contexto específico, prescindindo de formulações normativas generalistas. Outra subdivisão proposta por grupos com percepções distintas em torno do tema é estabelecida por MEBRATU (1998), classificando-os em três grandes grupos: (a) abordagens institucionais, (b) abordagens ideológicas e (c) abordagens acadêmicas.

A segunda vertente de discurso dentro da gênese deste movimento é antagônica à primeira, e vem sendo desenvolvida a partir de interesses inerentes aos setores empresariais, em associação direta ou indireta com governos em todas as suas instâncias, ligando a imagem de produtos e processos convencionais a pseudo-conceitos de sustentabilidade, sem que se altere integral ou mesmo parcialmente os conteúdos propostos, também conhecido como processo de *greenwash* (banhado a verde). Verifica-se aqui a atuação de forças efetivas na manutenção do paradigma técnico-econômico vigente (PEREZ, 2010), amplificando a resistência à construção e difusão de um novo paradigma de desenvolvimento.

Reconhece-se, entretanto, conforme afirma Azevedo (2002), que apesar do desgaste observado na utilização das terminologias “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável”, é necessário admitir que a ideia original possui uma força intrínseca, o que permite um repensar da relação com o meio ambiente, não obstante seja necessário ir além das reflexões lançadas pela Conferência de Estocolmo no ano de 1972.

Ainda hoje, lideranças mundiais reconhecem que nenhum processo integral de DS foi efetivamente aplicado em qualquer parte do planeta. Ainda que a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a ECO-92, tenha logrado a consolidação do conceito de DS, incluindo estratégias setoriais um programa de implantação efetiva (Agenda 21), reconhece-se que, passadas duas décadas pontuadas por convenções e descaminhos, e passada a Conferência Rio+20, os discursos envolvendo os conceitos de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade encontram-se diluídos em um campo vago e duvidoso de proposições, largamente capitalizados pelos interesses econômicos e, na maioria das vezes, desvinculado de posturas mais consequentes frente aos desafios socioambientais flagrantes no nível global.

A atuação do homem como agente central na solução dos problemas ambientais amplia suas responsabilidades e a sua função como sujeito efetivo dos desdobramentos do desenvolvimento, sendo ele, dentre os seres do planeta, o que de fato pode assumir a responsabilidade e agir diretamente sobre os demais seres vivos e recursos naturais.

Essa visão também traz em si a concepção antropocêntrica do desenvolvimento, o qual está relacionado, segundo Boff (2012), à industrialização, ao consumo, com sua lógica

linear de exploração da natureza e privilégio da acumulação privada, do individualismo e da competição. De forma contrária, então, ao conceito de sustentabilidade, cuja lógica caracteriza-se como circular e includente, com privilégio do coletivo e da cooperação. A crítica a esse modelo recai, então, sobre a junção da concepção e do uso que o ser humano faz do planeta.

Nos termos até aqui descritos, a pesquisa realizada pretendeu discutir alternativas que considerem a viabilidade de comprovação de modelos alternativos a partir da consolidação de indicadores de sustentabilidade efetiva. Segundo Sachs (1986), o “desenvolvimento endógeno” deve ser considerado como apoio às potencialidades do mercado interno, voltadas para o fortalecimento de suas próprias capacidades intelectuais e políticas, do emprego e do auto-emprego na produção, principalmente de meios de subsistência. E o “desenvolvimento includente” é proposto pelo autor como uma estratégia divergente do padrão de crescimento concentrado em mercados de trabalho segmentados e de pouca participação de grandes setores da população na vida política. Contribuindo com a construção dos valores envolvidos nas vias da endogeneidade, e tomando o Brasil como cenário, Guimarães (2013) destaca: “O País demanda um olhar ao mesmo tempo macro de sua integridade territorial, mas também voltado para as meso e microrregiões, reconhecendo seu valor e a importância específica.”

Nesses termos, o refinamento do conceito de Desenvolvimento Sustentável é o ponto chave para a mudança paradigmática necessária ao enfrentamento dos desafios socioambientais e econômicos iminentes. O aprofundamento da abordagem sistêmica representada pela tríade do Relatório Brundtland, Sociedade-Ambiente-Economia, é de fundamental importância para a construção de agendas conjuntas de desenvolvimento das ações.

Neste sentido, e como estratégia fundamental para a efetiva internalização e prática da sustentabilidade, cumpre estabelecer como condição *sine qua non* a construção de agendas e soluções com foco nas realidades locais, a partir de ações no âmbito das tecnologias sociais e de desenvolvimento local participativo, a exemplo das políticas implementadas pelo MDA (Ministério do Desenvolvimento Agrário), originalmente incubadas pelo Terceiro Setor, ainda nos anos 80, por meio de mecanismos de cooperação internacional.

Por fim, ganha relevo no debate aqui proposto o fato de o desenvolvimento tecnológico para a agricultura sustentável, dentro da perspectiva sistêmica aqui reforçada, demandar um redesenho estratégico no que diz respeito à lógica linear ainda hoje fortemente estabelecida. Por exemplo, os termos “extensão” ou “transferência tecnológica”,

remanescentes explícitos do modelo de desenvolvimento linear, a despeito de serem vetores reais dentro do processo, representam somente uma parte do que deve ser visto como um processo de “integração tecnológica”.

Assim, para dar curso aos objetivos definidos, esta pesquisa apresentou como metodologia básica: fundamentação teórica via levantamento bibliográfico; levantamento, seleção e análise crítica de experiências em pesquisa de sustentabilidade de agrossistemas realizadas no Brasil; e análise da produção científica em sistemas agroflorestais no mundo e no Brasil.

Para revisão bibliográfica foram consultadas literaturas em livros, revistas científicas, teses, relatórios de pesquisa, publicações avulsas, dentre outros. Esse material foi organizado em subtemas e, em seguida, foi conduzida a leitura seletiva, com o posterior resgate, organização e análise das informações essenciais.

Para os estudos de caso foram selecionadas 4 experiências brasileiras, tendo sido incluídas aquelas que possibilitavam análise de base comparativa. As experiências foram sistematizadas e analisadas com base em indicadores econômicos e principalmente biofísicos, buscando abranger diferentes categorias de análise e modelagens.

Para avaliar a produção científica em sistemas agroflorestais no mundo e no Brasil foi realizada uma primeira busca por publicações sobre sistemas agroflorestais na base de dados *Web of Knowledge* da Thomson Reuters, atualmente a principal plataforma de pesquisa nas áreas de ciências, ciências sociais, artes e humanas. O *Web of Knowledge* inclui bases de dados científicas (*Biological Abstracts*, *BIOSIS Previews*, *Current Contents Connect*, *CABI: CAB Abstracts and Global Health*, *Derwent Innovations Index*, *Food Science & Technology Abstracts*, *Inspec*, *MEDLINE*, *Zoological Records*) e índices de citações (*Web of Science*, *BIOSIS Citation Index*, *Chinese Science Citation Database*, *Data Citation Index*, *SciELO Citation Index*).

Numa segunda tarefa, visando coletar as publicações registradas em nível mundial, foi utilizado o filtro Título=(agroforest*). A partir do conjunto de publicações mundiais foram isolados os estudos brasileiros utilizando-se o filtro: Países/Territórios=(BRAZIL). Sobre o total de publicações brasileiras foram selecionadas aquelas que foram financiadas pelo CNPq. Para isso, foram aplicados os filtros: agências financiadoras=brazilian national council for scientific and technological development cnpq **OR** cnpq **OR** conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico cnpq **OR** national council for scientific and technological development cnpq.

Posteriormente, as publicações brasileiras foram classificadas de acordo com os parâmetros definidos como prioridades para pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação em SAF (Sistemas Agroflorestais), frutos da oficina de pesquisa do VII CBSAF – Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais realizado em 2009. O resultado da referida classificação foi sistematizado e analisado.

No primeiro capítulo da Dissertação apresenta-se um panorama transversal de diferentes teorias científicas como referencial necessário às análises a serem efetuadas nos capítulos subsequentes.

No segundo capítulo apresenta-se, de modo preliminar, uma breve panorâmica do estado da arte de indicadores, modelagens e processos de monitoramento da sustentabilidade de agroecossistemas desenvolvidos no mundo, tanto no que diz respeito aos aspectos biofísicos de interesse para análise dos estudos de caso aqui considerados, quanto às tecnologias de desenvolvimento socioambiental, debatendo-se a legitimidade e sustentabilidade aos processos de adaptação social a diferentes realidades e fisionomias ecológica. Ainda neste capítulo efetua-se a análise de indicadores biofísicos de sustentabilidade de agroecossistemas por meio de 4 estudos de caso, evidenciando a ocorrência de processos de acumulação de matéria, energia e informação frente a aplicação de métodos de manejo específicos.

No terceiro capítulo desenhou-se um panorama de políticas de CT&I, levadas a efeito no Brasil, e que apresentam uma interface direta ou indireta com o desenvolvimento de sistemas agroflorestais.

1. SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS NOS TRÓPICOS E SUBTRÓPICOS: UMA REVISÃO TRANSVERSAL

A análise e avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas já não é mais assunto novo. Em seu processo de construção, vêm nutrindo-se de contribuições de domínios científicos distintos como a Física, a Biologia, a Ecologia, a Antropologia, a Economia e as Ciências Agrárias.

Procede-se, neste sentido, ao estabelecimento da fundamentação teórica mínima necessária ao escopo da análise, por meio do esforço em se efetuar uma abordagem horizontal o suficiente para as necessárias ilações transversais, sem, contudo prescindir do aprofundamento demandado nos pontos focais.

1.1 ENTROPIA E SINTROPIA EM AGROECOSSISTEMAS: A TERMODINÂMICA DA SUSTENTABILIDADE

Este primeiro tópico objetiva estabelecer fundamentos biofísicos imprescindíveis à realização do debate proposto. A dimensão biofísica é aquela que oferece a compreensão totalizada dos fluxos termodinâmicos no planeta, oferecendo uma compreensão de como se dão os movimentos globais de energia, matéria e, também, de informação.

A análise da dimensão termodinâmica de ecossistemas - por extensão teórica, de agroecossistemas - é tema já largamente desenvolvido, sendo um dos principais focos de análises das pesquisas em sustentabilidade física. A referência histórica da aplicação destes princípios na análise da sustentabilidade de agroecossistemas tem como marco o célebre trabalho de Audrey Richards, intitulado *Land, Labour, and Diet in Northern Rhodesia: and economic study of the Bemba tribe*, publicado em 1939, obra na qual o autor efetua pioneiramente a análise do balanço energético das atividades agrícolas tradicionais de uma etnia africana, quando o saldo energético (em calorias) mostrou-se efetivamente positivo. (RICHARDS, 1939).

De modo bastante aprofundado, e a partir das contribuições de ecologistas pioneiros como Eugene Odum (1976), Howard T. Odum (1967) e Ramón Margalef (1963), entre outros, a Ecologia de ecossistemas, uma sub-área da Ecologia, vem colecionando vastos volumes de conhecimento analítico, inclusive com propostas de modelagens voltadas à compreensão da termodinâmica de ecossistemas, aí incluídos os agroecossistemas. Howard Odum foi quem desenvolveu uma modelagem conhecida como *Análise Emergética*,

destinada a estimar os fluxos absolutos de energia, matéria e informação, tema a ser tratado no Capítulo 2 dessa Dissertação.

A informação de que tanto os seres vivos individualizados (espécimes) quanto os biosistemas são reconhecidos por conterem altos níveis de informação nos níveis genético, cognitivo e social, gerando mudanças nos rumos dos eventos prováveis pela física, por meio de mecanismos de *feedback* múltiplo.

Numa outra via, economistas ecológicos como Martínez-Alier e Jusmet (2000), Xavier Simon (1999) e Richard Norgaard (2007), lançando mão das interfaces com a '*física termodinâmica aplicada*' e também das '*modelagens ecológicas*', estabeleceram '*modelagens econômicas*' considerando os fluxos de energia e matéria envolvidos nas atividades agrícolas, partindo das elaborações teóricas de Georgescu-Roegen (1971).

1.1.1 O princípio da conservação da energia

Do princípio da conservação da energia, ou a Primeira Lei da Termodinâmica, oferece a perspectiva do Universo como sistema totalizado, onde se sustentam não só as ciências naturais, como também, e, por conseguinte, toda a metafísica científica ocidental. Este princípio estabelece a impossibilidade de se criar ou destruir matéria e energia em termos absolutos, apenas convertidos em suas formas possíveis.

Ainda que não fosse a Terra um sistema fechado, uma vez que vem sendo suprida continuamente de energia solar, a analogia do planeta como sistema fechado é assim considerado por Kenneth Boulding (1941), conforme ilustra Amazonas (2001), desenhando a moldura necessária às elaborações sistêmicas que se seguem. Afirma o autor:

Boulding destaca como o homem ao longo de sua história sempre conviveu com uma visão de mundo em que havia "alguma coisa como uma fronteira", que delimitava seus domínios, e que poderia vir a ser transposta e assim seus domínios expandidos. Para Boulding, apenas muito recentemente o homem passou a ver-se em um mundo esférico fechado e, segundo ele, "ainda estamos muito longe de ter feito os ajustes moral, político e psicológico que esta transição de um plano ilimitado para uma esfera fechada implica". Entre tais implicações, aponta como o mundo, tal como uma *nave-espacial*, é um sistema fechado em termos materiais, aberto apenas para as entradas e saídas líquidas de energia. E, conseqüentemente, a economia progressivamente deve passar a ser vista como um sistema circular auto-renovável em termos materiais, aberto apenas em termos energéticos.

O mesmo sentido da abordagem de Boulding (1941) pode ser perfeitamente aplicável ao conceito ecológico de *Ciclos Biogeoquímicos* do planeta, que podem, na visão

do autor, ser assim entendido: “Os elementos químicos, [...] tendem a circular na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos e destes, novamente, ao ambiente.”

Tais vias, mais ou menos circulares, podem ser divididas em dois compartimentos ou *pools*: 1) o reservatório, componente maior, de movimentos lentos, geralmente não-biológico; e 2) o compartimento de ciclagem, uma parcela menor porém mais ativa que se move alternada e rapidamente nos dois sentidos, entre os organismos e seu ambiente imediato.

1.1.2 O princípio da entropia

No ano de 1850, o matemático alemão Rudolf Clausius lançou as bases para a formulação daquela que passou a ser conhecida como a segunda lei da termodinâmica, formulada após haver sido introduzido o conceito de entropia. A entropia mensura o grau de irreversibilidade de um sistema, no qual o trabalho pode ser completamente convertido em calor e este em energia térmica, não podendo, no entanto, ser esta completamente reconvertida em trabalho (CLAUSIUS, 1865).

O princípio da entropia tornou-se um dos vetores-mestre da análise de agroecossistemas, uma vez que possibilita compreender a dimensão e a dinâmica da perda de energia, matéria e informação de um sistema, tanto na dimensão física quanto biológica.

Em termos aplicados, e sob a evidência da segunda lei da termodinâmica, importantes contribuições teóricas e provas empíricas das consequências de tal movimento irreversível vem sendo “coleccionadas” pela história da ciência. Algumas destas contribuições serão apresentadas ao longo deste estudo. Vale ressaltar, para efeito de agregação à discussão maior da sustentabilidade ecológica-econômica, a relevância das propostas de Georgescu-Roegen (1971), autor que estudou a dependência física da Economia frente à Ecologia.

A abordagem desenvolvida por Georgescu-Roegen ficou conhecida como Bioeconomia ou Economia Ecológica, como atualmente é mais conhecida. Sobre este tratamento econômico oferecido por Georgescu-Roegen frente ao fenômeno da entropia e suas consequências para os padrões de desenvolvimento, analisa Amazonas (2001):

Esta luta contra a entropia é para Georgescu-Roegen um elemento que marca nossa história. A maioria das invenções do homem pode ser vista como melhorias na eficiência no uso da baixa entropia. As revoluções industriais e tecnológicas, os esforços pela conquista do espaço estão associados ao acesso a fontes de baixa entropia. A "grande migração" dos povos das estepes asiáticas sobre a Europa no começo do milênio, assim como diversas outras migrações, deveram-se à degradação entrópica da base material e energética de seu sistema econômico.

A escola da Economia Ecológica, frente às evidências de inexorabilidade dos efeitos da entropia, e alertando para a conseqüente necessidade de mudança radical de padrões de produção e consumo, ganhou ao longo dos anos o adjetivo *pessimista*, como reação das frentes neoliberais e conservadoras. Tal adjetivo revela o forte grau de oposição enfrentado por estas elaborações, impetrado pelas ainda rígidas estruturas econômicas da atualidade, acomodadas na intrincada dinâmica da sociedade urbano-industrial e seu complexo de interesses, processos de alienação e contradições internas.

Na agricultura, observam-se grandes variações do grau de entropia, em se considerando as múltiplas tipificações das unidades produtivas. Como exemplo de análise indicativa dos gradientes de entropia em atividades agrícolas destaca-se a possibilidade prática de aplicação de metodologias voltadas ao balanço energético dos sistemas produtivos, revelando índices deficitários dos modelos industrializados.

Estes ensaios, por outro lado, revelam a presença de incremento de recursos energéticos em sistemas produtivos de base ecológica, possibilitado pela otimização da capacidade fotossintética da comunidade vegetal, os produtores primários, promovendo mecanismos de organização e fixação de energia e demais recursos físicos e biológicos, como forma natural de resistência ao movimento entrópico.

Ampliam-se as discussões e construções de cunho científico-tecnológico voltadas à busca de mecanismos de otimização de processos envolvendo fontes de baixa entropia, assunto tratado nesta seqüência. Acredita-se que, frente a recentes evidências estabelecidas pela ciência, ocorra a emergência de novos adjetivos às propostas bioeconômicas, na medida em que se ofereçam e ampliem as perspectivas de valorização e desenvolvimento de processos sintrópicos.

1.1.3 O princípio da sintropia

Não obstante a lei da entropia tenha sido firmemente estabelecida durante os séculos XIX e XX, e amplamente desenvolvida em termos instrumentais, outro princípio, de sentido contrário à entropia, vem sendo paralela e historicamente defendido por pesquisadores de distintas áreas científicas, como a Matemática, Física, Biologia, Ecologia e Psicologia, na tentativa de elucidar o fenômeno da tendência dos sistemas vivos em prover, antagonicamente à ação inexorável da entropia, o incremento sistemático no grau de organização e acumulação de energia, matéria e informação em seus sistemas.

A afirmação de Albert Szent-Györgyi (1977), ganhador do Nobel de Fisiologia em 1937, auxilia na elucidação desse debate: “observamos uma profunda diferença entre sistemas orgânicos e inorgânicos. Como um cientista eu não posso acreditar que as leis da

física sejam inválidas logo que você entra nos sistemas vivos. A lei da entropia não governa os sistemas vivos.” Szent-Györgyi, citado por Di Corpo (2013, p. 9), assim conclui:

[...] uma força que é capaz de contrariar a tendência universal da matéria para o caos e da energia para a dissipação. A vida sempre mostra uma diminuição na entropia e um aumento na complexidade, em conflito direto com a lei da entropia. (tradução livre)

As informações presentes no Quadro 1 permitem verificar, de forma resumida, a cronologia das principais obras norteadoras do debate acadêmico vinculado ao conceito de *sintropia*.

Ano	Autor	Área	País	Contribuição	Obs
1942	Luigi Fantappiè	Matemática	Itália	Cunha o termo Sintropia com base na termodinâmica dos sistemas vivos. Propõe unificação termodinâmica da Física e da Biologia	Publicação somente em 1991
1944	Erwin Schrödinger	Mecânica quântica	Áustria	Propôs o reconhecimento do fenômeno da “ entropia negativa ”, a partir da analogia com a sua teoria de ondas.	Passa a ser usado por ecólogos, como Margaleff e os irmãos Eugene e Howard Odum.
1956	Léon Brillouin	Física	França	Propõe modelo matemático e busca unificação em torno do termo que cunhou como negentropia .	Passa a ser o termo referencial em língua inglesa
1974	Albert Szent-Györgyi	Fisiologia	EUA	Defende, com base em fenômenos físico-químicos, o conceito de sintropia.	Descobridor da vitamina C.
1975	Buckminster Fuller	Arquitetura	EUA	Publica “Synergetics” onde defende o conceito de sintropia .	
2000	Di Corpo & Vaninni	Psicologia e neurofisiologia	Itália	Resgata em 1991 publicação de Luigi Fantapié sobre sintropia e iniciam proposta de revisão das leis termodinâmicas	Vaninni contribui com provas baseadas em estudos do sistema nervoso autônomo
2008	Mahulikar & Herwig	Cosmologia	Índia	Redefinem negentropia de Schrödinger e Brillouin e propõe novo modelo matemático	

Quadro 1 - Cronologia das publicações históricas em torno do princípio da sintropia. Fontes: Di Corpo (2013); Mahulikar & Herwig (2008); Nussenzweig (1998).

Erwin Schrödinger, Nobel de Física em 1933, em seus estudos do mundo subatômico abordou, com detalhes, as dinâmicas das denominadas partículas-onda, passando a defender a existência de movimentos alternantes entre a entropia e aquilo que chamou à época de *entropia negativa*. Este fenômeno vem sendo estudado pela ciência física, que por sua vez se utiliza do termo *negentropy* (negentropia), cunhado por Brillouin (1956). Principalmente no meio físico, apesar da influência internacional de defensores do termo *sintropia* (syntropy)⁴, ainda é o termo *negentropy* que permanece dominante nos países de língua inglesa.

Segundo Di Corpo (2013), Luigi Fantappiè, matemático italiano, propõe, em 1942, as interfaces da entropia com os fenômenos biológicos, observando movimentos opostos entre *fenômenos físicos* (dominados pela entropia) e *fenômenos biológicos* (dominados pelo que o autor cunhou como sintropia), propondo em suas teorias a fusão da física com a biologia na abordagem das leis termodinâmicas. Intrigantemente, seus teoremas foram estabelecidos em 1942, mas publicados somente em 1991.

Vannini (2008), conduzindo experimentos sobre o sistema nervoso em ratos, encontrou evidências de fenômenos sintrópicos no nível de organismo, onde encontrou resultados evidenciando a presença de mecanismos opostos à força da entropia. A autora descreve a coincidência de tais fenômenos com as descobertas de Fantappiè, considerando:

Fenômenos sintrópicos, caracterizam-se pela tendência para a concentração de energia, a diferenciação, a ordem e a capacidade de manter o sistema distanciado da morte térmica. Fantappiè notou imediatamente a coincidência entre as propriedades de sintropia e as qualidades dos sistemas vivos.

Di Corpo (2013), ao tomar contato com estas elaborações em 1991, e aplicando-as inicialmente à psicologia e à cosmologia, propõe o aprofundamento das implicações da sintropia para a ciência, defendendo a perspectiva de reestruturação das leis da termodinâmica. Este autor desenvolve uma ampliação dos postulados de Fantappiè (*Op. Cit.*), articulando tais postulados com a *Teoria da Relatividade* de Einstein, com a *alternância entropia-negentropy* de Schrödinger (*Op. Cit.*) e também com as contribuições filosóficas orientais. Esta abordagem é aprofundada no tópico seguinte.

Outra importante contribuição para a presente análise, focada no fenômeno da fotossíntese e sob a terminologia *neguentropia* é oferecida por Leff (2001, pg 409):

⁴ Ver Buckminster Fuller (1975) e Albert Szent-Györgyi (1977).

[...] a pergunta pela sustentabilidade se apresenta como um problema sobre o sentido da vida [...] A sustentabilidade se funda na capacidade de vida do planeta fundada nesse fenômeno neguentrópico único – a fotossíntese – que permite transformar a energia radiante do Sol em biomassa.

No Brasil, um interessante espraçamento do termo sintropia e de aplicações da teoria se deu a partir das elaborações de Götsch (1995), relacionando o fenômeno da sintropia com as evidências do incremento de recursos como nutrientes, energia e biodiversidade e recursos hídricos – por meio da utilização de técnicas específicas de manejo de agroecossistemas, hoje conhecida como *manejo sucessional*. Os postulados desenvolvidos por este autor serão motivo de aprofundamento nesta sequência.

1.1.4 A perspectiva biofísica da termodinâmica

A proposta de reestruturação das leis termodinâmicas defendida por Di Corpo (2013), supõe uma substituição da atual terceira lei da termodinâmica, a chamada lei do zero absoluto, que seria agregada à segunda lei (entropia)⁵. A Lei da sintropia passaria então a ocupar a terceira posição, completando assim, em termos termodinâmicos integrais, o movimento oscilatório total entropia-sintropia.

Há, hoje, na literatura acadêmica uma série de trabalhos e uma intensa atividade multidisciplinar em torno das propostas de unificação do mundo termodinâmico, objetivando a efetiva análise do princípio dinâmico da sintropia-entropia.

Em agosto de 2013 realizou-se, em Viterbo, Itália, um congresso científico de caráter multidisciplinar (*International Conference on Life Energy, Syntropy, and Resonance*) que resultou na publicação de trabalhos científicos abordando aspectos e implicações do princípio da sintropia. O cenário em tela é da ocorrência de fenômenos sintrópicos em diferentes áreas do conhecimento e de análise da teoria proposta para o desenvolvimento científico numa nova perspectiva, ou seja, como resposta aos desafios impostos pela lei da entropia.

Como forma de estabelecer parâmetros temporais para a unificação termodinâmica proposta, Di Corpo (2013) expõe a seguinte tipologia de comportamento da matéria frente aos movimentos entrópicos e sintrópicos, nas diferentes dimensões de tempo:

⁵ Há o entendimento natural de que a segunda lei seria uma derivação da primeira, uma vez que pressuposto estaria representado na temperatura mínima possível (final) da entropia, (-237,15 graus Celsius).

1. *Tempo de causalidade*: esperado em sistemas divergentes, regulado pelas propriedades das soluções das equações de tempo positivo, com prevalência de processos entrópicos;

2. *Tempo retrocausal*: esperado em sistemas convergentes, tais como os buracos negros.⁶ É governado pelas propriedades das soluções das equações de tempo negativo. A retrocausalidade, com o tempo se movendo para trás;

3. *Tempo supercausal*: caracteriza sistemas em que as forças divergentes e convergentes são equilibradas. Um exemplo é oferecido pela mecânica quântica. Nestes sistemas de causalidade e retrocausalidade o tempo seria unitário, com a coexistência de passado, presente e futuro. É a dimensão do mundo subatômico.

Di Corpo (2013) ressalta que tal classificação guarda perfeita similaridade com a antiga divisão grega de tempo em: 1: *Tempo causal sequencial*; 2. *Kairós* (tempo retrocausal, que, segundo Pitágoras, está na base dos processos intuitivos); e 3. *Aion* (tempo supercausal, no qual o passado, presente e futuro coexistem). As tentativas de se alcançar uma formulação unificadora indicam que: “Uma vez que a quantidade total de energia mantém-se inalterada, a energia pode ser representada como a soma de energia no estado sintrópico (concentrado) e de energia no estado entrópico (disperso).” De modo simplificado, segundo o referido autor, uma expressão matemática desta perspectiva termodinâmica pode ser expressa por:

$$1 = \text{Sintropia} + \text{Entropia}$$

Di Corpo (2013) apresenta algumas analogias quando trata da dimensão da física subatômica, assim como da dimensão das filosofias ancestrais do Hinduísmo indiano e do Taoísmo chinês, a partir das quais desenvolve uma conexão com as teorias da sincronicidade propostas por Carl Gustav Jung (1997).

Leff (2003, p.44) contribui para balizar a sustentabilidade a partir do movimento termodinâmico:

“ [...] atingir a sustentabilidade implica alcançar um equilíbrio e a tendência para a morte entrópica do planeta, gerada pela racionalidade do crescimento econômico, e a construção de uma produtividade neguentrópica baseada no processo fotossintético, na organização da vida e na criatividade humana.

⁶ Em consulta às contribuições do físico do macrocosmo Stephen W. Hawking (1988 p. 13-40) constata-se que de fato no interior dos buracos negros ocorrem processos onde uma espécie de energia, diferente inclusive da que conhecemos, é produzida ali, fazendo contraponto e neutralizando a matéria de alta entropia que é ali gradativamente desmaterializada.

Há uma extensa utilização do termo *sintropia* em estudos e publicações desenvolvidos a partir das estratégias de manejo de agroecossistemas, de característica bastante específica, em estudos desenvolvidos a partir das contribuições de Götsch (1992), mais genericamente descritas pela literatura, entre outras taxonomias propostas, como *sistemas agroflorestais sucessionais* (EMBRAPA, 2006).

A presente pesquisa buscou identificar evidências de convergências entre os fundamentos destas estratégias específicas de manejo com o princípio biofísico da sintropia a partir das sistematizações contidas no capítulo 2.

1.2 CONTRIBUIÇÕES DA ECOLOGIA PARA A GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

1.2.1 Ecologia da paisagem

Como mencionado, a perspectiva de se analisar a sustentabilidade de agroecossistemas está relacionada de modo direto com diversos níveis de hierarquia, tanto no “interior” do ecossistema, quanto para além dele, compondo as paisagens, territórios biogeográficos e biomas.

Para os objetivos aqui perseguidos, não basta analisar o funcionamento interno do ecossistema, é necessário entender as relações deste nível com o nível imediatamente superior, a *paisagem*.

Segundo Odum (2007, p. 5), citando Forman e Godron (1986), a paisagem é uma “área heterogênea composta de um agregado de ecossistemas em interação que se repetem de maneira similar por toda sua extensão” considerando ser a bacia hidrográfica uma unidade de paisagem conveniente já que apresenta limites identificáveis.

Tratando dessa mesma temática, Harris, Hoctor e Gergel (1996) afirmam:

[...] as paisagens regionais são o nível crítico de escala necessária para monitoramento e conservação eficaz a longo prazo. O paradigma da ecologia da paisagem assume uma forma completamente distinta da abordagem da ecologia de ecossistemas [...].

Os autores defendem a tese de que o funcionamento das paisagens geralmente consiste nas inter-relações entre vários tipos de ecossistemas espacialmente diferenciados, mas que o conjunto apresenta dinâmicas de fluxos de energia bastante diferenciadas do nível ecossistêmico.

Sobre esta perspectiva, compreende-se que as dinâmicas internas do ecossistema são influenciadas por eventos presentes em outros ecossistemas de fronteira e mesmo além-fronteira. Uma miríade de estudos sobre dispersão vegetal⁷ foram e vêm sendo conduzidos, indicando uma ocorrência de efeitos multiplicadores exponenciais, ou seja, quanto mais pássaros naquela determinada região maior a dispersão de sementes, uma vez que a ação das aves amplia a capacidade de suporte da espécie, favorecendo a frequência de espécies vegetais de seu interesse direto. Tal aspecto é aprofundado no capítulo 2.

1.2.2 Ecologia de ecossistemas

Eugene Odum (1983), na obra “*Ecology*”, associa o início das pesquisas em Ecologia de Ecossistemas à proposição da Teoria Geral de Sistemas, assim cunhada por Bertalanffy em 1950, unificando enunciações científicas anteriores sob outras denominações (Karl Mobius, 1877; S.A. Forbes, 1887; Dokuchaev, 1948).

Esta subárea da Ecologia veio a produzir um conjunto bastante consistente de fundamentos voltados à compreensão da dinâmica de funcionamento e manutenção das unidades ambientais básicas, os ecossistemas, tal qual uma célula biológica o é relativamente a um organismo unitário.

Segundo Odum (1983, p. 09 -10), o ecossistema pode ser considerado como:

[...] qualquer unidade (biossistema) que abranja todos os organismos que funcionam em conjunto (a comunidade biótica) numa dada área, interagindo com o ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas.

E complementa afirmando: “Sendo os ecossistemas sistemas abertos, o ambiente de entrada e o ambiente de saída devem ser considerados partes importantes do conceito.” Para o autor, o ecossistema possui três componentes básicos: (1) a comunidade, (2) o fluxo de energia e (3) a ciclagem de materiais.

Os ecossistemas artificializados pela ação antrópica com finalidade de produção agrícola são denominados pela ciência da Ecologia como *agroecossistemas*, guardando analogia de funcionalidades e, portanto, também de métodos de análise de seus fluxos e evoluções.

⁷ Promovida principalmente pela circulação da avifauna nas paisagens.

1.2.2.1 Fluxos de energia, matéria e informação em agroecossistemas

Pode-se considerar que a análise dos fluxos envolvidos na dinâmica e evolução de ecossistemas/agroecossistemas é a base para a compreensão direta de seu grau de sustentabilidade efetiva. Quando se procede à análise comparada de sistemas sob intervenção humana – os agroecossistemas - com sistemas “naturais” de referência local, oportuniza-se o efeito de contraste necessário à compreensão das possibilidades de ajustes nas estratégias de manejo, perseguindo tomadas de decisão que dirijam os sistemas às condições de equilíbrio relativo, por meio de intervenções focadas no aproveitamento máximo dos recursos biofísicos disponíveis.

Um olhar específico quanto ao fluxo de energia no ecossistema, é encontrado na obra de Odum (1983, p. 09-10), quando estabelece que:

[...] o fluxo de energia ocorre num só sentido; uma parte da energia solar que entra é transformada, e sua qualidade elevada (quer dizer, é convertida em matéria orgânica, uma forma de energia mais concentrada que a luz solar) pela comunidade. [...] A energia pode ser armazenada e depois liberada sob controle, ou exportada [...], mas não pode ser reutilizada.

Relativamente ao fluxo material, o mesmo autor define que:

[...] Contrastando com a energia, os materiais, inclusive nutrientes e a água, podem ser reutilizados inúmeras vezes. A eficiência da reciclagem e a grandeza das importações e exportações de nutrientes variam muito segundo o tipo de ecossistema [...].

Na tentativa de compreender a intervenção humana nos processos ecossistêmicos por meio da agricultura, o mesmo autor observa que a tendência de desenvolvimento em sistemas naturais gera um incremento de estrutura e complexidade por unidade de fluxo energético empregada como estratégia de proteção máxima. O autor alerta que tal dinâmica contrasta com a atual meta humana de produção máxima, expressa em elevadas taxas de produção de produtos fáceis de coletar, relegando à paisagem uma exígua parcela da biomassa total (alta eficiência Produção/Biomassa), estando a estratégia natural orientada em direção à eficiência inversa – uma alta razão Biomassa/Produção.

Tratando dos conceitos de produtividade segundo sua dimensão no ecossistema, Odum (1983, p. 62) distingue os seguintes tipos, considerando um período de tempo determinado:

1. produtividade primária bruta (taxa global de fotossíntese);
2. produtividade primária líquida (menos a respiração) e
3. produtividade líquida da comunidade (acúmulo total de matéria orgânica menos consumo heterotrófico).

Quanto à linearização do processo produtivo agrícola, no sentido da perigosa dependência em relação aos recursos não renováveis em grande escala, Odum (1983, p. 64) traz ao debate a seguinte citação de Odum (1967):

O sucesso do homem em adaptar alguns sistemas naturais para o seu uso resultou, essencialmente, do processo de inserir em sistemas vegetais e animais circuitos de trabalho auxiliar derivados de fontes ricas em energia, tais como a energia fóssil e atômica. A agricultura, a silvicultura, a pecuária, a cultura de algas etc., todas utilizam enormes fluxos de energia auxiliar que realizam grande parte do trabalho que, em sistemas anteriores, tinha de ser cumprido pelos próprios organismos. [...] Todo o trabalho de manutenção própria destes organismos providencia-se por novos caminhos, controlados e dirigidos pelo homem, a partir de fontes de energia auxiliar. Num sentido real, a energia para as batatas, a carne e os produtos vegetais da agricultura intensiva vem, em grande parte, de combustíveis fósseis em vez de vir do sol.

Para Odum (Idem) a dinâmica dos processos coevolutivos resultantes dos sistemas pré-industriais permite verificar que, contrariamente aos termos “primitivos” e “de subsistência”, que muitas vezes lhes são atribuídos, os sistemas pré-industriais podem ser bastante sofisticados, frequentemente funcionando harmoniosamente com os ecossistemas naturais. Tais sistemas podem ser muito eficientes em termos de alimento produzido por unidade gasta. Rapparot (1971), por exemplo, encontrou que em torno de 24 milhões de kcal de alimento são produzidos por hectare, com um gasto de 1,4 milhão de kcal de mão-de-obra humana, no cultivo de hortas complexas de culturas mistas na Nova Guiné, uma razão de 16 para 1 em calorias de saída contra calorias de entrada.

Ao analisar, de modo comparativo diferentes desempenhos de sistemas agrícolas frente à produtividade, uma vez tratando de sistemas onde não há significativa ou nenhuma importação de insumos, infere-se sobre a presença, em tais sistemas, de mecanismos produtivos com controles específicos. Tais mecanismos, tratados na seção seguinte, são o resultado de interação coevolutiva dos seres constituintes da comunidade ecossistêmica, em interação com o meio abiótico, e que potencializam, por meio de propriedades que emergem destas relações interespecíficas, as possibilidades de homeostase dos agroecossistemas.

1.2.2.2 Propriedades emergentes e cibernética de ecossistemas

Para a devida compreensão do que se pretende demonstrar no debate sobre os ecossistemas, parte-se da seguinte afirmação de Odum (1983, p. 3):

Uma consequência importante da organização hierárquica é que, à medida que os componentes ou subconjuntos combinam-se para produzir sistemas

funcionais maiores, emergem novas propriedades que não estavam presentes no nível inferior. Portanto, uma **propriedade emergente** de um nível ecológico ou unidade ecológica não pode ser prevista a partir do estudo dos componentes deste nível ou unidade. (grifo nosso)

Uma propriedade emergente de ecossistemas que se reveste de extrema relevância para esta análise é a sua qualidade cibernética. Odum (*Op.Cit.*) remete o princípio cibernético ao seu formulador, Wiener (1948), havendo este estabelecido que o mesmo “abrange os controles tanto animados como inanimados.”

A cibernética pode ser compreendida como um mecanismo de autorregulação de um sistema genérico, conferindo uma condição de autogestão na manutenção das suas funções específicas por meio de mecanismos informacionais de retroalimentação.

Esta ideia é ratificada por Odum (1983, p. 29):

[...] a natureza cibernética e a estabilidade dos ecossistemas: “Além dos fluxos de energia e ciclos de materiais, [...] os ecossistemas são ricos em redes de informação, que compreendem fluxos de comunicação físicos e químicos que interligam todas as partes e governam ou regulam o sistema como um todo. Conseqüentemente, os ecossistemas podem ser considerados cibernéticos (de *kybernetes*, piloto ou governador) na natureza, mas as funções de controle são internas ou difusas [...].

Ideia que se complementa com as considerações do autor sobre a *usinagem cibernética em ecossistemas*:

[...] um ecossistema possui uma organização em nível supra-organísmico mas não é superorganismo, nem parece com um complexo industrial (como uma usina atômica, por exemplo). Porém, tem uma coisa em comum com estes sistemas: um comportamento cibernético interno. (Odum, 1983, p. 33)

Conceitos importantes emergem desta configuração cibernética: *retroalimentação positiva e retroalimentação negativa*. Segundo Odum (1983, p. 33) “Quando esta entrada retroalimentada é positiva (como os juros capitalizados, em que os juros se tornam *parte* do capital), a quantidade cresce.” A retroalimentação positiva causa a aceleração dos desvios, sendo necessária para o crescimento e a sobrevivência dos organismos. Já a presença de mecanismos de retroalimentação negativa, ou “entrada suprimidora de desvios”, conta com gasto energético mínimo comparado com o fluxo total de energia. Os componentes de baixa energia que apresentam, na retroalimentação, efeitos muito amplificados de alta energia estão entre as principais características de sistemas cibernéticos.

A respeito da imersão do homem neste universo de fluxos e interferências, enquanto *agente retroalimentador negativo*, Odum (1983, p.33) afirma:

Por causa da evolução do sistema nervoso central, o *Homo sapiens*, pouco a pouco, tornou-se o organismo mais poderoso, pelo menos em relação à

capacidade de modificar a operação de ecossistemas. O cérebro humano precisa de apenas uma quantidade mínima de energia para emitir todo tipo de idéia poderosa. A nossa maneira de pensar, até agora, envolveu principalmente uma retroalimentação positiva que promove a expansão do poder, da tecnologia e da exploração de recursos. Finalmente, a qualidade de vida e do ambiente humanos provavelmente será degradada se não forem estabelecidos controles adequados de retroalimentação negativa.

E complementa:

Num ensaio famoso, o crítico social Lewis Mumford (1967) pede “a qualidade no controle da quantidade”, o que coloca eloquentemente o princípio cibernético das causas de baixa energia que produzem efeitos de alta energia. O nosso papel como “agente geológico potente” está-se tornando tão importante que Vernadsky (1945) sugeriu que pensássemos [...] no mundo dominado pela mente humana, como substituindo gradativamente o mundo da evolução natural que existe há bilhões de anos. (Idem)

A perspectiva de compreender a função ecossistêmica do *Homo sapiens* como agente de retroalimentação negativa, dotado de elevada capacidade de gerar respostas amplificadas de alta energia, seguramente é capaz de promover *insights* imprescindíveis para a necessária evolução dos processos adaptativos. Trazendo a discussão para o campo das aplicações, destaca-se a proposta adaptativa de Vaz da Silva (2007), que apresenta, de modo paradigmático, os “Princípios para o manejo participativo de agroecossistemas”. O termo participativo, neste contexto e de modo original, refere-se não somente à equidade de participação intraespecífica, ou seja, entre o social humano, mas é ampliada à diversidade dos seres participantes. Tais princípios tomam por base a intervenção humana, potencializando as sinergias agroecossistêmicas, por meio da imitação dos processos atuantes na dinâmica da sucessão ecológica de espécies. Este conteúdo é desenvolvido a seguir.

1.2.2.3 A mobilização de recursos via sucessão ecológica

O desenvolvimento do ecossistema dá-se por meio de um mecanismo conhecido como sucessão ecológica, sendo subdividida em *sucessão primária* (ou colonização) e *sucessão secundária*. A primeira modalidade diz respeito ao modo como os processos vitais iniciam a ocupação de dado ambiente abiótico, como, por exemplo, um derramamento vulcânico recente. Já a segunda, foco do interesse específico deste estudo, configura-se como etapas de recuperação de dado ecossistema frente a um determinado distúrbio ou perturbação, como a queda de uma grande árvore numa floresta madura, arrastando consigo outras árvores menores e abrindo ali uma grande clareira. Estes eventos envolvem transformações na estrutura e frequência das espécies ao longo do tempo, sendo

controladas pela própria comunidade, apresentando, durante sua evolução, um *continuum* de acumulação de recursos (matéria, energia e informação) até retornar ao estado de equilíbrio, obviamente relativo, momento em que a referida acumulação cessa.

Segundo aborda Odum (1983, p. 283), de modo sintético:

A proporção entre biomassa e produção aumenta durante a sucessão até que um ecossistema estabilizado é atingido, em que um máximo de biomassa e de função simbiótica entre organismos é mantido por unidade de fluxo energético disponível.

Portanto, pode-se considerar que a substituição das espécies ao longo deste trajeto segue um padrão de continuidade previsível, a depender obviamente da qualidade do distúrbio apresentado. Tais substituições e mudanças na composição das espécies foram denominadas de “florística de revezamento” por Egler (1954). Naturalmente, observa-se a mesma dinâmica de substituição de espécies animais, em clara associação com as condições e características da fase em que se encontra o consórcio vegetal (Odum, 1983, p. 290).

A meta teórica do processo sucessional é o atingimento do estágio denominado idealmente como *clímax*. O debate teórico sobre a condição da relatividade do estágio de *clímax* vem sendo travado na ciência ecológica já há muitos anos, colecionando ponderações como, por exemplo, sobre os aspectos do comportamento dinâmico da sucessão frente a diferentes condições biogeográficas e aos diferentes níveis de quebra de resiliência observados, incidindo objetivamente na composição dos consórcios finais de espécies.

Margalef (1997) citado por Walker (2005) sintetizou sua análise sobre a sucessão a partir de sete eixos de possibilidades:

1. Biomassa e produção aumentam ao longo da sequência, mas em taxas diferentes, o que significa uma diminuição da razão entre a produção primária líquida e biomassa.
2. Massa de heterotróficos é aumentada em relação à biomassa total.
3. O comprimento das cadeias alimentares aumenta.
4. Aumento do número de espécies e muitas vezes também da diversidade.
5. Aumento da reciclagem interna de nutrientes, diminuindo a rotatividade.
6. Mecanismos de homeostase se tornam mais eficazes, em parte devido à maior longevidade dos organismos.

7. A sequência é, portanto, um processo de auto-organização.

Recentes pesquisas têm observado que, sob os efeitos do aquecimento global e do incremento da “oferta atmosférica” de CO₂⁸, ocorrem diversas mudanças na frequência de espécies em ecossistemas naturais, com conseqüente tendência à fixação de novos padrões florísticos nas diversas fases sucessionais. Os estudos revelam ainda o incremento da dominância de espécies de rápido crescimento nestas novas composições (ZANETTI, 2012).

O acúmulo de nutrientes ao longo do processo sucessional ocorre por meio do aumento gradativo no tempo de reposição, uma vez aumentando a ciclagem interna e a biomassa de acúmulo. A esse respeito, Odum (1983, p, 289) ressalta que estas estratégias “contribuem para o fechamento ou “aperto” da ciclagem biogeoquímica de nutrientes importantes como o nitrogênio, o fósforo e o cálcio.”

Uma consideração importante deve ser feita em relação ao comportamento do nitrogênio durante o processo sucessional. Os estágios iniciais da vegetação na série sucessional caracterizam-se pela utilização do nitrogênio em forma de nitrato, enquanto as etapas subseqüentes utilizam-no na forma de amônia, forma mais prontamente assimilável, resultando em menor custo energético para o sistema. Este aspecto, também foi identificado por Odum (1983, p. 290).

De extrema relevância para este debate são as contribuições envolvendo o conceito ecológico de **distúrbio** ou **perturbação**. De uma forma simplificada, pode-se dizer que os distúrbios podem atuar sobre os ecossistemas e paisagens tanto por ação biótica, ocasionados por formas ou subsistemas vivos, ou abiótica, promovida por exemplo por eventos de ordem climática ou aqueles de origem tectônica. Interessa em particular para análise geral deste trabalho de Dissertação o estudo do componente humano como ativador de distúrbios em sua relação como meio.

No entanto, importa considerar que a qualidade do distúrbio provocado pode resultar não só em prejuízos ao meio, no sentido de comprometer a resiliência ecossistêmica, mas igualmente constitui-se em mecanismo que, uma vez utilizado no sentido de aceleração dos processos sucessionais, potencializa significativamente os mecanismos naturais de recuperação.

A perspectiva estabelecida por Margaleff auxilia neste debate, pois “reconoció que las variaciones en la respuesta inicial a las perturbaciones [distúrbios] podían provocar la

⁸ Proporcionados em grande medida pela atividade humana na biosfera segundo o IPCC (2013).

aparición de puntos de partida diversos y trayectorias sucesionales diferenciadas. (WALKER, 2005).”

Desde os anos 90, diversas pesquisas em Ecologia aplicada envolvendo estratégias de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) vem sendo desenvolvidas com base na análise das respostas aos distúrbios, com resultados surpreendentes indicando a redução drástica do tempo de recuperação ecossistêmica, mediante intervenções (distúrbios) orientadas pelo fluxo sucessional. O aprofundamento da discussão em estratégias de RAD utilizando os mecanismos da dinâmica sucessional pode ser efetuado por meio da consulta a autores como Grimm (1994) e Walker, Walker e Hobbs (2007).

De modo conclusivo sobre a necessidade de consolidação de estratégias de recuperação ecossistêmica por meio de intervenções direcionadas à aceleração de processos sucessionais, considera Walker, Walker e Hobbs (2007):

Talvez a sucessão fosse mais ideal como uma ferramenta para a restauração, a partir de um conceito unificador, ligando perturbação, modelagem e ecologia da paisagem para atividades de restauração. [...] o processo urgente de restauração precisa dos insights da ecologia e sucessão, em particular. Da mesma forma, a nossa compreensão da dinâmica de sucessão pode ser muito melhorada, incorporando as lições experimentais de restauração. Enquanto é necessário e importante o debate sobre conceitos e modelos, o momento é propício para a transferência efetiva destes conceitos para os aspectos práticos da restauração para que possamos garantir que os esforços de restauração sejam tão eficazes e eficientes quanto eles precisam ser.

A história da pesquisa em sucessão se estende por mais de um século e ainda estamos debatendo conceitos e modelos. A história da restauração é muito mais curta, mas a necessidade de restauração eficaz está aumentando rapidamente. (tradução livre)

Como exemplo gráfico de modelagem de monitoramento de intervenções envolvendo processos de RAD, destaca-se a comparação de desempenho de processos de recuperação ecossistêmica com e sem a intervenção humana orientada, em uma floresta no estado da Flórida. Segundo os autores, de forma natural, a floresta se recompõe em 500 anos; contudo, mediante a aplicação de planos de biorremediação este tempo se reduz a 100 anos. Apresenta-se o gráfico obtido por esses pesquisadores que mostra as duas alternativas num prazo de quinhentos anos (figura 1).

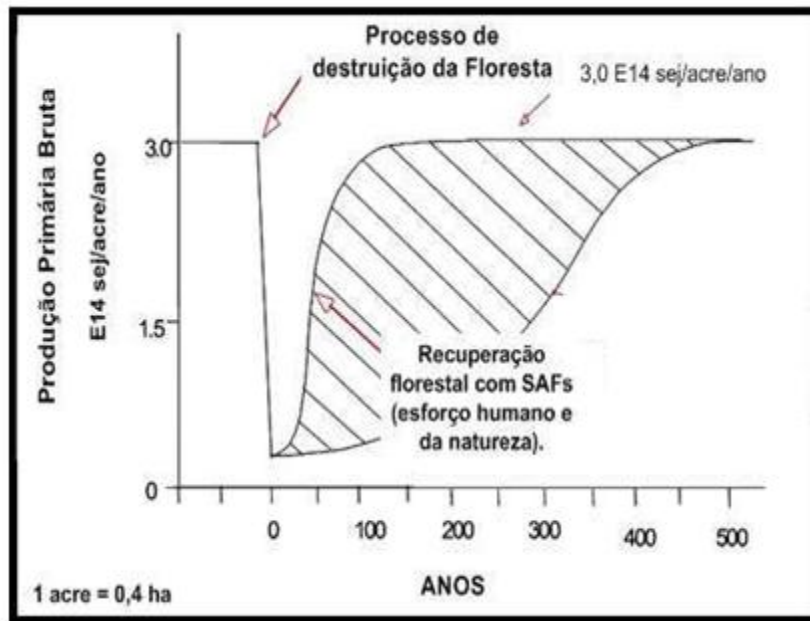


Figura 1. Recuperação de uma floresta nativa no estado da Florida, EUA (BROWN e TILLEY, 1994 citados por ALBUQUERQUE, 2012)

Alguns exemplos de aplicação da ideia de sucessão e do planejamento de “distúrbios orientados” permitem registrar a transversalidade de conceitos, cabendo nesse universo destacar o desenvolvimento das estratégias de *manejo de sistemas agroflorestais sucessionais*. Neste sentido, Peneireiro (1999, p. 75), com base nos pressupostos de Götsch (1995), afirma:

Se analisarmos os processos envolvidos no desenvolvimento de ecossistemas naturais no tempo, observaremos que a sucessão natural é sinônimo de aumento de recursos (sintropia). Os ecossistemas naturais estão sempre mudando, de acordo com o processo sucessional, caminhando sempre para o aumento da qualidade e quantidade de vida consolidada. Estas mudanças se dão numa dupla via: os seres vivos alterando o ambiente e o ambiente atuando sobre os seres vivos. Cada indivíduo é determinado pelo antecessor e determina o seu sucessor, e estes definem e são definidos pelo ambiente.

A afirmação permite verificar os vínculos estabelecidos entre as ideias de ‘processo sucessional’ e ‘sintropia’, a segunda entendida como o aumento da qualidade e quantidade de vida e recursos.

O estabelecimento de técnicas de manejo de agroecossistemas dirigidos pela sucessão natural de espécies, por meio de intervenções ou distúrbios orientados será motivo de aprofundamento nos tópicos seguintes.

1.3 TEORIAS ECONÔMICAS, AGRICULTURA E SUSTENTABILIDADE

O objetivo deste tópico do trabalho é explicitar a fundamentação das vertentes das teorias econômicas que buscam entender o que se convencionou designar genericamente como Economia do Meio Ambiente.

Com a sistematização de diferentes experiências em valoração de serviços ambientais, realizou-se uma discussão crítica sobre a adequação dos modelos experimentados em diversas partes do mundo, procurando lograr um direcionamento seguro para a construção de modelos legitimamente sustentáveis de sistemas de produção agropecuária, ou mais propriamente, de agroecossistemas.

1.3.1 A teoria econômica e a lógica microeconômica

A análise histórica apresentada por Mattos, Silva e Hercowitz (2011), aqui resumida, remonta aos séculos 18 e 19, com as contribuições clássicas de Adam Smith, David Ricardo e John Stewart Mill, postulando princípios microeconômicos envolvendo processos de produção, distribuição, circulação e consumo de bens e serviços. A Economia, segundo estes autores, assume uma dinâmica linear característica, vindo a ser corroborada e desenvolvida por sucessores como Léon Walrás e Alfred Marshall, adicionada da tese de que a formação de preços é consequência natural das relações entre oferta e demanda.

Com as ideias de Marshall, ao identificar a importância do fator tempo, é possível falar numa contribuição diferencial desse autor para a análise da dinâmica econômica. Segundo Marshall (1890 *apud* MATTOS, SILVA e HERCOWITZ, 2011), “[...] a produção em larga escala possibilita grandes economias, porém, cedo ou tarde, a idade se manifesta em todas.” Marshall acreditava que esta dinâmica sucessional⁹ garantiria o atomismo de mercado (grande número de concorrentes). Tal fato provou-se futuramente não ser perfeitamente verdadeiro, em se considerando a existência de estratégias de reprodução e perpetuação da hegemonia levadas a cabo pelas firmas, gerando as “imperfeições de mercado”, representadas, entre outras, por assimetrias de informação e pela introdução de sucessivas inovações. Ainda assim, ressaltam Mattos, Silva e Hercowitz (2011) que Joseph Schumpeter, um dos maiores críticos - e ao mesmo tempo admirador - da visão *marshalliana*, reconheceu que um de seus grandes méritos foi o de apontar para o futuro, a partir de uma abordagem processual, sucessional. Sobre a contribuição *marshalliana*, conclui o autor:

⁹ Pretende-se demonstrar que analogamente ao que ocorre na economia verifica-se o que se pode denominar de sucessão ecológica em uma floresta.

[...] Marshall [...] trouxe uma idéia da indústria como uma estrutura heterogênea, composta de um conjunto de empresas em diferentes etapas de seus ciclos de vida, com diferenças de porte, custos, preços e taxas de expansão, deixando vislumbrar as bases para um caminho alternativo ao neoclássico. (p. 20)

Resgatando a dimensão ampliada da Economia de Marshall, Cavalcanti (2010) afirma:

[...] a teoria econômica (marshalliana) diz respeito especialmente a seres humanos que são impelidos para a mudança e o progresso. Sua definição de economia, que ele iguala à economia política, consiste em ressaltar que ela se dedica ao exame 'daquela parte da ação individual ou social que está mais estreitamente conectada com o alcance e o uso dos requisitos materiais do bem-estar'. Essa é uma interpretação que se enquadra dentro dos moldes da economia como uma disciplina que trata de escolhas, como na análise de comportamento do consumidor sob condições de desejos ilimitados e *recursos finitos*. Implícita nessa visão encontra-se a idéia de que se comportar de maneira econômica significa tornar a atividade de uma pessoa ou de uma organização 'eficiente', em vez de esbanjadora.

Não obstante o posicionamento *marshalliano*, para muitos de certa forma exagerado quanto à certeza na eficiência, observa-se, já na entrada do século 20, um processo de vulgarização dos pressupostos neoclássicos no meio econômico, na forma de críticas ao livre mercado e às supostas "condições naturais de equilíbrio" emitidas por economistas expoentes como Sraffa, Kaldor e Mason.

Em outra vertente, e de modo original, Schumpeter introduz o conceito de "destruição criadora", ao considerar a inovação e os processos de mudança técnica como variáveis fundamentais ao vigor econômico e à acumulação de capital, paradoxalmente apoiado na conceituação-crítica do capitalismo desenvolvida por Karl Marx. Assume, deste modo, as imperfeições de mercado como fundamentais no processo de acumulação capitalista e crescimento econômico, e introduz a ideia de que os processos inovativos se dão, em grande monta, no âmbito dos oligopólios, sendo fonte poderosa de geração de assimetrias (SILVA, 2004 *apud* MATTOS, SILVA e HERCOWITZ, 2011). Esses autores consideram que a visão *schumpeteriana* "[...] peca em não atribuir relevância ao papel do Estado nos processos inovadores do capitalismo" (fomento horizontal, regulamentação do mercado e planificação estrutural).

Essa lacuna, no entanto, busca ser corrigida por grande parte dos chamados *neoschumpeterianos*, ao proporem desenhos atribuindo ao Estado um papel estratégico como planejador e interventor, no sentido de oferecer efetivo suporte a processos horizontais de mudança técnica e inovação. No que tange ao emergente horizonte de demandas e oportunidades socioambientais, a necessidade de coordenação e controle do Estado parece cada vez mais evidente, principalmente no que diz respeito à dimensão do compromisso intergeracional.

Ao concluir seu posicionamento sobre a dinâmica da inovação voltada à sustentabilidade, Mattos, Silva e Hercowitz (2011) afirmam, quase que na forma de uma receita a ser implementada:

[...] os desafios do Estado de tornar a questão socioambiental não somente um diferencial de poucos empreendedores inovadores, mas também uma realidade de mercado, de demanda da sociedade e, substancialmente, do próprio processo de desenvolvimento econômico em outras bases.

A dimensão neoshumpeteriana da Economia sugere uma forte característica de evolução. Diversos autores neoshumpeterianos evidenciam fenômenos de sucessão de estágios, a partir de inovações radicais e seus desdobramentos, ou mesmo numa dimensão clara de mudança de paradigmas, a exemplo de Carlota Perez (PEREZ, 2010). A autora identifica a presença de ciclos de paradigmas tecno-econômicos, nos quais correlacionam-se padrões de aprendizagem e comportamento com padrões tecnológicos instalados, em regime de retroalimentação. Tais processos tendem a expirar com o surgimento de pressões exógenas e endógenas, representada, por exemplo, pela previsão de rápida exaustão dos recursos naturais planetários, forçando a adaptação a novos padrões físicos e de comportamento. Contando com a perspectiva de alavancamento de economias não desenvolvidas, a autora avança no detalhamento de estratégias de *catching-up* resultantes da inserção em mercados emergentes, aproveitando “janelas de oportunidade”, onde registra a ocorrência de curvas exponenciais de retornos econômicos crescentes no início do processo de sucessão de inovações.

Entre os conceitos aplicados mais importantes do schumpeterianismo, um dos mais marcantes é o de “destruição criadora”, onde a interveniência de inovações promove a desestabilização do mercado, criando falhas em seu interior, onde novas oportunidades são geradas e asseguradas por assimetrias no domínio tecnológico-econômico. Sobre esta perspectiva cíclico-evolutiva, aprofundada no neoschumpeterianismo por Nelson e Winter, Amazonas (2001) analisa:

Evolução implica em perda de ordem em algum nível, em função de uma maior ordem global resultante. E esta é uma característica inerente posta pela lógica do processo econômico: realizar processos de feedbacks positivos crescentes, com isso ampliando desequilíbrios e potencializando crises disruptivas. Partindo de uma analogia biológica com o processo darwinista de evolução das espécies, Nelson e Winter procuram mostrar a dinâmica econômica a partir dos conceitos que definem como *busca* e *seleção*. Assim como a evolução das espécies se dá por meio de mutações genéticas submetidas à seleção pelo ambiente, as empresas buscam permanentemente inovações de processos e produtos como resposta ao processo competitivo.

Assim, utilizando a terminologia que temos adotado, podemos dizer que nesta visão há um processo de coevolução entre a dinâmica tecnológica da firma e da estrutura do mercado, no qual a dinâmica evolutiva da empresa

dá-se em função do estado de ordem estabelecido pelo "ambiente" ou paradigma do sistema no qual se dá (estrutura), ao passo que a própria evolução da ordem desta estrutura dá-se a partir da interação destas dinâmicas individuais.

De um modo geral, podemos ver como esta abordagem teórica econômica neoschumpeteriana, que se inicia por analogias com os processos evolutivos biológicos, apresenta-se como de convergência e aderência com os marcos evolucionistas.

Norgaard, pela via da elaboração bioeconômica, também estabelece sua teorização em torno da identificação de processos econômicos evolucionários, em uma perspectiva marcada pela visão sistêmica. Amazonas (2001) oferece uma importante contribuição na análise transversal dos postulados de Norgaard, que desenvolve a ideia dinâmica de coevolução entre os sistemas ecológico e econômico, incluindo as seguintes considerações acerca do balanço entropia/negentropia:

Destacam-se os trabalhos de Norgaard (1984, 1994), que desenvolve a ideia dinâmica de coevolução entre os sistemas ecológico e econômico, compreendendo-a a partir da relação entre a progressiva restrição termodinâmica física (entropia) e a busca da geração de ordem (entropia negativa ou negentropia) a partir das inovações econômicas, conformando um avanço evolutivo e de geração de complexidade crescente.

Segundo Norgaard, historicamente, no desenvolvimento de sociedades pretéritas de base agrícola, conhecimento e aprendizado apresentam-se enquanto cultura e conhecimento cultural. A modernização os substitui hoje por instituições formais e conhecimento objetivo respectivamente. Assim, as dinâmicas institucional e tecnológica constituem hoje os mecanismos concretizadores do processo evolutivo que surge em resposta às pressões postas pelo processo de entropia sobremaneira impulsionado pela própria atividade humana. Assim, o potencial coevolutivo para Norgaard deve ser entendido como a trajetória percorrida de modo interdependente pelos sistemas social e ecológico que melhor consegue converter o excedente de energia em *ordem*, ou seja, que melhor consegue minimizar o processo progressivo de entropia, através da também progressiva evolução do conhecimento.

A compreensão da lógica econômica dá-se também a partir de níveis hierárquicos, com características, operações e ciclos distintos. A seção que segue abordará aspectos no nível macroeconômico, resgatando sua importância, reflexos no nível produtivo, evidenciando a importância do Estado como agente retroalimentador do sistema econômico.

1.3.2 Desenvolvimento, planificação e intervenção do Estado

A crise de 1929 representou um duro golpe na política liberal do *laissez-faire*, demandando a construção de modelos de controle macroeconômico, destacando-se John Maynard Keynes (aluno de Alfred Marshall) como principal formulador, rechaçando com suas propostas a teoria da ação autocorretiva dos mecanismos de livre mercado (MATTOS, MADI e HERCOWITZ, 2011).

Ainda que os pressupostos macroeconômicos ortodoxos se fixem na maximização das vantagens econômicas no âmbito das nações como objetivo fulcral, a perspectiva de planificação e direcionamento econômico via políticas públicas se reveste de fundamental importância na equalização da dinâmica capitalista, cabendo aos Estados Nacionais a responsabilidade dos rumos a tomar, devendo responder pelas consequências internas e externas a cada país. A partir das formulações *keynesianas*, assim como de seus sucessores, alinhou-se um conjunto de políticas e instrumentos de equalização dos mecanismos de mercado internacional, em princípio tendendo a um conteúdo com maior teor de benefícios direcionados a equalizações das relações desiguais entre países em diferentes graus de desenvolvimento. No âmbito da América Latina, registram-se as importantes elaborações levadas a efeito pela CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe).

No entanto, a partir da década de 80, a avassaladora onda de influência neoliberal, consolidada pelo advento do hermético *Consenso de Washington*, logrou um processo generalizado de desconstrução internacional do instrumental macroeconômico, voltando a relegar os processos de desenvolvimento às rédeas do livre mercado, então em franco processo de globalização. Inaugura-se a partir daí novo processo de recrudescimento das relações de assimetrias tanto entre nações quanto em seus cenários internos, sob o franco apoio de instituições como o FMI (Fundo Monetário Internacional), Banco Mundial e a OMC (Organização Mundial do Comércio).

1.3.3 Economia Ambiental: A busca do equacionamento da questão ambiental dentro da lógica matemático-mecanicista

Existe um aspecto central na questão da *Economia Ambiental*, que deve nortear todo o debate a ser realizado aqui com o objetivo de delimitar os conceitos básicos, o alcance e o papel que se espera para essa vertente econômica.

A afirmação de Mattos, Silva e Hercowitz (2011) auxilia na tarefa proposta:

[...] a economia ambiental apóia-se, em geral, em conceitos neoclássicos – *Equilíbrio preço-quantidade e Estado regulador*. Busca transformar ‘bens e serviços não transacionáveis em mercado’ em ‘bens e serviços transacionáveis em mercado’.

Nos termos descritos acima, a questão ambiental é como uma variável exógena à economia, tal qual ocorre com a tecnologia. A lógica da maximização de lucros é mantida como princípio norteador, via-de-regra camuflada pelos benefícios das chamadas externalidades positivas.

Outro autor fundamental no debate aqui realizado é Cavalcanti (2010), que tece as seguintes considerações sobre o que denomina “visão econômica da ecologia”:

Na ciência da economia convencional, o meio ambiente não aparece nunca [...]. Há momentos, porém, em que falar do meio ambiente é importante no modelo. Um ajuste então se faz na forma de inclusão do meio ambiente como apêndice da economia-atividade, a qual continua sendo vista como o todo dominante; nesse caso, o ecossistema possui a essência de um almoxarifado ou dispensa [...].

Diversos outros autores tecem considerações envolvendo a inadequação dos modelos da Economia Ambiental, embora seus mecanismos e práticas sejam hoje dominantes, principalmente no que diz respeito aos nichos das compensações ambientais, em grande monta propulsionado pela indústria da mineração e pelo mercado de carbono, entre muitas outras transações comerciais.

1.3.4 Economia Verde: uma perspectiva de reordenamento macroeconômico

É possível afirmar que o conceito de Economia Verde foi lançado originalmente pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas – PNUMA, em resposta à crise financeira no segundo semestre de 2008, com um forte apelo para a utilização de um novo paradigma para a retomada do crescimento da economia mundial, tornando-se bandeira da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20. O conceito possui como princípio fundamental a oportunização de mercados emergentes vinculados às tecnologias sustentáveis, tendo como pontos focais a redução de impactos ambientais e a criação de empregos em larga escala vinculados a estas iniciativas (ALMEIDA, 2012).

A afirmação de Almeida (2012) auxilia na resposta aos questionamentos normalmente feitos ao modelo de Economia Verde proposto pelo PNUMA:

“As controvérsias sobre o significado de economia verde, entretanto, ainda persistem por causa da forma ambígua como foi proposto pelo Pnuma, isto é, ao mesmo tempo como um conceito complementar (ou alternativo) ao de desenvolvimento sustentável e como um conjunto de instrumentos de

política para o seu alcance. Como construção conceitual, suscita de imediato uma indagação: por que o Pnuma teria privilegiado um novo e impreciso conceito em lugar do já consagrado conceito de desenvolvimento sustentável cujo significado é mais abrangente? Ressalvas e críticas também são feitas ao leque de políticas setoriais recomendadas, em especial à visão de **economia verde como uma abordagem estritamente econômica de incentivo ao mercado de tecnologias ambientais** cuja contribuição ao desenvolvimento sustentável é questionável.” (grifo nosso)

Como reação às críticas prontamente evidenciadas ao modelo, o PNUMA redefiniu a Economia Verde como "*aquela [...] que resulta na melhoria do bem-estar humano e da igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais e das limitações ecológicas*". Em síntese, uma economia de baixo-carbono, eficiente no uso de recursos naturais e socialmente inclusiva deve ser considerada na perspectiva dos princípios de uma "*economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza*" (UNEP, 2011 *apud* ALMEIDA, 2012).

Assim, nos termos descritos até aqui, diferentemente da variante *Economia Ambiental* trata-se a *Economia Verde* de uma proposição de caráter fundamentalmente macroeconômico, preconizando mudanças tecnológicas ambientais de larga escala por meio de parcerias público-privadas, que devem ser induzidas por políticas públicas definidas, desenhadas em âmbito nacional e global.

1.3.5 A lei da entropia e o surgimento da Bioeconomia ou Economia Ecológica

Ao considerar um ângulo absolutamente diferenciado das abordagens anteriores, vinculadas a modelagens matemáticas e de caráter físico-mecanicista, surgem, a partir da segunda metade do século 20, propostas de análise e intervenção econômica inspiradas nas dinâmicas dos fluxos energéticos (termodinâmica) e nos modelos biológicos-evolucionistas.

No ano de 1850, o matemático alemão Rudolf Clausius lançou as bases para a formulação daquela que passou a ser conhecida como a segunda lei da termodinâmica, formulada após haver sido introduzido no debate acadêmico o conceito de entropia¹⁰.

Tomando por base a teoria física de Clausius, o matemático e economista de origem romena Nicholas Georgescu-Roegen desenvolveu e lançou, em 1971, a obra *The Entropy Law and the Economic Process*, contendo uma teoria econômica que aponta para o

¹⁰ A entropia mensura o grau de irreversibilidade de um sistema, no qual o trabalho pode ser completamente convertido em calor e este em energia térmica, não podendo, entretanto, ser esta completamente reconvertida em trabalho (CLAUSIUS, 1865).

inevitável processo de degradação acelerada dos recursos naturais, característico do atual modelo de desenvolvimento urbano-industrial. Segundo aponta Cesar (2010):

[...] os estudos de Georgescu-Roegen destacam o fato de a realidade não se comportar em conformidade com o estabelecido pelas propriedades da matemática.” A afirmação da autora ajuda a esclarecer aspectos fundamentais desse debate: [...] o uso da termodinâmica foi apresentado como sendo mais pertinente para a economia do que a mecânica, uma vez que sob a ótica da mecânica a economia não poderia afetar o ambiente. Com isso, Georgescu-Roegen evidenciou a incoerência do caráter mecanicista presente nas análises econômicas, frente à realidade.

Georgescu-Roegen apresentou o sistema econômico atual como um transformador de recursos naturais em rejeitos que não poderão mais ser utilizados, com o esgotamento das fontes não renováveis de materiais e energia. A lei da entropia, nesta perspectiva, é consolidada como a raiz da escassez econômica, mediante a impossibilidade de se reutilizar ciclicamente a mesma energia (CESAR, 2010).

Possivelmente menos conhecida seja a interessante abordagem de Georgescu-Roegen sobre geração de entropia negativa, conforme elucida Amazonas (2001, p. 93): “GR reconhece, entretanto, que a *ação humana*, imbuída de *propósito* próprio, é capaz de produzir reduções de entropia localizadas [...] Apesar de toda sua ênfase na natureza entrópica da existência humana, GR destaca entretanto que o processo econômico, se for visto deste ponto de vista estritamente físico, pareceria deste modo não fazer sentido.”

Outra contribuição para o entendimento dos princípios termodinâmicos fundamentais à compreensão da escola da Economia Ecológica é oferecida por Cavalcanti (2010):

[...] o calor se move em uma única direção, do corpo mais quente para o mais frio, o que exemplifica uma condição de irreversibilidade. É nesse marco que ‘a natureza fundamentalmente não mecanicista do processo econômico revela-se de modo pleno’. Pois a atividade econômica consiste em produzir e consumir, ou seja, transformar recursos brutos em artefatos e, depois, em lixo, de maneira irreversível. Esse processo requer energia - e energia não pode ser reciclada -, tópico que pertence à esfera da termodinâmica, e não da mecânica.

Mattos, Silva e Hercowitz (2011) ressaltam aspecto complementar fundamental para os objetivos que se pretende aqui estudar, nesse caso explicitado pelos autores como um verdadeiro pressuposto: “A Economia Ecológica valoriza processos macroeconômicos de desenvolvimento, distribuição justa e alocação eficiente e Estado planejador e interventor.” Neste sentido, a proposta da Economia Ecológica busca criar estratégias que comportem uma esfera mais ampla de necessidades extra-mercado. A contribuição de Cavalcanti (2010) para o debate da Economia Ecológica (EE) é inegável ao afirmar:

Conflitos aparecem desafiando a tendência à valoração puramente monetária (como a do ‘mercado’, por exemplo) de situações essenciais para

a vida humana. Na EE um tema central é exatamente a incomensurabilidade de valores diante do econômico [...]. Não pode haver dúvida, assim, de que a EE vê a economia humana como parte - ou subsistema - do todo maior que é a natureza e que a essa se submete de uma forma ou de outra. [...] O problema é que as prioridades econômicas atropelam sistematicamente considerações de ordem ecológica. Quando se atribuem preços aos recursos naturais - o que acontece com aqueles que têm mercado como o petróleo -, tais valores constituem invariavelmente uma subestimação. Na contabilidade econômica nacional tradicional, um valor zero é implicitamente conferido a todos os recursos da natureza, dando-lhes a condição de 'bens livres'.

A noção da amplitude da abordagem da Economia Ecológica pode ser entendida na afirmação de Martínez-Alier e Jusmet (2007), citado por Cavalcanti (2010), quando faz a seguinte analogia:

Quando as pessoas de cor eram obrigadas a viajar sentando-se na última fileira de bancos dos veículos nos Estados Unidos, isso não podia ser compensado na escala da dignidade humana com uma passagem mais barata.

Cabe afirmar que para uma abordagem sustentável do desenvolvimento, um dos pilares da economia ecológica é a necessidade de tratar a realidade por meio da transdisciplinariedade “com foco nas relações entre ecossistemas e sistemas econômicos no sentido mais amplo possível.” (CAVALCANTI, 2010).

Odum (1983) contribui de modo instrumental para a análise de fluxos de recursos, defendendo modelos de indexação dos fluxos de recursos biofísicos com o fluxo econômico de capitais, conforme transcrição:

O dinheiro representa um fluxo em sentido oposto ao fluxo energético, pois sai dos centros de consumo (cidades e fazendas) em troca da energia e dos recursos que entram. Ao contrário da energia, porém, o dinheiro circula. Na teoria, pelo menos, o dinheiro pode ser convertido em unidades de energia corrigidas segundo a qualidade (e.g. calorias), a fim de estabelecer um valor monetário para os bens e serviços da natureza. [...] De modo geral, os ecologistas e economistas concordam que é urgente a abolição das diferenças entre valores do mercado e valores que não são do mercado (ou corrigir-se, em outras palavras, a falha do mercado, no que se refere aos bens e serviços da natureza), pois cada um destes dois conjuntos de valores depende do outro.”

Odum (1983) registra ainda um importante debate histórico, relacionando o ciclo dos combustíveis fósseis com o declínio de escolas de ecologistas holísticos, conforme segue:

No período em torno de 1900, um grupo de estudiosos que se chamavam “economistas holísticos” formou uma ativa “escola” crítica dos modelos econômicos daquela época. Grunchy (1947) dedica um livro a esta escola, que incluía Thorstein Veblen, J.R. Commons, Wgesley Mitchell, John M Clark, Rexford Tugwell e Gardiner Means, nomes pouco conhecidos pelos estudantes atuais da ciência econômica. Os holistas reclamaram que os economistas clássicos davam pouca atenção à economia como um todo dinâmico em funcionamento, contentando-se apenas em centrar as suas

atenções nas partes separadas. Qualquer desenvolvimento posterior de uma economia holística foi submergido pela inundação de petróleo que provocou um rápido crescimento na riqueza monetária e material. [...] O historiador John Haag (1981), numa resenha do pensamento econômico desde 1945, percebe a emergência de uma nova raça de economistas que não estão “embriagados” pela “ética materialista de crescimento a qualquer preço”. Wassily Leontief, Prêmio Nobel de Economia, reclama, em 1982, da incapacidade dos economistas de reconhecerem que a economia é “um sistema auto-regulador de muitas atividades diferentes, porém inter-relacionadas e, portanto, interdependentes”. Ele pergunta: “Durante quanto tempo os pesquisadores de áreas adjacentes, tais como a demografia, sociologia e ciência política, por um lado, e ecologia, biologia, ciências da saúde, engenharias e outras ciências físicas aplicadas, pelo outro, abster-se-ão de expressar a sua preocupação com o esplêndido isolamento em que a economia acadêmica agora se encontra?”

As interfaces da proposta bioeconômica com as propostas de aprofundamento do debate sobre contabilidade agroecossistêmica são expressas por Caporal e Costabeber (2004, p. 113), quando ressaltam o fato de que o enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável deve estar vinculado às estratégias da Economia Ecológica, conforme se extrai da seguinte ideia dos autores:

Aliás, como bem nos ensina a Economia Ecológica, a insustentabilidade de agroecossistemas pode se expressar pela obtenção de resultados econômicos favoráveis às custas da depredação das base de recursos naturais que são fundamentais para as gerações futuras, o que põe em evidência a dimensão econômica e a dimensão sociológica.

O que se vem observando, no entanto, é que esta transversalidade essencial entre a Agroecologia e a Economia, sugerida por estes autores, não se tem observado nem na prática das relações econômicas voltadas aos produtos segundo a eficiência de seus sistemas de produção, nem mesmo pelas vias acadêmicas.

As sinergias dos agroecossistemas, principalmente no que diz respeito à dinâmica de acumulação de matéria e energia por meio de processos sucessionais, devem ser positivamente consideradas em termos bioeconômicos, uma vez fazendo emergir uma matriz econômica de baixa entropia, onde a equação entropia total menos sintropia possível deve tender a zero, mesmo que termodinamicamente nunca possa alcançá-lo.

1.4 SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS NOS TRÓPICOS E SUBTRÓPICOS: UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA

Para uma compreensão mais robusta do tema da sustentabilidade na agricultura, apresenta-se uma breve panorâmica histórica dos movimentos sociais com ele identificados, buscando efetuar uma revisão, entre uma grande diversidade de autores, que auxilie na emergência de padrões e analogias úteis à presente análise.

1.4.1 Adaptação, coevolução e sustentabilidade na história da agricultura

Frente às evidências proporcionadas por disciplinas como a história ambiental e a Ecologia Humana, toma-se consciência de uma condição paradigmática: a sustentação do *Homo sapiens* pôde ocorrer por meio de processos adaptativos, nos quais a presença no meio era efetivamente integrada, apresentando, em muitos dos casos estudados, uma capacidade de retroalimentação do ecossistema com elevados níveis de respostas sintrópicas.

É possível deduzir a partir daí que, sendo este um paradigma recorrente na adaptação de quaisquer espécies, o homem se encontra hoje em patamar similar ao vivenciado durante a denominada Revolução Verde, mas possivelmente agora com melhor conhecimento sobre um novo ciclo adaptativo.

Inúmeras referências a práticas de manejo sustentável são encontradas em diferentes pontos da história da agricultura, em realidades geográficas e sociais completamente distintas. Como exemplos de experiências adaptativas exitosas dos povos pré-colombianos, destacam-se as descrições sobre a agricultura tropical amazônica de grupos pertencentes às etnias Kayapó no estado do Pará (POSEY, 1986) e Tucano, no Rio Uaupés, bacia do alto Rio Negro (MORÁN, 1990).

Denota-se, tomando por base estas importantes investigações, além de um conhecimento apurado das espécies animais e vegetais da “comunidade” – em muitos casos com detalhamento taxonômico – a utilização de elaboradas estratégias de manejo e territorialização levando em conta uma noção bastante exata de capacidade de suporte da população, e estabelecendo controles culturais específicos para sua regulação. Ganha destaque na obra de Emilio Morán, *A Ecologia Humana das populações da Amazônia*, as intrincadas estratégias culturais produzidas pelas etnias dos *Tucano* e *Macus*, no sentido de sustentar a população em uma condição ecossistêmica e biogeográfica bastante delicada,

sob solos de arenito com alta tendência à baixa disponibilidade natural de nutrientes, o que acaba por afetar, por consequência, toda a cadeia trófica dos ecossistemas.

De modo ilustrativo, segue o que pode ser considerado como o primeiro registro escrito da história referente a estratégias de relação produtiva entre o homem e o meio, numa relação nitidamente sintrópica. Trata-se de um trecho do *I Ching – O Livro das Mutações* (WILHELM, 1982)¹¹:

“Assim, os homens dividem o fluxo uniforme do tempo em estações, de acordo com a sequência dos fenômenos naturais, e dividem também em pontos cardeais o espaço que envolve todas as coisas. Desse modo, a natureza, em sua pujante profusão de fenômenos, é delimitada e controlada. Por outro lado, é necessário estimular a natureza em sua produtividade. Isso se consegue ajustando os produtos ao momento e lugar adequados, o que aumenta o rendimento natural. Assim, a natureza recompensa o homem que a controlou e estimulou.” (Hexagrama 11, pg 59)

Este texto evidencia a correlação das abordagens orientais com as modernas abordagens de padrões sistêmicos, conforme sugerido por Capra (1982; 1985) em suas análises a partir da realidade subatômica e por Jung (1997) a partir da perspectiva da sincronicidade (*synchronicity*), assim como pelas analogias com o *taoísmo* produzidas por Di Corpo (2013) em torno do princípio da sintropia.

Em relação ao saber adaptativo das populações humanas, Weid e Altieri (2002, p. 233) consideram que “A persistência da agricultura tradicional em milhões de hectares sob a forma de camalhões, terraços, policultivos, sistemas agroflorestais etc. documenta uma estratégia nativa bem sucedida [...]”. Esse posicionamento é confirmado Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000): “[...] el conocimiento de que en el pasado de la humanidad, y incluso en las culturas marginadas por la civilización industrial, podían encontrarse muchas experiencias útiles para hacer frente a los retos del presente [...].”

Um aprofundamento da visão de adaptação pode ser também encontrado na denominada perspectiva da *adaptação coevolutiva*. Trata-se de tema relevante para a reconstrução de referenciais de intervenção humana no meio em que vive. Figueiredo e Lima (2006, p. 40) citam Norgaard (2002) como o autor que apresenta uma contribuição bastante aprofundada e muitas vezes aplicada sobre a abordagem coevolutiva do homem com seu meio, abrindo um profícuo campo de análise evolutiva no campo da Bioeconomia. Segundo Norgaard (Idem), “cada um desses sistemas se relaciona com os outros e cada um

¹¹ Estima-se que *I Ching* tenha sido escrito há mais de 4 mil anos, ou possivelmente tenha sido escrito por Confúcio, por volta do século IV antes da era cristã. Trata-se de obra que descreve, de modo surpreendentemente sintético e preciso, o possível segredo adaptativo da milenar e intrigante agricultura chinesa. É possível distinguir os princípios básicos da estratégia produtiva-adaptativa, de modo bastante explícito, por meio da tradução de Richard Wilhelm.

exerce uma pressão seletiva sobre a evolução dos outros, fazendo com que estes coevoluam. Tudo está em constante mutação, tudo conectado.”

Segundo Figueiredo e Lima (2006) a perspectiva coevolutiva oferecida por Richard Norgaard, explica a interação entre dois grandes sistemas: o social e o ecológico, fundamentando a seguinte elaboração destes autores: “[...] compreendemos os agroecossistemas como uma interação entre os sistemas sociais e ecológicos de cada lugar ou região, que coevoluem juntos.”

Valendo-se da mesma abordagem coevolutiva de Norgaard, Caporal e Costabeber (2004, p. 89) destacam:

Pela perspectiva evolutiva oferecida por Norgaard, a evolução da cultura humana pode ser explicada com referência ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que a evolução do meio ambiente pode ser explicada com referência à cultura humana.

Caporal e Costabeber (2004, p. 87) demonstram a influência teórica de Victor Toledo no que se pode denominar de debate agroecológico-adaptativo, sobre a questão do saber humano. Afirmam os autores: “Em contraste com os mais modernos sistemas de produção rural, as culturas tradicionais tendem a implementar e desenvolver sistemas ecologicamente corretos para a apropriação dos recursos naturais (Toledo, 1993)”. Na dimensão proposta por Toledo, a agricultura familiar ganha a dimensão de célula-mater da Agroecologia, por meio da aplicação de estratégias estruturantes de autoconsumo e desenvolvimento endógeno.

1.4.2 Os ciclos da produção científica e tecnológica voltados à sustentabilidade de agroecossistemas

É possível identificar a evolução histórica das investigações em torno da sustentabilidade de sistemas agrícolas a partir de basicamente três ciclos de desenvolvimento e evolução tecnológicas, onde se observam condicionantes histórico-científicas específicas, tratadas a seguir.

1.4.2.1 O primeiro ciclo: o surgimento de pesquisas e modelos agrícolas apresentando conexões entre Ecologia e Agronomia

Esta primeira onda de pesquisas formais, muitas delas com forte vinculação com as ciências naturais puras, formaram um movimento científico no qual muitos autores

propuseram à época a criação de uma espécie de sub-área científica denominada “Ecologia Aplicada à Agricultura.” Destaca-se, nesse conjunto, Moysés Nussenzveig (1998) para quem a Ecologia e Agronomia voltaram a se afastar após a Segunda Mundial. É fato, no entanto, que a uma certa distância do meio acadêmico ocorriam outras movimentações durante esta primeira metade do século XX.

Uma das correntes de maior importância na modelagem de agroecossistemas com base nos fluxos de matéria, energia e informação foi fundada por Rudolf Steiner, criador da Antroposofia. (STEINER, 1988).

Esta modalidade de agricultura recebeu o nome de *biodinâmica*. A abordagem antroposófica proposta por Steiner confere aos sistemas de produção uma condição de organismo vivo, controlado por atributos biológicos como autorregulação, crescimento, desenvolvimento e reprodução. Imersa em um sentido próprio de cosmovisão e guardando atenção aos ciclos naturais, esta abordagem considera que a introdução de insumos externos somente deve ser considerada enquanto um “remédio” empregado para uma terra adoecida.

A corrente da agricultura biodinâmica aportou contribuições à pesquisa de agroecossistemas sustentáveis no Brasil a partir de pesquisas no município de Botucatu (Fazenda Demétria e IBD - Instituto Biodinâmico), tendo sido uma das pioneiras na pesquisa de sistemas diversificados com a presença de elementos arbóreos, perseguindo a apropriação dos conceitos e práticas originalmente gestados em clima tipicamente temperado.

Uma outra importante vertente surgida no Japão, a *agricultura natural*, fundada por Masanobu Fukuoka é aqui digna de nota, tendo em vista os importantes desdobramentos surgidos a partir de suas elaborações originais. A esse respeito Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000) busca uma interpretação da abordagem de Fukuoka: “O biossistema, vivente e globalizado, que constitui a Natureza, não pode ser dissecado nem desmembrado.”

A base filosófica central da agricultura de Fukuoka é a observação dos ciclos naturais e a adaptação e integração do homem a estes ciclos, mediante intervenções mínimas com eles sincronizados, buscando práticas de mínimo ou nenhum impacto negativo, propugnando o mínimo revolvimento do solo. Este tipo de agricultura, no entanto, não logrou expressivo espaço no Brasil. No próximo tópico será tratada a importante influência dos modelos de Fukuoka na Austrália, a partir das modelagens de agroecossistemas no contexto da Permacultura.

Cabe aqui uma observação final a respeito das contribuições dos autores deste período, que sofreram um processo de desconstrução promovido pela corrida do pós-

guerra, em boa medida alimentada pelo advento da Revolução Verde. A partir daí, registra-se, conforme confirma Embrapa (2006), o efetivo afastamento das ciências da Ecologia e da Agronomia.

É importante registrar, no entanto, que a gestação e os efetivos desdobramentos destas primeiras contribuições seriam visíveis em uma nova safra de contribuições teóricas, pelas razões presentes no tópico que se segue.

1.4.2.2 O segundo ciclo: respondendo aos limites do crescimento

Nos anos setenta do século XX, assistiu-se à efervescência de importantes publicações buscando o aprofundamento da dinâmica da sustentabilidade em sistemas de produção agropecuária, motivado, no (nosso) entendimento aqui defendido, por quatro fatores fundamentais: a) a publicação, em 1972 do relatório *The Limits of Growth*, a partir das elaborações do Clube de Roma; b) o advento das crises do petróleo de 1973 e 1978; c) a preexistência de práticas e abordagens sistêmicas de agricultura, acumuladas tanto em tradições agrícolas ancestrais quanto em sistematizações surgidas no início daquele século; e d) suporte robusto oferecido pela maturidade das pesquisas em Ecologia de ecossistemas (MEADOWS e MEADOWS, 1972).

As condicionantes citadas geraram uma multiplicação de trabalhos de grande qualidade abordando uma variada gama de temas, como análise da ciclagem de nutrientes, biodiversificação, *design*, análise econômica e, inclusive, sucessão ecológica de interesse específico para as análises aqui apresentadas.

São publicações pioneiras nesta segunda onda de produções científicas vinculando Agronomia e Ecologia: Van Dyne (1969), Dalton (1975), Speeding (1975), Cox e Atkins (1975), Gliessmann (1982a; 1982b), Altieri e Farrel (1984), Anderson *et al.* (1985), Richards (1985; 1986), Marten (1986). Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000 p.36) destacam que os referidos trabalhos construíram um magnífico campo de provas da utilidade dos conceitos ecológicos aplicados ao manejo de agroecossistemas, a maioria centrados nos ciclos de nutrientes e nas interações de pragas com as plantas cultivadas. Os autores ressaltam ainda a importância de trabalhos com foco na pesquisa de agroecossistemas em países em desenvolvimento, a exemplo de Hernandez-Xolocotzi (1977) e Gleismann (1978).

Bene *et al* (1977), em sua obra *Trees, food and people land management in the tropics*, aborda de forma ampliada a importância estratégica de sistemas agroflorestais. A influência deste trabalho é considerável, tendo sido a pedra fundamental para a criação do

ICRAF, o *World Agroforestry Centre*, em Nairobi, Quênia, hoje um dos centros de maior relevância na pesquisa de sistemas agroflorestais em todo o mundo.

É flagrante e curioso o exame da bibliografia formal produzida neste período, que conta com quase a totalidade das publicações oriundas de ensaios e pesquisas realizadas em países sub-desenvolvidos na África - principalmente no Quênia, na Índia e na América Central, em particular na Costa Rica, muito em virtude das tradições do cultivo de café em sistema sombreado¹².

Nesse ponto é importante ressaltar que o pesquisador suíço Ernst Götsch, ao chegar à Costa Rica em 1980, trava contato com estas experiências, sendo influenciado por pesquisas voltadas ao manejo da sucessão em agroecossistemas tropicais, principalmente pelos trabalhos de Hart (1979).

Este pesquisador chegaria ao Brasil em 1982, no intuito de iniciar investigações a partir do manejo do cacau, no Sul da Bahia, onde, durante vinte anos, refinou e aperfeiçoou a abordagem de manejo sucessional de modo detalhado, propondo manejo intensivo do agroecossistema vinculado aos processos de sucessão ecológica, sendo por eles beneficiado. O manejo sucessional configura-se numa técnica de intervenção no agroecossistema onde, a partir da profunda compreensão das dinâmicas da sucessão secundária dos ecossistemas específicos, busca-se a aplicação de desenhos e práticas que repliquem funções e estruturas ecossistêmicas, promovendo uma aceleração dos fluxos de energia, matéria e informação.

De influência marcante a nível mundial são as contribuições de Bill Molison e David Holmgren (Universidade de Hobart, Tasmânia), que desenvolveram a Permacultura a partir da publicação do clássico *Permacultura Um* (Mollison e Holmgren, 1979). Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000 p. 77) registra que tal abordagem é “impregnada da filosofia de Fukuoka” (vide tópico anterior), estando fundamentada na ciência da Ecologia, na engenharia de paisagens e na arquitetura. Os desenhos sistêmicos preconizados pela Permacultura contam com grande riqueza técnica e concepção operacional bastante ampliada, concebendo arranjos produtivos sustentáveis ao prever o atrelamento estratégico entre indústria e comércio locais.

¹² Note-se aqui que alguns tipos de culturas agrícolas domesticadas pelo homem são manejados em regime de sombreamento, uma vez que, em seu centro de origem biogeográfica, cumpria sua função no ecossistema original localizado em estratos florestais denominados genericamente de *sub-bosques*, adaptadas, portanto, às condições de pouca luz no interior de florestas maduras, muitas vezes com presença de árvores que perdem as folhas na estação mais seca, como é o caso do café. No Brasil, outras culturas com estas características também serviram de importante ponte inicial para trabalhos com agrossilvicultura. São os casos de experiências com o cacau (*Theobroma cacao*) na Bahia, em sistemas genericamente denominados “cabruca” e com a ervamate (*Ilex paraguariensis*) em consórcios com matas de araucárias no Paraná.

Segundo Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000) citando Pla-Xiberta (1990): “[...] es tener en cuenta las funciones que desempeñará cada elemento, la interrelación de los elementos dentro del ecosistema, el ahorro de energías no recuperables, la economía de funcionamiento, la reducción a un mínimo de esfuerzo humano, y trabajar con y no contra la Naturaleza.”

De modo generalizado, a partir da primeira metade da década de 90 surge, na literatura técnica uma infinidade de conceitos em torno dos termos agroecologia e agroecossistemas, revelando a heterogeneidade de concepções, característica da evolução de movimentos fundamentalmente promovidos por bases sociais. Para os objetivos aqui perseguidos, a perspectiva apresentada por Altieri (1995) é de alcance geral adequando-se à esse ponto da análise:

[...] Agroecologia é a ciência ou disciplina científica que apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias para estudar, analisar, dirigir, desenhar, e avaliar agroecossistemas, como propósito de permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maiores níveis de sustentabilidade no curto, médio e longo prazos.

Nessa mesma linha enquadra-se a reflexão de Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000), todavia avançando na direção de um posicionamento, por assim dizer, antagônico às formas depredadoras da natureza e exigente também na adequação da apropriação social das tecnologias:

[...] [Agroecologia é o] campo de estudos que pretende o manejo ecológico dos recursos naturais, para – através de uma ação social coletiva de caráter participativo, de um enfoque holístico e de uma estratégia sistêmica – reconduzir o curso alterado da coevolução social e ecológica, mediante um controle das forças produtivas que estanque seletivamente as formas degradantes e expoliadoras da natureza e da sociedade.

O alcance dessa complexidade justifica as preocupações trazidas ao debate por Caporal e Costabeber (2004, p. 45), quando afirmam: “A Agroecologia parte de que é necessário entender o funcionamento dos ecossistemas naturais e revalorizar os conhecimentos e capacidades dos atores locais para – a partir disso – desenhar modernos sistemas agrícolas sustentáveis”.

Há, nesse debate, entre inúmeras outras preocupações, a busca de novos conceitos que explicitem o papel dos agroecossistemas sustentáveis, mas principalmente pautar as diferenças entre estes e aqueles que justificadamente ou não desprezam os seres humanos enquanto atores fundamentais no estabelecimento de um novo paradigma ambiental.¹³

¹³ Ver a respeito do debate: Gliessman (2001, p. 37). “O enfoque agroecológico corresponde a aplicação dos conceitos e princípios da ecologia no manejo e desenho de agroecossistemas sustentáveis”, e, na mesma obra, quando o autor afirma: “um agroecossistema é tanto mais sustentável quanto mais se aproximar das características de um ecossistema natural e ao mesmo tempo for capaz de manter colheitas desejáveis para os

Enquanto conceituações para agrossilvicultura ou sistemas agroflorestais, área em que se observou um desenvolvimento originalmente isolado dentro do movimento agroecológico no Brasil, conta-se igualmente com uma relativa derivação de expressões.

Em publicação pioneiramente traduzida para o português pela AS-PTA, Copijn (1988) define que “A agrossilvicultura é um sistema racional e eficiente de uso da terra, no qual árvores são cultivadas em consórcio com culturas agrícolas e/ou criação animal.”

Segundo King e Chandler, (1978) citados por Copijn (1988, p. 4) tais modelos consistem em:

[...] um sistema viável de uso da terra, o qual, além de aumentar o rendimento da área, combina a produção de culturas e espécies florestais/animais simultaneamente ou em sequência na mesma unidade de área, e ainda emprega práticas de manejo compatíveis com as práticas culturais da população local.

É possível registrar, no entanto, que praticamente não se observaram mudanças significativas no que diz respeito a um possível espraiamento de tais conceituações numa perspectiva mais aprofundada junto ao setor produtivo. O advento da valorização de produtos orgânicos gerou uma espécie de acomodação das bases produtivas na busca por modelos mais sustentáveis. Observa-se aqui a ocorrência de um processo linear de substituição de insumos, uma vez que as entidades certificadoras priorizam em seus processos de protocolos a condição de produção sem contaminantes como condição básica de certificação. As componentes sistêmicas *stricto senso* permaneceram, deste modo, preteridas nestas análises, voltando a ser retomadas por vias paralelas, conforme descrito na seção que se segue.

1.4.2.3 O terceiro ciclo: a conquista da sustentabilidade efetiva por meio do manejo da sucessão natural em sistemas agroflorestais

Como resposta a esta temporária acomodação, surge, em meados dos anos 90, um intenso movimento voltado à reconquista dos princípios sistêmicos no manejo agrícola por meio de investigações, processos de difusão, integração e adaptação tecnológica em sistemas agroflorestais.

seres humanos.” (Idem, p. 26). Cumpre considerar o contraponto feito por Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000): “o agroecossistema é um ecossistema artificializado pela ação humana, para obter produtos com finalidades alimentares e de mercado.”

Tal movimento logrou tanto o desenvolvimento de experiências-piloto em unidades produtivas e de pesquisa quanto à publicação de trabalhos técnico-científicos de grande relevância de modo significativo no Brasil, assim como no exterior. Estes índices serão apresentados no capítulo 3 desta Dissertação.

Identificam-se experiências de desenvolvimento de sistemas agroflorestais no Brasil, já em meados dos anos 80, a exemplo da colaboração do ICRAF em projetos desenvolvidos pela Embrapa na Amazônia, pela REBRAF, e por outras importantes experiências-piloto desenvolvidas por ações isoladas na Mata Atlântica como nos casos do CIR-Boa Esperança – Centro Integrado Rural de Boa Esperança localizado na região norte do estado do Espírito Santo, e no Instituto Biodinâmico – IBD, em Botucatu-SP. Tais experiências ofereceram um suporte inestimável ao criar um ambiente de experimentação e teorização acerca da introdução do elemento arbóreo como parte operante na dinâmica de agroecossistemas. No Brasil, assim como na maioria dos países agrícolas tropicais, embora tal prática seja, por assim dizer, endêmica por parte de populações tradicionais adaptadas, a ciência agrônoma dominante não estabelece trocas com estes importantes acúmulos.

Ponto importante a considerar é a realização, em 1989, de um evento, o *Seminário de Articulação e Cooperação em Agroecologia*, promovido pela então Secretaria Especial de Meio Ambiente da Presidência da República, tendo como secretário de Estado José Lutzenberger.¹⁴

Este evento, além de possibilitar importantes trocas e conexões de experiências levadas a cabo no Brasil, estabeleceu bases para a fundação do Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), iniciando uma série histórica de rodadas de apoio a projetos para desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao desenvolvimento agroecológico.

No ano de 1991, um destes projetos, executados pelo SASOP, ao promover a prospecção e mapeamento de experiências agroecológicas desenvolvidas no estado da Bahia, travou contato com as pesquisas desenvolvidas por Ernst Götsch na região cacaueteira, no município de Piraí do Norte.

Neste mesmo ano, registra-se a primeira publicação científica do agricultor-experimentador Ernst Götsch (1992), referenciando a publicação de Hart (1979) sobre sistemas de produção baseados na dinâmica da sucessão natural. Götsch, além do contato travado com pesquisas desenvolvidas na Costa Rica na virada dos anos 70-80, nutriu-se igualmente das lições de manejo agroecossistêmico aprendidas junto a comunidades indígenas descendentes dos maias na América Central, aplicando subsequentemente tais

¹⁴ Evento articulado e coordenado por Jorg Zimmermann, cedido àquela Secretaria pelo CNPq. Na sequência, Zimmermann auxiliou no início da operacionalização do FNMA e posteriormente na concepção e gestão do PDA/PPG7- MMA, desativado em 2010.

princípios ao manejo da vegetação na Mata Atlântica, tomando como base a cultura do cacau. O pesquisador pôde, durante os anos de imersão, investigação e produção, desenvolver um profundo detalhamento da estratégia de intervenção produtiva dirigida pela sucessão natural.

Além das publicações de sua própria autoria, registra-se a produção de inúmeras publicações discutindo a teoria e prática do manejo sucessional. Inúmeros desdobramentos vêm sendo observados como, por exemplo, cursos de capacitação em agrofloresta sucessional, integração tecnológica envolvendo apropriação por agricultores-experimentadores, investigações acadêmicas em diversas disciplinas, sistematização de experiências, estudos de análise econômica da produção agroflorestal e análises de indicadores tanto biofísicos *stricto sensu* quanto qualitativos da sustentabilidade de sistemas agroflorestais.

O alcance de tais desdobramentos se faz evidentes inclusive em documentos referenciais como é o caso das fundamentações teóricas contidas no (Embrapa, 2006):

Hoje é amplamente reconhecida a importância das tecnologias para um processo de transição agroecológica, com destaque para aquelas que se baseiam em processos ecológicos de sucessão de espécies. Ainda que essas tecnologias tenham utilização crescente, a sua maioria é usada de forma empírica.

O eixo metodológico de intervenção proposto por Götsch é estabelecido de modo minucioso. No sentido de estabelecer um breve debate sobre as estratégias de intervenção propostas por Götsch, segue a transcrição de considerações tecidas por alguns autores que buscaram um aprofundamento conceitual-metodológico.

Vaz da Silva (2007) estabelece com clareza a estratégia de complexificação gerada pelo manejo sucessional delineado por Götsch:

A vida direciona-se, nitidamente, para a sintropia, atuando na complexificação de substâncias, de estruturas, no crescimento, na reprodução, no acúmulo de energia através de substâncias de reserva. Mesmo quando um organismo vivo realiza trabalhos de descomplexificação, seja pela digestão de alimentos, com a simplificação das estruturas; pela liberação do calor; ou mesmo com a morte, o sistema vivo como um todo é beneficiado, pois, no balanço geral, a quantidade de vida tende a aumentar. [...] O manejo proposto por Ernst baseia-se na sucessão natural de espécies, na complexificação do ambiente, na sintropia. Cada intervenção deve deixar um saldo positivo no balanço energético, econômico, na quantidade e na qualidade de vida, à semelhança do que ocorre na natureza. Portanto, à medida que se trabalha e produz, o ambiente deve tornar-se mais fértil, mais propício à vida.

Nowotny e Nowotny (1993), de modo análogo abordam assim o tema:

A lógica da proposta de Ernst é produzir os mecanismos que participam da sucessão nos ecossistemas da Mata Atlântica, otimizando-os de modo a acelerar a formação de sistemas agroflorestais biodiversificados. As espécies cultivadas são plantadas de modo a desempenharem as mesmas funções ecofisiológicas realizadas pelas plantas nativas nas respectivas fases da sucessão.

Enfocando especificamente nos efeitos da prática de podas regulares, por assim dizer *distúrbios orientados*, propulsores da aceleração dos processos sucessionais nos agroecossistemas conduzidos por Götsch, Nowotny e Nowotny (1993) descrevem:

[...] o efeito de tal prática é fabuloso. Em apenas quatro semanas as árvores podadas reagem com um vigoroso impulso de crescimento, recobrando-se com uma exuberante vegetação. Cacaueiros, bananeiras, palmeiras ou árvores de sombreamento definitivo reagem de forma semelhante.

Como descrição de uma estratégia geral focada na otimização das intervenções dentro da perspectiva de manejo sucessional, Vaz da Silva (2007) conclui:

Cada intervenção deve deixar um saldo positivo no balanço energético, econômico, na quantidade e na qualidade de vida, à semelhança do que ocorre na natureza. Portanto, à medida que se trabalha e produz, o ambiente deve tornar-se mais fértil, mais propício à vida.

Götsch (1995) sugere que se as espécies de interesse forem devidamente encaixadas no gráfico abaixo, a partir de características e funções ecofisiológicas similares, torna-se possível elaborar e conduzir sistemas de produção dirigidos pela sucessão natural.

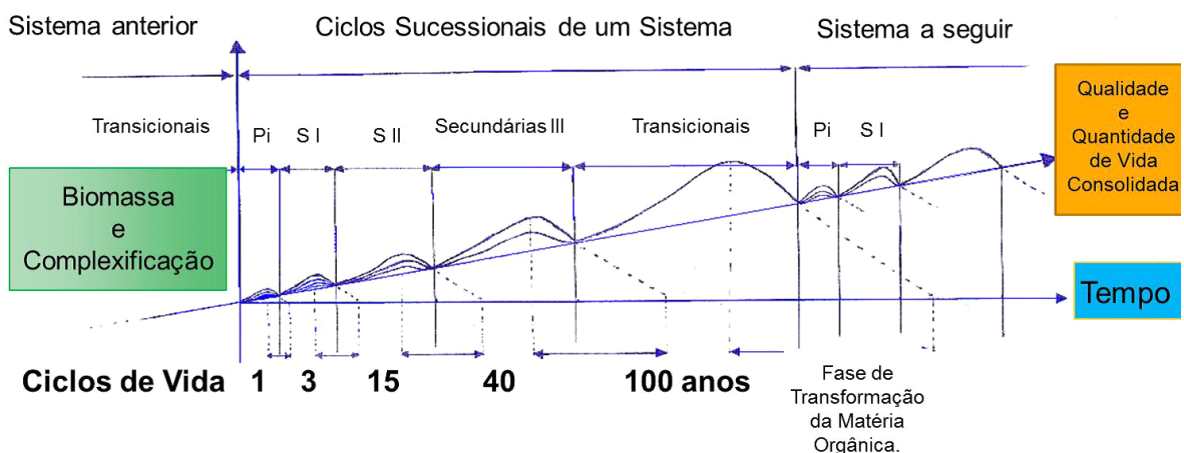


Figura 2. Ilustração do desenvolvimento dos processos sucessionais dentro de um ciclo completo, exemplificada em ecossistema com floresta, conforme apresentado por Ernst Götsch - Extraído de Hoffmann (2013). Legenda (Classificação da vegetação segundo fase sucessional): Pi – Pioneiras / S I - Secundárias I / S II – Secundárias II / S III – Secundárias III. Extraído de Hoffmann (2013).

Considera-se que as sinergias identificadas na análise da sustentabilidade de agroecossistemas, principalmente no que diz respeito à dinâmica de acumulação de matéria, energia e informação via sucessão ecológica, devem ser positivamente consideradas em termos bioeconômicos, conforme evidenciam os estudos de caso contidos no capítulo 2. Estas representam estratégias que possibilitam o planejamento de matrizes econômicas de baixa entropia.

1.4.2.4 A Agroecologia e o compromisso com a sustentabilidade dos agroecossistemas nos trópicos e subtropicais

Nos trópicos principalmente, a presença de ecossistemas florestais biodiversos é dominante, uma vez se dispendo das condições hidrológicas mínimas favoráveis, em correlação direta com aceleração dos processos metabólicos e de intemperismo proporcionados pelas altas temperaturas e pela umidade elevada. Ainda, o revestimento florestal natural configura-se como elemento fundamental em virtude da capacidade de proteção dos solos superficiais, da potencialização do ciclo hidrológico, da fixação de carbono e nitrogênio atmosféricos e da manutenção da biodiversidade.

Por outro lado, os critérios para obtenção de certificação voltada a produtos ditos “ecológicos” atualmente aplicados nutrem-se ainda, em grande medida, das sistematizações metodológicas concebidas a partir das experiências de vanguarda no continente europeu no século 19, preponderantemente na Alemanha, Inglaterra e França (BRANDEMBURG, 2002; CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

Muito embora tratem dos ciclos naturais de transformação da matéria como fundamento para a concepção dos sistemas produtivos, tais modelos partem de referências específicas de agroecossistemas europeus, onde, inclusive, a presença coevolutiva de espécies como o *Bos taurus*, processadores de biomassa vegetal (esterco) é, em termos práticos, obrigatória, associada à utilização de adubos verdes de ciclo anual. É justamente daí que surge a simplificação natural dos agroecossistemas europeus, e assim também em sua matriz “orgânica”, tendo por referência uma realidade fitogeográfica específica, com dominância de ecossistemas pouco biodiversos, em grande parte compostos por estepes naturais, formações vegetais de baixo/médio porte e florestas monoespecíficas de coníferas.

Embora parte destes mecanismos seja considerada em um protocolo de certificação orgânica nos moldes formais, a análise é efetuada em bases absolutamente qualitativas, sendo o fator preponderante a ausência de contaminantes no processo produtivo. Agregue-

se a isto a análise de entrada nestes sistemas de insumos não renováveis ou subprodutos da agropecuária convencional, como é o caso dos fosfatos naturais (com reservas mundiais para somente mais 50 anos de exploração), dos filmes de polietileno para cultivos protegidos, do esterco bovino (oriundo de pastagens e.g. depauperadas) e dos grãos do *agrobusiness* para complementação do arraçamento do plantel orgânico. O risco de permanecer nestes patamares por força da já conquistada posição no mercado, é incorrer na consolidação, conforme considera Casado, Sevilla-Guzmán e Molina (2000), de uma “Agroecologia *débil*” que “não se diferencia muito da agronomia convencional e não supõe uma ruptura mais que parcial das visões tradicionais.”

É inegável o crescimento do mercado de produtos orgânicos no Brasil, hoje em plena fase de expansão e contando com maior apoio governamental. Multiplicam-se as gôndolas específicas para disposição de produtos orgânicos em grandes mercados e a cobertura de nichos de consumo específicos voltados a um número crescente de consumidores.

A despeito das inúmeras dificuldades de duas décadas atrás, fato é que começa a existir no Brasil uma noção melhor de que os produtos com certificação orgânica possuem a dupla qualidade de isenção de contaminantes/insumos sintéticos e de responsabilidade/sustentabilidade socioambiental na produção. É possível afirmar, em outras palavras, que o mundo orgânico, no modo como se encontra hoje formatado e a partir da perspectiva histórica e das condicionantes apresentadas, apropriou-se da prerrogativa da sustentabilidade de seus sistemas produtivos.¹⁵

Como forma de estabelecer parâmetros que possam oferecer suporte ao debate envolvendo a sustentabilidade de agroecossistemas, procede-se, no capítulo que se segue, à apresentação dos resultados de pesquisas focadas em indicadores biofísicos e econômicos de sistemas agroflorestais, identificando a ocorrência de processos de acumulação de matéria, energia e informação, e evidenciando claramente o incremento dos índices de sustentabilidade dos agroecossistemas estudados.

¹⁵ Dal Soglio (p. 181, 2004) ressalta, no entanto, que “muitos agentes envolvidos no desenvolvimento de alternativas (...) têm centrado seus esforços na mera substituição de insumos químicos, o que não altera a essência do modelo convencional.”

2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E EVIDÊNCIAS DE PROCESSOS SINTRÓPICOS EM AGROECOSSISTEMAS

No presente capítulo, a partir do estado da arte de indicadores, modelagens e processos de monitoramento da sustentabilidade de agroecossistemas desenvolvidos no mundo, busca-se debater a legitimidade e sustentabilidade dos processos de adaptação social a diferentes realidades e fisionomias ecológicas. Tal panorâmica oferece as bases para subsequente análise de indicadores de agroecossistemas por meio de 4 estudos de caso, abrangendo diferentes metodologias e aspectos da sustentabilidade biofísica.

2.1 Demanda e adequação de indicadores

No âmbito dos acordos internacionais, a demanda por indicadores para medir a sustentabilidade remonta à Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio 92) (Veiga, 2010). No entanto, este mesmo autor destaca que o desencadeamento do debate acerca do tema de fato deu-se em 1972, a partir da obra *Is growth obsolete?*, de W.D. Nordaus e J. Tobin, contendo questionamentos acerca do padrão meramente economicista dos Produtos Internos Brutos dos países, enquanto índices únicos e universais de desenvolvimento. Registre-se que a referida publicação data do mesmo ano da publicação do relatório *The Limits of Growth*, do Clube de Roma.

Somente em 1989, no calor gerado pelo *Relatório Brundtland*¹⁶, Herman Daly e John B. Cobb Jr. publicam, naquele mesmo ano, a obra *The Common Good*, estabelecendo as bases para a aplicação do “Índice de Bem-estar Econômico Sustentável” – o ISEW (VEIGA, 2010).

Veiga ressalta ainda que a partir de 1995 observa-se a derivação da proposição de indicadores em três vertentes distintas de abordagem: a) construção de grandes coleções, os chamados *dashboards*; b) índices compostos ou sintéticos; e c) índices focados no grau de subconsumo, subinvestimento ou excessiva pressão sobre os recursos.

Lawn (2006), citado por Veiga (2010), propõe, frente à inviabilidade de parametrização universal da análise da sustentabilidade em diferentes contextos, a adoção de indicadores combinados, oferecendo uma perspectiva analítica dinâmica, permitindo assim a compreensão de influências cruzadas e de processos atuantes.

¹⁶ Obra publicada sob inspiração da experiência nacional japonesa em torno do Índice de Bem-estar Nacional Líquido, lançado em 1974, e da obra *Economic Growth and Declining Social Welfare*, do economista grego Xenophon Zolotas, publicada em 1981.

Um marco relevante no debate do uso de vários indicadores combinados é a recente publicação em 2009, do *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress* (Stiglitz-Sen-Fotoussi, 2009), encomendado pelo Governo Francês, na qual são estabelecidas macroestratégias de desenvolvimento fundamentadas na necessidade de uma análise diagnóstica aprofundada e consequente, que se realiza por meio da combinação de um número seletivo de indicadores físicos e da análise sofisticada das variantes sociais em processos diagnósticos voltados, em última análise, à emergência das qualidades da *economia da felicidade*.¹⁷

Neste cenário, a análise da sustentabilidade de sistemas agrícolas representa seguramente, e por motivos evidentes, uma das fronteiras mais profícuas de elaborações e instrumentações voltadas à avaliação da sustentabilidade. É possível identificar na literatura científica o claro extravasamento destas construções para outras áreas de aplicação, como, por exemplo, na gestão ambiental e nos processos de desenvolvimento e emancipação social.

A demanda por adequação de indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas é estudada por diversos autores. Entre os requisitos básicos e princípios norteadores encontrados na obra destes autores, destacam-se: a) aplicabilidade prática; b) possibilitar a percepção subjetiva do ambiente; c) eficiência econômico-ecológica; d) suporte no processo de gestão dos agroecossistemas; e e) inserção em contexto de construção participativa continuada.

Veiga (2010) afirma a esse respeito: [...] [surge a] necessidade de uma trinca de novos indicadores de sustentabilidade capaz de avaliar simultaneamente resiliência ecossistêmica, qualidade de vida e desempenho econômico.

Costa (2010), após efetuar profunda revisão conceitual sob o termo *indicador de sustentabilidade* elege, para explicar o efeito da análise aplicada a agroecossistemas, a citação de Marzall (1999): “um indicador de sustentabilidade constitui um instrumento que permite, a partir da sua interpretação, definir a condição de um sistema como sustentável ou não.” A autora efetua uma categorização pormenorizada das tipologias de indicadores com base em revisão da literatura especializada, totalizando 17 grupos gerais, segundo classes de objetivo, natureza ou sob parâmetros focais pré-definidos.

Masera (2000) propõe a seguinte tipologia dos métodos de avaliação de agroecossistemas, segundo os diferentes graus de agregação e uso de indicadores:

¹⁷ Segundo Niza, (2007), a investigação em Economia da Felicidade está centrada em torno de algumas ideias centrais: papel do rendimento (absoluto e relativo), impacto das expectativas (reajustamento das aspirações), papel dos vários tipos de consumo (bens e serviços), variáveis sócio-demográficas, macroeconómicas e políticas, e o problema da medição da felicidade.

1. *indicadores de sustentabilidade* (para uso isolado ou combinado com outros);
2. *índices de sustentabilidade* (valores unificados, calculados com base em relações de ponderação entre diferentes indicadores);
3. *sistemas de referência* (tomam como referência para análise comparativa o ecossistema original ou, alternativamente, as características biogeográficas do bioma original);
4. *modelos de avaliação de sustentabilidade* (metodologias sistêmicas).

Segundo Van Cauwenbergh *et al.* (2007), citado por Costa (2010) as metodologias sistêmicas envolvem dois tipos de estruturas de análise baseadas:

- a) em abordagens sistêmicas, promovendo indicadores sistêmicos que descrevem atributos-chave (funções e processos gerais) do sistema como um todo, e
- b) no conteúdo disciplinar, promovendo indicadores específicos que caracterizam partes individuais (relacionadas com funções ou processos específicos) do sistema em análise.

Hutchinson (1957) defende o fósforo como sendo fator limitante primário:

De todos os elementos presentes nos organismos vivos, é provável que o fósforo seja o mais importante em termos ecológicos, porque a proporção entre o fósforo e outros elementos nos organismos tende a ser consideravelmente maior do que a proporção nas fontes primárias dos elementos biológicos. Portanto, é mais provável que uma deficiência de fósforo limite a produtividade de uma dada região da superfície terrestre do que uma deficiência de qualquer outro material exceto a água.

Steenbock (2013) afirma sobre a condição do carbono e minerais como marcadores de evolução do sistema: [...] as quantidades de carbono e nutrientes encontradas no solo, na serapilheira e na fitomassa aérea são importantes na definição do balanço de nutrientes e podem servir de indicadores de diferenças entre sistemas florestais.

Há, de fato, uma grande diversidade de modelos, mas com “um forte caráter subjetivo” na concepção das análises, como destaca Costa (2010). Muitos não apresentam caráter efetivamente sistêmico, concentrando-se os esforços na análise estanque de elementos e não em suas interações, o que mais uma vez reforça a ideia de que a combinação de indicadores para as análises requeridas é a metodologia mais adequada.

Em se considerando os atributos-chave para eleição de indicadores, de pronto parece adequado considerar no debate dos indicadores a afirmação de Figueiredo e Lima (2006), quando afirmam que “na equação da sustentabilidade as variáveis socioeconômicas e culturais devem ser consideradas no mesmo nível das biofísicas.” Estes autores citam illa-

Casado, Sevilla-Gusmán e Molina (2000, p. 101-102) para destacar os atributos-chave para se avaliar a *sustentabilidade em agroecossistemas*: produtividade, estabilidade, resiliência, viabilidade econômica e justiça social.

O modelo proposto por Costabeber e Caporal (2004) considera as multidimensões da sustentabilidade, ressaltando que o desenvolvimento rural sustentável deve assentar-se na busca de contextos de sustentabilidade crescente, alicerçados em seis dimensões básicas, que são divididas em três níveis: a) ecológica, econômica e social; b) cultural e política; c) ética.

Os mesmos autores citados preconizam os seguintes aspectos para o estabelecimento de indicadores: a) melhoria da renda familiar; b) garantia da produção de alimentos; c) estabilidade na produção e produtividade; d) redução das externalidades negativas que implicam em custos para a recuperação do agroecossistema; e) redução nos gastos com energia não-renovável e insumos externos; f) ativação da economia local e regional; g) agregação de valor à produção primária; h) presença de estratégias de pluriatividade.

A proposta metodológica sistematizada por Floriani, Vivan e Vinha (2008), gestada a partir dos trabalhos do CONSAF (Consórcio Agroflorestal em Rede na Mata Atlântica) é bastante rica em termos de instrumentação metodológica, compreendendo a estruturação de processos avaliativos a partir da perspectiva da construção social.

A natureza original das informações geradas e trabalhadas no contexto desta metodologia é fundamentalmente qualitativa, atribuindo-se valores segundo a percepção do grupo envolvido, dentro de uma escala numérica com variação de 1 a 4, com intensidade crescente.

Para Floriani, Vivan e Vinha (2008, p. 98) os “indicadores para monitoramento devem ser gerados de forma a incluir a percepção dos atores locais sobre sistemas de produção agrícola.” [...] Os autores consideram que na medida em que as informações obtidas sobre o funcionamento dos agroecossistemas ao longo da trajetória de vida dos agricultores forem sendo continuamente interpretadas, geram técnicas e itinerários de intervenção no ambiente. Nesta perspectiva, o monitoramento participativo contribui para a formação do conhecimento adaptativo-coevolutivo.

Nessa mesma linha, a partir do pressuposto de que a construção deve-se dar por meio de mecanismos participativos, Floriani, Vivan e Vinha (2008, p. 114) estabelecem quatro níveis hierárquicos no processo de construção de indicadores, quais sejam:

1. Área Temática: Grandes grupos de temas emergentes a serem trabalhados. Idealmente trabalha-se prevendo a construção de gráficos do tipo “*estrela*” ou “*amoebas*”,

com vértices com gradação numérica, cuja variação oferece formatos poliédricos comparativos.

2. Indicadores Gerais: Aspectos relativos às diferentes áreas temáticas que podem ser observados e avaliados.

3. Definição de Descritores: Cada indicador geral deve possuir seus descritores específicos, com possibilidade de estabelecer algum nível de parametrização.

4. Definição dos parâmetros e técnicas de medição/estimação

É factível afirmar que o modelo desenvolvido a partir do CONSAF tangencia de modo aplicado à *perspectiva coevolutiva*, proporcionada pela abordagem de desenvolvimento a partir de processos endógenos de adaptação. Neste sentido, e recorrendo às contribuições de Steenbock *et al.* (2013, p. 305) que considera que:

O desenvolvimento local se constitui em um processo coevolucionário entre elementos associados ao ambiente, à tecnologia, aos valores, ao conhecimento, à tecnologia, aos valores, ao conhecimento e à organização social das comunidades locais (NORGAARD e SIKOR, 2002). Esses fatores são interdependentes e influenciam-se mutuamente, determinando diferentes aspectos da vida cotidiana e das paisagens.

Do mesmo trabalho, organizado por Steenbock (*Op.Cit.*), quando se analisa a abordagem utilizada em processos de pesquisa e monitoramento participativo no âmbito da cooperativa Cooperafloresta, os autores ressaltam que “[...] o saber ecológico é fruto de um processo adaptativo e interativo com os ecossistemas e populações humanas, e de diferentes percepções sobre a natureza.” E completam afirmando: “Os componentes e significados do saber são assim tanto tangíveis como intangíveis, e ambas as dimensões podem se fundir como partes de um todo lógico para a tomada de decisão.”¹⁸

A questão do empoderamento torna-se, nesta via, um processo social agregador com expectativa de sinergia na conquista do desenvolvimento em todos os níveis, partindo do indivíduo. Buscando alcançar uma conclusão nesse debate, Steenbock *et al* (2013, p. 306) citam a definição de Eyben *et.al.* (2008) sobre empoderamento:

[...] [Empoderamento é o] processo que ajuda indivíduos ou grupos de indivíduos a adquirir e ampliar o controle sobre suas próprias vidas, aumentando a capacidade de trabalhar com assuntos que eles mesmos definam como importantes. Se se busca o empoderamento em um processo diagnóstico, em meio a uma realidade complexa, a preocupação da inclusão e da participação é inerente.

¹⁸ “Em outras palavras, diagnosticar com clareza é parte do empoderamento para direcionar ações e atitudes. Neste sentido, o envolvimento comunitário dos agricultores associados à Cooperafloresta no diagnóstico de aspectos relacionados à sua realidade é fundamental.” (FLORIANI, VIVAN e VINHA, 2008)

Outro ponto realçado por estes autores é a configuração apropriada das estratégias de comunicação e linguagem, de modo a oferecer eficiência e aproveitamento integral das contribuições dos envolvidos. Desse modo a construção dos indicadores segue um processo a partir do qual os agricultores envolvidos constroem os indicadores a serem aplicados, podendo assim analisar os resultados com a precisão de seus próprios critérios, facilitando assim os processos contínuos de tomada de decisão.

Por meio de processos participativos, a equipe de monitoramento sistematiza as ponderações dos agricultores quanto às condições de “saúde” do sistema de produção, considerando quais seriam, para eles, os atributos de uma “boa agrofloresta” (STEENBOCK *et al*, 2013; p. 307).

A partir de uma extensa gama de indicadores sugeridos pelos agricultores, torna-se possível agrupá-los em cinco grandes eixos temáticos, sobre os quais estabeleceram pontuações em um gradiente variando de 0 a 5 para classificar suas agroflorestas. Desenha-se então um diagrama do tipo “estrela” (também chamado de *amoeba* ou ainda *radar*). Destacam os autores que os agricultores tendem a priorizar parâmetros voltados ao manejo e à biodiversidade, e uma tendência menor para os parâmetros produtivos.

Digna de nota também é a emergência espontânea de parâmetros voltados ao caráter afetivo-emocional dos participantes do processo, refletindo um “diferencial de satisfação” na prática do *manejo sucessional*. Intrigantemente, este eixo temático apresentou maior relevância do que os aspectos relativos à qualidade do solo e produção , como se pode observar nas afirmações de Steenbock *et al*. (2013) a seguir:

Difícilmente um técnico ou cientista definiria que uma “boa agrofloresta” é, por exemplo, aquela em que as pessoas “cuidam das plantas dos companheiros como se fossem as próprias” ou “aquelas em que se gosta de trabalhar”, ou ainda aquelas que tem “cheiro de tatu”. (p. 313)

A análise dos indicadores construídos permite a reflexão da orientação de um processo de diagnóstico e planejamento, não somente voltado para o aumento da produtividade e conservação ambiental a partir das práticas agroflorestais, mas também voltados à identificação, percepção e amplificação do bem-estar no trabalho e no grupo, a partir de fatores de necessidade e satisfação endogenamente valorados, considerando a multidimensionalidade das características das agroflorestas e contribuindo para tecer novos caminhos para a emancipação social. (p. 314)

O estabelecimento de indicadores de forma participativa pode ser decisivo para a avaliação e monitoramento de agroflorestas, considerando a multidimensionalidade de suas características. [...] A introdução de tal método pode desenvolver a capacidade de autorreflexão e autoavaliação continuada, favorecendo a autonomia do agricultor e sua permanência no campo. [...] é uma estratégia que pode contribuir para o fortalecimento do conhecimento local, autonomia, valorização e empoderamento dos sujeitos que dela participam, tanto técnicos como agricultores ou pesquisadores. (p. 319)

Dos aspectos até aqui apresentados, pode-se concluir que o empoderamento constitui-se no elemento capaz de nutrir o sistema de construção dos indicadores da força motriz para se conceber, implantar e monitorar o sistema produtivo do qual os agricultores façam parte.

Voltando a atenção aos modelos de análise da dimensão biofísica dos agroecossistemas, destaca-se a análise emergética como instrumento diagnóstico de alta precisão, por meio de avaliação biofísica estrita dos fluxos absolutos de matéria, energia e informação. Esta abordagem foi desenvolvida originalmente por Howard Odum (1967), um dos pioneiros e mais influentes estudiosos da ciência da Ecologia, a partir de estudos de fluxos de matéria, energia e informação em ecossistemas. Tornou-se amplamente conhecido pela elaboração de modelagens visando compreender o funcionamento e o equilíbrio dos ambientes naturais, definindo-os como sistemas abertos onde se estabelecem mecanismos de troca e retroalimentação, reconhecendo mecanismos de sinergia e complementariedade entre as partes bióticas e abióticas envolvidas (PEREIRA, 2008). Propõe, em última análise, uma complexa metodologia de valoração dos fluxos energéticos presentes nos diferentes ecossistemas, desenvolvendo para tal o conceito de *transformidade*, medida em uma unidade denominada *emJoule* (emJoule solar/Joule ou emJoule solar/g), capaz de oferecer uma noção bastante precisa do equilíbrio energético dos sistemas estudados. (Idem)

Ainda nos termos utilizados por Pereira (*Op.Cit.*), o modelo da análise emergética pode ser assim descrito:

[...] disponibilidade de energia de um tipo que é utilizada em transformações diretas ou indiretas para produzir um produto ou serviço medida em emjoule (Odum, 1983, 1988, 1994, 1996), a emergia reflete a 'memória energética' do trabalho anteriormente realizado para produzir esse mesmo produto ou serviço. [...] Para reconhecer a qualidade e funcionalidade de cada tipo de energia, que depende de trabalho prévio de geração do recurso, definiu-se um fator de conversão chamado de transformidade. [...]

A metodologia estima valores das energias naturais incorporadas aos produtos, processos e serviços, geralmente não contabilizadas na Economia clássica. Por meio de indicadores (índices emergéticos), a abordagem desenvolve uma imagem dinâmica dos fluxos anuais dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos providos pela natureza para a geração de riqueza e o impacto das atividades antrópicas nos ecossistemas. A metodologia vem sendo empregada para planejamento de ações regionais e locais, como zoneamento de uso da terra, definindo escalas de exploração adequada às realidades cultural, socioeconômica, cruzando estas variáveis com a capacidade de suporte dos agroecossistemas (COMAR, 1998 *apud* PEREIRA, 2008).

De modo suplementar à análise apresentada neste tópico, procedeu-se a uma sistematização ilustrativa de modelagens voltadas à análise de indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, constante no ANEXO I desta Dissertação.

A seção que se segue busca efetuar uma análise, de base comparativa, de indicadores biofísicos, voltada a identificar aspectos relevantes da sustentabilidade de agroecossistemas dirigidos pela sucessão natural.

2.2 Evidências de processos sintrópicos em agroecossistemas via análise de indicadores

Neste tópico será efetuado um exercício de análise comparativa de indicadores biofísicos em diferentes agroecossistemas, buscando evidenciar a presença de processos de acumulação de recursos em sistemas dirigidos pela sucessão natural. Para tanto, buscou-se tanto quanto possível, eleger casos que contivessem análises comparativas de pelo menos duas categorias de indicadores.

2.2.1 Estudo de caso 1: SAF em área de domínio da Mata Atlântica no sul da Bahia

O trabalho apresentado por Peneireiro (1999) é particularmente emblemático, tanto por ser um dos primeiros a estabelecer uma análise focada na dinâmica do manejo sucessional de agroecossistemas, quanto pelo efetivo êxito em revelar a presença de processos sintrópicos em sistema agroflorestal dirigido pela dinâmica da sucessão natural, utilizando, para tanto, uma seleção de indicadores biofísicos convencionais.

É importante ressaltar que o referido estudo foi realizado em área implantada e conduzida pelo agricultor e pesquisador Ernst Götsch, desenvolvedor do método de manejo intensivo dirigido pela sucessão natural.

Os dados apresentados são somente uma coletânea parcial dos resultados obtidos na pesquisa da referida autora (Quadro 2).

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE/ modelagem	COMPARADOR: CAPOEIRA 12 ANOS	RESULTADO: SAF sucessional 12 ANOS (talhão contíguo)
SOLO	Fósforo disponível 0-5 cm solo	ppm	3	28
	Saturação de bases	V%	41%	83%
BBIODIVERSIDADE	Riqueza: flora	Índice de Shannon H' (nats)	3,01	3,363
	Equabilidade	(J)	0,702	0,855
SUCESSÃO ECOLÓGICA	Consórcios de espécies vegetais	Análise de Cluster e análise de coordenadas principais (PCO)	Predomínio de espécies da família Melastomataceae (domínio da sucessão local em área degradada)	Predomínio de espécies das famílias Mimosaceae, Lauraceae e Apocynaceae (estágio sucessional avançado em relação à testemunha)
	Macrofauna edáfica 0-5 cm do solo		Predomínio de predadores (indica área degradada)	Predomínio de saprófagos (indica avanço na sucessão)

Quadro 2. Indicadores de sustentabilidade de sistema agroflorestal na fazenda Três Colinas (atualmente Olhos d'Água)– Pirai do Norte, sul do estado da Bahia, extraído de PENEIREIRO (1999).

Iniciando-se a análise deste caso a partir da dinâmica do fósforo, identifica-se que, em um período de 12 anos de manejo sucessional, a área de SAF apresenta um incremento bastante significativo do macro-nutriente, sete vezes superior à área controle, esta última sem manejo, contando, portanto unicamente com os processos de regeneração natural por meio da sucessão natural de espécies. Atente-se para o fato de que não houve *input* deste nutriente via adubação. O fósforo é um nutriente que apresenta formas disponíveis e indisponíveis às plantas, a depender de condições como o pH do solo (que condiciona a disponibilização de alumínio ou não, que, quando associado ao fósforo torna-o indisponível para as plantas), conteúdo de matéria orgânica e, muito significativamente, da presença de fungos micorrízicos, simbioses no nível radicular. O conjunto destes fatores é diretamente favorecido pelo manejo intensivo da sucessão de espécies no agroecossistema mediante podas periódicas. Ademais, é importante ainda ressaltar que o fósforo passa a ser controlado de modo crescente pelos mecanismos de ciclagem interna no agroecossistema. O fósforo, ao menos como nutriente, é reconhecidamente o maior fator limitante na agricultura, hoje generalizadamente utilizado em volumes crescentes, não obstante contar

com restritas reservas mundiais de origem fóssil - até o momento insubstituíveis - mais escassas do que o petróleo.¹⁹

Observa-se a duplicação do valor V% (percentagem de saturação de bases)²⁰, que muito provavelmente é consequência da calagem realizada no momento da implantação da área de agrofloresta. O cálcio e magnésio do calcário, ainda presentes no sistema depois de 12 anos, permaneceram no sistema em função da decomposição da matéria orgânica e reabsorção pelas plantas, de maneira cíclica.

O incremento dos índices de biodiversidade expressos na pesquisa também apresentam grau de significância estatística na comparação com a área controle. Os câmbios qualitativos apresentados na dinâmica da sucessão das espécies da fauna e flora locais são registradas, denotando a aceleração evolutiva processo proporcionada pelo manejo. Segundo registra a autora, de modo conclusivo, o manejo da vegetação, com destaque às podas regulares, foi apontado como sendo o grande responsável pelas diferenças entre as áreas comparadas, afirmando: “Constatou-se que o SAF em questão transformou área de solo distrófico [insuficiente em sais nutrientes] em uma área produtiva, com alta fertilidade, em 12 anos de manejo” e complementa: “além de se constituir num sistema de produção sustentável para os trópicos úmidos, sem a utilização de insumos externos.”

2.2.2 Estudo de caso 2: SAF em área de domínio da Mata Atlântica em Paraty-RJ

Desta pesquisa, levada a efeito por Pollmann (2008), isolaram-se as resultantes de alguns indicadores relativos à categoria “solo”. Trata-se de área situada em região com

¹⁹ De acordo com o documento *World Phosphate Rock Reserves and Resources* produzido pelo *International Fertilizer Development Center* (IFDC) as reservas mundiais de fósforo (P₂O₅), fortemente concentradas no Marrocos (42,3%), China (26%) e Estados Unidos (7%), apesar da imprecisão das informações frente a protecionismos nacionais, vem sendo extraídas em volumes crescentes em função da ampliação das demandas agrícola mundial (KAUWENBERGH, 2010). A indústria de fertilizantes determina a demanda de rocha fosfática, uma vez que esta é a única fonte do fósforo utilizado como insumo. O aumento dos preços dos alimentos e dos fertilizantes reforçou o debate sobre a importância dos insumos fosfatados, o que se explica pelo fato do fósforo ser um elemento essencial à nutrição de plantas e animais, que faz parte do grupo dos macronutrientes primários. O debate em torno da crise mundial de fósforo vem se ampliando ainda de modo bastante restrito a observatórios internacionais e à lucrativa indústria de insumos fertilizantes, uma vez que não existe substituto para o fósforo na agricultura, sendo as rochas fosfáticas sua única fonte. Some-se a isto a previsão da queda significativa da qualidade das rochas extraídas, inferindo contínua elevação de custos de produção e purificação. Segundo Ryan *et al* (2012) tem sido sugerido que estas reservas podem ser esgotadas em menos de 100 anos, à taxa de consumo atual, com base nos trabalhos de Cordell *et al.*, 2009; Smil, 2000; Van Vuuren *et al.*, 2010; Vance *et al.*, 2003)

²⁰ O V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos colóides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos H⁺ e Al³⁺.

temperaturas e regime pluvial tipicamente tropical, apresentando altas taxas de metabolismo das funções biológicas, decomposição de serapilheira e ciclagem de nutrientes, onde se avaliou o desempenho de sistema agroflorestal sucessional jovem, com idade de 5 anos, sem contar com aplicação de insumos externos via adubação e/ou correção do solo.

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE	COMPARADOR: FLORESTA SECUNDÁRIA	RESULTADO: SAF sucessional 5 ANOS (talhão contíguo)
SOLO	Estoque de nitrogênio	Kg N.ha-1	191,68	233,28
	Biomassa serapilheira	Mg.ha-1	7,85 Mg.ha-1	28,05 Mg.ha-1
	Alumínio tóxico	Cmolc / dm3	2.1	0.7

Quadro 3. Indicadores de sustentabilidade de sistema agroflorestal no sítio São José, Sertão do Taquari, Paraty/Rio de Janeiro (POLMANN, 2008).

O referido autor evidencia a relevância da prática de manejo intensivo (manejo da sucessão) levada a efeito na área estudada, contando com alta frequência de podas, resultando no incremento significativo dos índices de nitrogênio do solo, acúmulo de serapilheira e neutralização do alumínio tóxico do solo.

O incremento do estoque de nitrogênio no solo, elemento advindo da atmosfera, é promovido tanto pelo aumento dos mecanismos simbióticos, principalmente com bactérias fixadoras no nível radicular, quanto pela retenção deste elemento oportunizado por descargas elétricas atmosféricas.

Outro ponto de destaque nesta análise refere-se ao potencial de produção e deposição de serapilheira registrado. Este indicador guarda relação direta com a capacidade deste agroecossistema em relação ao sequestro de carbono, e uma vez tendo sido mensurado por ocasião das podas de manejo, demonstra ser útil na extrapolação prática para efeito de monitoramento.

2.2.3 - Estudo de Caso 3: SAF em área de domínio da Mata Atlântica no Vale do Ribeira - Barra do Turvo/SP

O caso ora relatado é originário de publicação recente (STEENBOCK *et al.*, 2013a) onde se efetua uma caracterização ampla das ações envolvendo a Cooperativa

Cooperafloresta²¹. Destaca-se aqui a avaliação do potencial de sequestro de carbono dos sistemas agroflorestais estudados, conduzidos sob manejo da sucessão natural, após seleção de 16 SAFs em análise conjunta com os agricultores, buscando amostras em classes distintas nas faixas de idade de a) 3 anos; b) 4 a 9 anos e; c) 10 a 15 anos. As análises envolvendo a categoria biodiversidade são efetuadas lançando mão de metodologias diferenciadas daquelas apresentadas no primeiro estudo de caso, na estimação dos indicadores riqueza e densidade.

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE	COMPARADOR	RESULTADO PARA AGROFLORESTAS: média
BIOMASSA	Incremento Anual de Carbono (IAC)	Mg C ha ⁻¹ .ano ⁻¹	0,3 [1] Florestas (CLARK, 2002 cit p.Steenbock, 2013)	6,6
			5,6 Pinus 21-23 anos (ASSIS, 2012)	
BIODIVERSIDADE	Riqueza Total de espécies/ha-1	Índice de Simpson (1-D) Total de espécies.ha-1	116 Siminsk (2011)	194
	Densidade Indivíduos ha-1	Índice de Simpson (1-D) Total de indivíduos.ha-1	Considerado alto. Não encontrou comparação com mesmo padrão de corte.	6.394

Quadro 4. Indicadores de sustentabilidade de sistemas agroflorestais da Cooperafloresta, Barra do Turvo, São Paulo em comparação com área padrão. (STEENBOCK *et al.*, 2013b, STEENBOCK *et al.*, 2013c).

Steenbock *et al.* (2013d, p. 355) destacam os seguintes fatores como prováveis determinantes da estocagem de carbono dos sistemas agroflorestais estudados: 1) diferenças de manejo; 2) composição das espécies; 3) densidade de plantio. O autor destaca ainda, que em relação ao manejo, a estratégia de frequência adequada de podas drásticas, com subsequente deposição ordenada da serapilheira, abertura de luz e estímulo da rebrota, é a grande promotora do incremento total de carbono.

²¹ Entidade que agremia mais de uma centena de cooperativados no município de Barra do Turvo (SP), a partir de ações seminais de técnicos ligados à extensão rural e ao terceiro setor e de capacitações realizadas pelo agricultor e pesquisador Ernst Götsch, iniciadas no ano de 1996 (STEENBOCK *et al.*, 2013a)

Os índices de vegetação apresentados revelam, tal qual nos estudos de caso anteriormente apresentados, uma situação de vantagem significativa em comparação com os índices-controle.

Conclusivamente, consideram estes autores que:

Mais do que comparar valores dessa ordem com incrementos de carbono em outras formas de uso do solo, é importante considerar que este incremento é efetivado no mesmo tempo em que se há produção de alimentos, no mesmo espaço em que há promoção da fertilidade sistêmica do solo e de biodiversidade e sobre o qual, como sistema produtivo, há crescente autonomia e segurança alimentar dos agricultores que os praticam (STEENBOCK, 2013d, p. 361).

Outra análise comparativa voltada à evidenciação do potencial de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais sucessionais é efetuada por Bolfe, Ferreira e Batistella (2009), trabalhando com o indicador Estoque de Carbono (EC), por meio de estimativas utilizando metodologias de sensoriamento remoto. Esse estudo envolve a estimativa da biomassa epígea (acima do solo) e o carbono de SAFs na Amazônia, a partir da análise realizada em sistemas agroflorestais instalados no município de Tomé-Açu/PA e sua correlação com índices de vegetação. O resultado médio encontrado nestes SAFs são de 074,31 Mg C ha⁻¹, que, segundo os autores, é considerado plenamente satisfatório se comparado com índices de (EC) em outras referências como (a) 39 a 102 MgC ha⁻¹ estimados por Albrecht e Kandji (2003) para SAFs na América do Sul, (b) 50 Mg C ha⁻¹ estimados por Montagnini e Nair (2004) para SAF em domínio tropical, e (c) 134 Mg C ha⁻¹ encontrado por Santos *et al.* (2004) em SAFs no município de Cametá/PA.

Estes autores concluem:

A partir dos dados obtidos, conclui-se que os SAF de Tomé-Açu são importantes acumuladores de C em sua vegetação, podendo contribuir significativamente no processo de seqüestro de CO₂ e a conseqüente redução do efeito estufa, indicando possibilidades de sustentabilidade ecológica. Sugerem-se novos estudos utilizando outras equações alométricas, visando ampliar o conhecimento da estimativa de biomassa e carbono em agroflorestas.

Registra-se, não somente a partir das contribuições de Steenbock *et al.* (2013d) e Bolfe, Ferreira e Batistella (2009), mas de modo generalizado, a movimentação de pesquisadores no sentido de perseguir metodologias apropriadas à estimação prática dos volumes de carbono, com vistas ao barateamento de custos de monitoramento voltados a programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) de sistemas agroflorestais biodiversos/sucessionais. Não obstante a apropriação de metodologias convencionais envolvendo modelagens matemáticas complexas, correlacionadas com índices de vegetação físicos ou espectrais, resgate-se para este debate a interessante proposta de

Polmann (2008) de mensuração dos incrementos de biomassa em sistemas sucessionais a partir de amostragens efetuadas aproveitando os momentos regulares de intervenção (podas drásticas).

De modo auxiliar, propõe-se aqui a execução de investigações de calibragem de modelos orientados ao desenvolvimento de protocolos de *análises expeditas*, uma vez considerando-se a aplicação de coeficientes básicos de conversão Biomassa/Carbono propostos na literatura por Higuchi *et al.* (1998), Montagnini e Nair (2004) e IPCC (2007), os quais recomendam a aplicação do fator 0,485, uma vez que a biomassa epígea seca contém aproximadamente 48,5 % de carbono.

Steenbock *et al.*(2013d) reforçam a ideia de que o carbono pode ser utilizado como central na análise da evolução da sustentabilidade dos agroecossistemas. É possível inferir, portanto, que o carbono pode vir a ser considerado como *indicador-marcador* importante, do ponto de vista de sua precisão e potencial praticidade, voltado à análise da evolução da sustentabilidade agroecossistêmica.

2.2.4 - Estudo de Caso 4: Análise da viabilidade financeira de sistemas agroflorestais em comparação com a cultura da Teca (*Tectona grandis*) no Brasil

Este estudo foi conduzido por Hoffmann (2013), consistindo em uma análise de prospecção financeira bastante completa, em abordagem ampla envolvendo inclusive sistemas mecanizados; não obstante, é ainda focado em subsidiar a tomadas de decisão no âmbito da agricultura familiar.

A presente análise é efetuada contando somente com parte do campo amostral (10 amostras originais) do estudo, trazendo à apreciação somente os casos que representam singularidades apropriadas aos contrastes a evidenciar. Dentro de um amplo universo de índices microeconômicos produzidos no estudo, elegeu-se, para a presente análise de prospecção unicamente a dinâmica do acúmulo do capital dos sistemas via cálculo dos fluxos de caixa de cada modalidade investigada, num período de 25 anos de atividade, obtendo-se ao final o índice denominado Valor Presente Líquido.²²

Segue, na tabela 1 a consolidação do fluxo de caixa de quatro modalidades de sistemas agroflorestais em comparação com a prospecção de retornos estimada para a cultura da Teca.

²² O valor presente líquido, também conhecido como Valor Atual Líquido ou método do valor atual, é a fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial.

Ano	SAF 1	SAF 6	SAF 9	SAF 10	Teca
1	-2204	-9709	-29790	-8934	-3942
2	10201	-9045	2250	3514	-4175
3	13999	-5690	6319	5928	-4391
4	25579	8560	15079	6927	-4535
5	34511	41194	30007	10468	25169
6	37608	52431	49511	16504	25045
7	40866	65704	69839	23773	24930
8	43883	82627	88437	32295	24824
9	46677	85838	105657	80205	24726
10	49262	89462	121601	88323	50736
11	51657	97749	136296	95840	50652
12	53875	98064	149902	102801	50574
13	55928	102473	162500	109246	50502
14	57828	108406	174165	115213	50435
15	60544	109832	184966	134959	81939
16	62175	122060	194967	141028	81881
17	63684	125605	204227	147223	81828
18	65080	130148	212801	154024	81779
19	66374	135133	220740	163282	81734
20	67572	139748	228091	176080	98699
21	68681	144022	233658	184056	98665
22	69709	147979	238813	191441	98634
23	70659	151643	243585	198279	98604
24	71539	155036	248004	204610	98577
25	73388	158177	267384	210473	122072

Tabela 1. Fluxo de caixa de quatro modalidades de sistemas agroflorestais em comparação com a prospecção de retornos estimada para a cultura da Teca (Hoffman, 2013).

A perspectiva numérica apresentada pode ser com proveito analisada por meio gráfico, conforme segue:

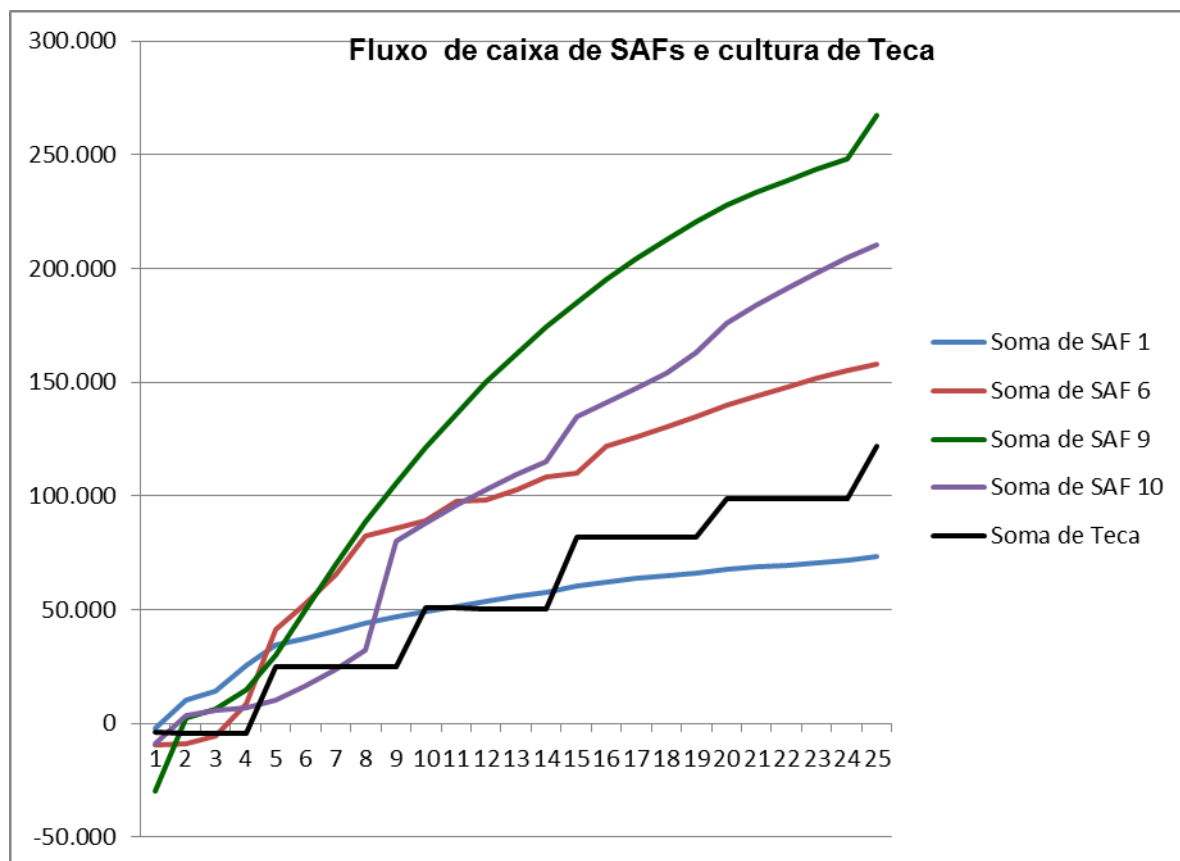


Gráfico 1. Fluxo de caixa de SAFs e cultura de Teca (Elaboração própria, fonte Hoffman,2013).

De acordo com a análise efetuada por Hoffmann (2013), dos dez SAFs estudados, quatro apresentaram retorno do investimento no 2º ano, demonstrando que tais sistemas geram recursos financeiros e retornam o investimento no curto prazo.

Ao avaliar-se a capacidade de um projeto de SAF criar valor em longo prazo, pode-se observar a importância do planejamento de produções em todos os ciclos de sucessão, com destaque aos SAF 9 e 10 apresentando os maiores VPL (Valor Presente Líquido), respectivamente, R\$ 267.384,00 e R\$ 210.473,00.

O SAF 1 apresentou o melhor desempenho no curto prazo em relação aos demais. A razão para tal destaque deve-se ao grande potencial comercial da cultura pimenta-do-reino, que, por sua vez, possuem mercado garantido e produção já no primeiro ano de implantação do sistema. Com apenas uma cultura, a pimenta-do-reino, fez retornar o investimento total no 2º ano agrícola. No entanto, embora este sistema tenha apresentado

um resultado superior aos outros SAFs nos primeiros 5 anos, a partir do segundo período (5 a 10 anos) a falta de espécies e o arranjo não mantiveram a mesma rentabilidade.

Nas pesquisas de Gama (2008), o SAF 6 apresentou produção de frutos de cupuaçu por planta de 2 a 6 kg maior que os demais tratamentos, inclusive os monocultivos. E em relação à cultura da banana, verificou que a produtividade da banana decresceu em todos os tratamentos ao longo dos quatro anos, mas, no entanto, essa queda foi mais evidente no monocultivo que nos SAFs. No primeiro ano, a produtividade em monocultivo foi 4,43 a 5,33 Kg/planta menor que nos SAFs, mesmo com uma densidade populacional maior. Os resultados indicaram que o desempenho da cultura foi fortemente influenciado pelo sistema. Ao se comparar estes SAFs com os monocultivos apresentados o SAF 6 apresentou VPL maior que os monocultivos de mamão e maracujá. Segundo a análise efetuada pelo autor, do ponto de vista de seleção de projetos, existe a possibilidade de um SAF ser mais rentável que monocultivos, mas é fundamental uma análise de barreiras e riscos. Aos três anos, a pimenta-do-reino no SAF 6 produziu mais que os demais tratamentos, incluindo monocultivo. O SAF 6, embora com pequena biodiversidade, conseguiu uma alta rentabilidade principalmente com o cupuaçu.

O SAF 9 e 10 foram planejados para apresentarem produções em todos os anos e com culturas para produções iniciais de alta rentabilidade como tomate, mamão e maracujá. O SAF 9, inclui a cultura da videira, o que demanda investimento em estrutura (espaldeira) para sustentação das plantas, além de insumos, mudas enxertadas e sistema de irrigação. No entanto, por apresentar culturas de ciclo curto, como o tomate e mamão, o sistema possibilitou um fluxo de caixa positivo já no segundo ano.

O SAF 10, partindo de situação de elevada acidez do solo, devido à forte degradação, inicialmente apresentou produções baixas de mandioca e maracujá devido à baixa fertilidade inicial do solo, mas, com o passar dos anos, a fertilidade aumenta naturalmente, através do processo de ciclagem de nutrientes e fixação biológica, o que permite culturas de fruteiras exigentes em fertilidade a partir do ano seguinte, a entrarem em produção. Este sistema apresenta baixo uso de insumos, sendo a maior parte dos gastos com serviço, tendo o agricultor gasto apenas R\$ 2.828,63/ha para compra de insumos, nível de investimento adequado, portanto, à realidade da agricultura familiar. O SAF 10 utilizou espécies adaptadas à fertilidade atual do solo, com plantio de fruteiras a partir de sementes, contando basicamente com atividades manuais. A propriedade rural com SAF 10 adota uma estratégia de produção com base em baixos custos de produção, utilizando recursos locais

Os estudos de caso apresentados por Hoffmann (2013) permitem um excelente exercício de prospecção financeira para o desenvolvimento de SAF's, destacando a possibilidade plena de concorrência dentro das atuais condições do mercado, com vistas à obtenção de vantagens comerciais, a serem amplificadas por meio da valorização dos serviços ambientais agregados aos sistemas produtivos.

3. POLÍTICAS DE CT&I VOLTADAS AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO BRASIL

O debate aqui proposto verifica-se a partir de um panorama das políticas de CT&I implantadas em diferentes momentos da história do Brasil, e que apresentam interface direta ou indireta com o desenvolvimento de sistemas agroflorestais.

3.1 Adequação das estruturas de fomento às demandas de CT&I em sustentabilidade de agroecossistemas

A partir da fundamentação teórica já efetuada (ver Capítulo 1), constata-se a importância das múltiplas contribuições científicas que subsidiam o necessário aprofundamento dos mecanismos que regem a sustentabilidade ecológico-econômica em agroecossistemas. Partindo de princípios das denominadas *ciências puras*, como a Física e a Biologia, é possível estabelecer os fundamentos do que aqui denomina-se de *ciência ecológica*, aplicando-se esta última ao manejo de agroecossistemas sustentáveis. Torna-se bastante evidente a convergência deste modelo de análise com as elaborações de Donald Stokes, desenvolvidas em *O quadrante de Pasteur* (STOKES, 1997 - 065), obra que ressalta a importância da integração das políticas científica e tecnológica como estratégia sinérgica fundamental ao domínio de processos inovativos de real impacto.

O exemplo da aplicação dos acúmulos científicos da Ecologia básica sobre a sucessão secundária de ecossistemas no manejo de sistemas agroflorestais é um exemplo patente desta evidência. Note-se, de passagem, o efeito sinérgico oferecido, por um lado, pela validação científica das dinâmicas agroecossistêmicas e, por outro, pelo *pool* de conhecimentos tácitos sobre manejo adaptado de agroecossistemas, tradicionalmente desenvolvidos por um sem-número de etnias com adaptação exitosa em vários pontos do planeta. A hibridação destes dois fatores vem resultando na emergência de sistemas altamente eficientes, conforme evidenciado no Capítulo 2.

Percebe-se, portanto, a partir desta pequena transversalização, a complexidade exigida para um plano de investigações em agroecossistemas sustentáveis e a necessidade de estabelecer uma relação dialética entre as diferentes competências científicas, sistemicamente integradas com os agroecossistemas e com as dinâmicas sociopolíticas das populações envolvidas.

Guimarães (2011) aponta para grandes desafios na instrumentação do fomento e na reforma estrutural do sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI). O autor coloca em questão a fragmentação evidenciada na presente *Árvore do Conhecimento* coordenada pelo CNPq²³ e que, ao longo dos anos, tornou-se referência para agências parceiras, permitindo ao autor ressaltar a necessidade de concepção de modelo transversal de fomento e avaliação de programas.

Em paralelo, e na contramão do paradigma da compartimentalização, tem-se observado o incômodo de gestores públicos ao lidar com um número crescente de pesquisadores que se autoclassificam, em formulários de cadastro ou de pesquisa de indicadores científicos, como pertencentes à área científica “transdisciplinar”. Esta realidade, de tendência crescente, esvazia por completo a estratégia de controle linear proposta pelo modelo compartimentalizador da atual *Árvore do Conhecimento* e suas derivações, impondo que, mais cedo ou mais tarde, se opere uma necessária e profunda reformulação das estratégias de gestão de C&T no Brasil.

Reveste-se de importância a afirmação de Teixeira e Lages (1996), que nos auxilia na compreensão do tema em análise:

Este debate parece necessário de ser travado, na medida em que se encontra num momento em que as instituições de pesquisa estatais são colocadas em cheque pelo viés neoliberal das reformas do ajuste estrutural da economia brasileira. Vê-se também, uma crise na formação agrônômica em busca de novos paradigmas. Neste modelo produtivista, o qual demandava a reprodução e aplicação de um saber mecanicista e reducionista e um sistema de pesquisa fortemente hierarquizado e centrado nos produtos agrícolas, depara-se com a **necessidade de incorporar a complexidade do mundo biológico, das culturas tradicionais, da proteção ao meio ambiente e da diversidade agroecológica** própria a um país continental, entre outras novas demandas sociais. (grifo do autor)

Para uma melhor compreensão da evolução das produções científicas no campo genérico dos sistemas agroflorestais no Brasil e no exterior, procede-se no tópico que segue, a uma análise da evolução de indicadores relativos à indexação de trabalhos científicos em bases internacionais.

²³ A classificação das Áreas do Conhecimento (CNPq e CAPES) apresenta uma hierarquização em quatro níveis, que vão do mais geral aos mais específicos, abrangendo nove grandes áreas, 76 áreas e 340 subáreas do conhecimento.

3.1.1 Produção científica em sistemas agroflorestais no mundo e no Brasil

Em busca pelo termo *agroforest*²⁴ realizada na base de dados *Web of Knowledge*, a qual permite acesso a várias bases de dados interdisciplinares, pôde-se avaliar a evolução das publicações científicas no mundo desde 1979 nesse campo, somando um total de 1.937 publicações (Gráfico 2).

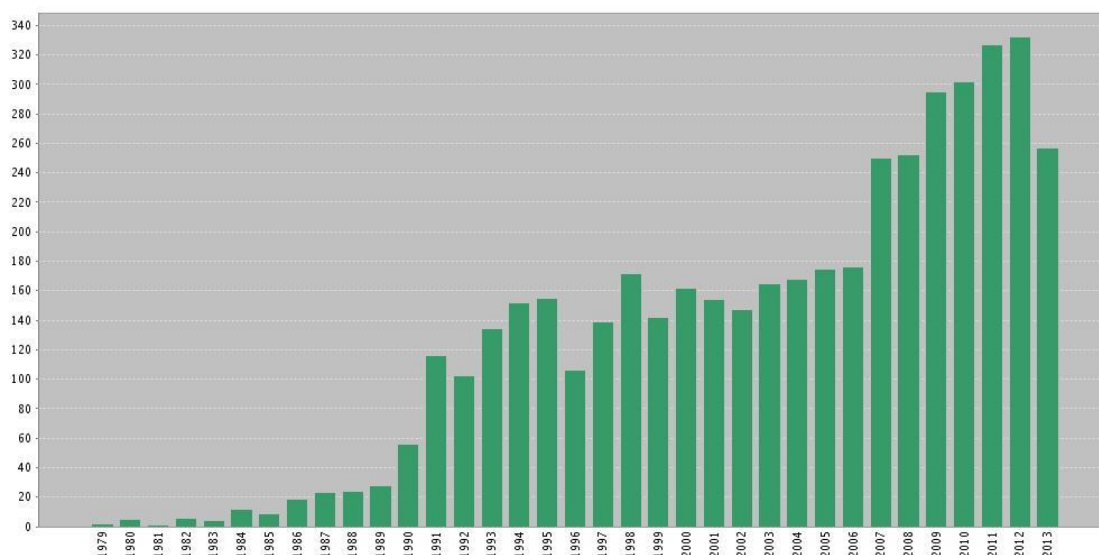


Gráfico 2. Evolução de publicações científicas em sistemas agroflorestais no mundo.

É possível notar o claro incremento de acúmulos científicos no período, com comportamento predominantemente linear, ainda que se identifiquem ciclos de incremento entre os anos 1990 e 1995 e entre os anos 2007 e 2012.

Com padrão de evolução similar, porém apresentando importantes especificidades, foram produzidas no Brasil 149 publicações, o que representa aproximadamente 7% das publicações mundiais (Gráfico 2). Desse total, 10 foram financiadas pelo CNPq, o que representa em torno 6% do total das publicações brasileiras (Gráfico 3).

²⁴ *Agroforest**: a utilização do asterisco após o termo permite que sejam recuperadas todas as publicações que contêm qualquer termo que inicie com *agroforest*. Os termos que apareceram foram *agroforest* e *agroforestry*.

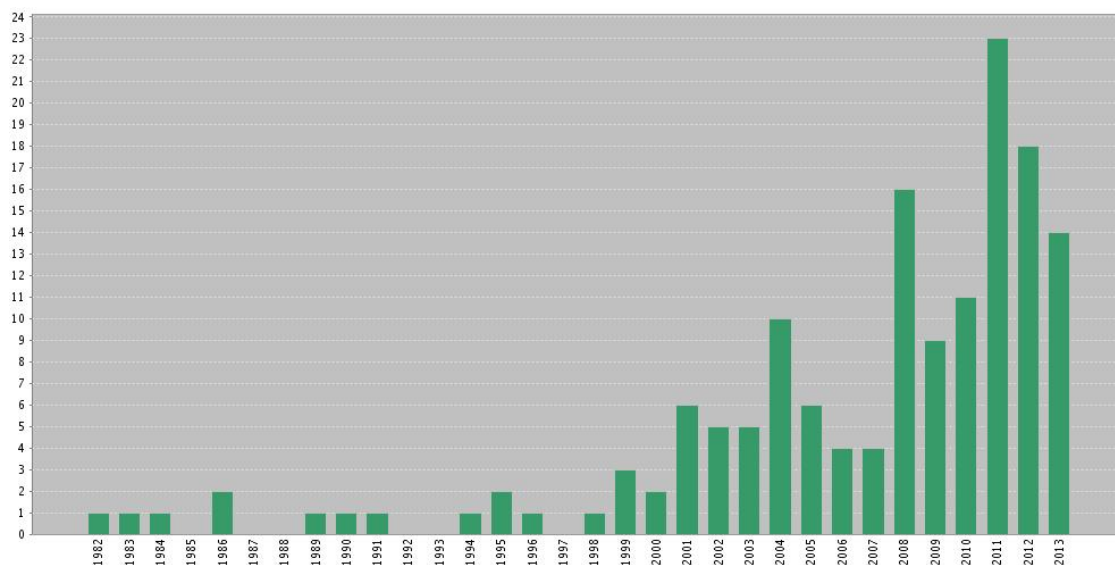


Gráfico 3. Evolução das publicações científicas em *agroflorestas** no Brasil.

É possível identificar um claro contraste dos registros de publicações brasileiras em relação ao comportamento da evolução mundial. É notável, nesta análise comparativa, a baixa incidência de publicações no período observado entre os anos de 1987 e 1997. Por outro lado, uma tendência de crescimento exponencial de publicações é registrada no período subsequente, entre os anos 1999 e 2011.

Resgatando-se a análise histórica efetuada na seção 1.4.2.3, destaca-se a significância do comportamento exponencial registrado neste período, uma vez considerando-se que um incremento de tal ordem não guarda relação direta com a aplicação de políticas públicas específicas para o setor. Revela-se, neste contexto, o caráter espontâneo do espraiamento das pesquisas a partir do ano de 1998, denotando a presença das seguintes condicionantes para este efeito:

- a) Nos anos de 1998 e 1999 registram-se as primeiras publicações de cunho essencialmente acadêmico sobre manejo sucessional de sistemas agroflorestais a partir dos postulados e ensaios produtivos de Götsch (1992; 1995);
- b) Diversas experiências no nível produtivo, com destaque ao apoio oferecido por ações do terceiro setor, são implantadas a partir de meados da década de 90, em sua grande maioria estimuladas pelas estratégias de manejo sucessional – passam a ser foco de pesquisas voltadas à análise da sustentabilidade agroecossistêmica, em análises tanto biofísicas quanto qualitativas;
- c) Significativo impacto, em particular, das ações-piloto apoiadas pelo programa PD/A-PPG7-MMA, por meio do lançamento de editais focados em estratégias de desenvolvimento

endógeno, tendo como fundamental o desenvolvimento de sistemas agroflorestais como estratégia de sustentabilidade múltipla. Diversas publicações lançam evidências da importância das ações engendradas pelo referido programa. É lamentável o fato de ter sido desativado (MMA, 2008; SAUER, 2007).

Observa-se uma relativa descontinuidade na produção no período 2005-2007 e no período 2009-2010 como possível reflexo da ausência de suporte focado na demanda específica, uma vez registrando-se a inexistência de programas oficiais voltados à CT&I em sistemas agroflorestais no Brasil.

A seguir, apresenta-se a distribuição temporal das publicações originadas a partir do apoio do CNPq, somente observável a partir do ano de 2008, fruto de investigações isoladas em editais diversos, uma vez não havendo registro de chamadas específicas para sistemas agroflorestais.

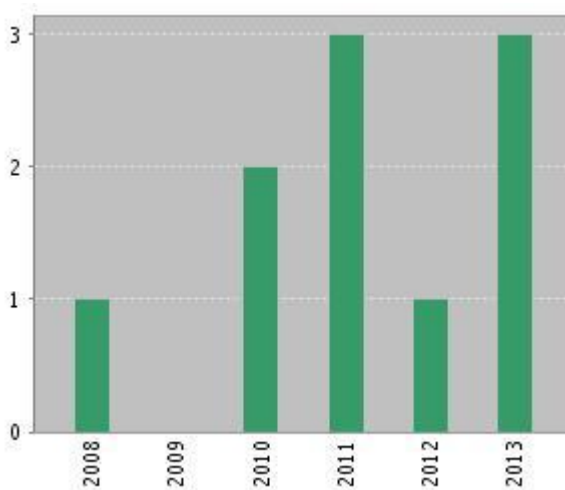


Gráfico 4. Evolução de publicações científicas (artigos) financiadas pelo CNPq.

Fica visível, nesta análise, o número extremamente baixo de publicações relativas a projetos apoiados pelo CNPq frente aos indicadores gerais de produção científica no Brasil. Estes resultados refletem a ausência de foco em editais lançados no CNPq, embora, em algumas chamadas, a menção ao desenvolvimento de sistemas agroflorestais seja feita em segundo plano, vinculado a estratégias dispersas voltadas a objetivos específicos como a recuperação de áreas degradadas ou sob risco de fogo (editais vinculados ao Ministério da Agricultura), conservação da água (editais MCT/CT-HIDRO) e segurança alimentar (editais MDS/CONSAF).

A seguir apresentam-se as resultantes da *Oficina de Prioridades de Pesquisa em Sistemas Agroflorestais* ocorrida durante o VII CBSAF – *Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, realizada em junho de 2009 (Luziânia/GO). Deste esforço participaram pesquisadores de diversas unidades da EMBRAPA, professores de universidades de escolas agrotécnicas, representantes de instituições de assistência técnica e extensão rural, agricultores, estudantes, representantes de organizações da sociedade civil, gestores públicos e profissionais liberais.

Os resultados da Oficina de Pesquisa em SAF lograram estabelecer um conjunto de princípios para o atendimento às atuais demandas de pesquisa, visando a promover o desenvolvimento do conhecimento e das tecnologias voltadas para a sustentabilidade. Destacam-se abaixo esses princípios, com foco no estabelecimento de políticas públicas compreendidas como adequadas para as demandas identificadas:

- a) Operações de P&D organizadas em ambiente de Rede de Informação e Pesquisa: Organizar redes de pesquisa via lançamento de editais específicos ou ações diretas, não perdendo de vista a oportunidade e necessidade de constituição de um PROGRAMA NACIONAL DE VALIDAÇÃO CIENTÍFICA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, a partir das articulações já estabelecidas e seus desdobramentos. Atributos e competências da rede: diagnosticar, prospectar e propor, ao poder público, investimentos em inovação e integração tecnológica em sistemas agroflorestais, no sentido de atender aos gargalos tecnológicos e/ou de difusão identificados a partir de demandas de produtores, em interação com instituições e centros de PD&I. A estruturação de uma rede ampliada de cooperação poderá oferecer suporte constante ao diálogo das bases produtivas com o poder público, além de abrir outras frentes de interface além-porteiras.
- b) Ações com componente transversal, com foco no Setor Produtivo, que considere abordagem participativa de desenvolvimento, no sentido de fortalecer princípios de territorialidade e governança, com conseqüente consolidação de cadeias produtivas compreendidas em arranjos produtivos locais.
- c) Considerar a utilização de novas metodologias de análise qualitativa e quantitativa de pesquisa, a partir de demandas efetivas dos produtores e de seus arranjos produtivos.
- d) Realizar adequação dos instrumentos de fomento - programas e projetos - à necessidade temporal de desenvolvimento de pesquisa em SAF, que suportem ações de longo prazo (3 a 5 anos);

- e) As pesquisas deverão responder às reais necessidades dos agricultores familiares e populações tradicionais, dialogando com sua lógica e seu complexo modo de vida, onde o conhecimento tradicional, a cultura, a gestão do tempo, da mão-de-obra, são fatores fundamentais, incluindo sua lógica reprodutiva, incluindo abordagem de gênero.

A análise das informações geradas neste cruzamento de **demandas de investigação X produção científica acumulada** revela uma consistente evolução das pesquisas envolvendo aspectos da sustentabilidade dos sistemas, com preponderância das investigações de qualidade do solo, carbono/biomassa e biodiversidade. Tais acúmulos, em sua maioria de produção recente, representam um importante referencial para o estreitamento da compreensão dos fenômenos envolvendo fluxos de caráter biofísico, internos ou externos ao nível agroecossistêmico, e fundamentais, portanto para a planificação de ações de intervenção e análise de desempenho bioeconômico (micro e macro).

LINHAS DE PESQUISA	TEMAS PRIORITÁRIOS
SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS	Pesquisa em indicadores para monitoramento de sustentabilidade dos agroecossistemas - fluxo de nutrientes, acúmulo de carbono, balanço hídrico, balanço energético, biodiversidade, qualidade de vida humana, segurança alimentar, metodologias de acompanhamento aplicáveis à gestão dos sistemas de produção, empoderamento comunitário.
INOVAÇÃO EM LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E APROPRIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	Apropriação e desenvolvimento de equipamentos – máquinas e implementos (design, eficiência mecânica, ergonomia, combustíveis/fontes alternativas de energia); Resgate, validação e difusão de tecnologias endógenas em sistemas de produção.
ECONOMIA E MERCADO	Pesquisa de viabilidade econômica dos sistemas agroflorestais: valoração econômica/energética e valoração ambiental; Certificação e pagamento por serviços ambientais: gerar propostas inclusivas e participativas de certificação para inserção dos produtos agroflorestais nos mercados nacional e global. Pesquisa para o avanço do conhecimento sobre parâmetros (critérios e indicadores) ambientais para subsidiar pagamentos por serviços ambientais dos sistemas agroflorestais via indexação aos coeficientes técnicos.
PROSPECÇÃO PARA O FOMENTO DO SETOR	Avaliação da eficácia e dos gargalos de Políticas Públicas relacionadas a sistemas agroflorestais (ATER, crédito, etc).

Quadro 5. Prioridades para pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação em SAF.



Gráfico 5. Classificação de acordo com os temas prioritários listadas no quadro 5 das publicações científicas de grupos de pesquisa brasileiros.

Por outro lado, e como indicativo claro de demanda por políticas de indução tecnológica, apresenta-se o gargalo do suporte ao desenvolvimento de processos inovativos e de apropriação de tecnologias direcionadas ao desenvolvimento de equipamentos e logística de produção voltados ao manejo de sistemas agroflorestais, apropriados a diferentes escalas e características físicas. Note-se que, não obstante os índices de publicações envolvendo engenharia de equipamentos e logística de produção sejam significativamente baixos, os processos inovativos e adaptativos destas tecnologias vem ocorrendo e evoluindo ano a ano no Brasil, possibilitado pelo trabalho de agricultores-experimentadores no nível das propriedades, por conta e risco destes, e ainda assim revelando resultados surpreendentes.

Como exemplo marcante, destaca-se a técnica de plantio mecanizado de sistemas agroflorestais, desenvolvida na Fazenda São Luiz (São Joaquim da Barra-SP). Localizada em região típica do mosaico cana/soja paulista, e lidando com a necessidade de pesquisa de sistemas agroflorestais em larga escala, desenvolveu-se ali, no ano de 1999, uma técnica de semeio de faixas biodiversas de arbóreas e culturas anuais/bianuais por meio de adaptações em plantadeiras convencionais utilizadas para a cultura da soja. Desde então, diversas adaptações incrementais vem sendo desenvolvidas por meio desta técnica. Sojicultores do estado do Mato Grosso lograram, por meio da transferência desta tecnologia e com o auxílio de técnicos de ONGs locais reduzir de R\$ 10.000,00 para R\$ 3.000,00 o custo local de recuperação de áreas de conservação e reserva legal. Assim como esta,

muitas experiências de produtores merecem receber o devido reconhecimento e estimulação por parte das políticas de suporte, haja visto o imenso potencial inovativo de uma infinidade de agricultores-experimentadores.

A demanda por desenvolvimento tecnológico voltado ao manejo de agroecossistemas é um tema debatido por alguns autores, principalmente no âmbito da agricultura familiar, em abordagem geralmente composta de interfaces com assistência técnica e crédito, a exemplo do que expressam Sauer *et al.* (2007) em um contexto de difusão de sistemas agroflorestais biodiversos no estado do Tocantins como alternativa de controle do “arco do fogo” na Amazônia Oriental. Os referidos autores advertem que “Outra lacuna importante diz respeito ao desenvolvimento de pesquisas científicas, sistemáticas e estruturadas, capazes de oferecer alternativas à pequena produção.”

3.2 Necessidade de integração de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de sustentabilidade de sistemas agroflorestais

A análise do cenário atual, no que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas agroflorestais no Brasil, revela um paradoxo notável: por um lado identifica-se uma estagnação e até retração de políticas específicas à investigação e desenvolvimento de sistemas agroflorestais, como no caso da extinção do PD/A-MMA (Projetos Demonstrativos Tipo A do Ministério do Meio Ambiente), mas por outro, observa-se um espraiamento espontâneo de tecnologias de manejo agroflorestal, envolvendo pesquisa adaptativa, principalmente nos moldes sucessionais. Tais iniciativas vêm sendo oportunizadas tanto pelo terceiro setor, como também a partir de iniciativas de produtores rurais autônomos, em associação com agentes locais.

Essa realidade pode ser consultada em significativa bibliografia produzida ao longo dos últimos 15 anos, inicialmente tratando da fundamentação teórica e, mais recentemente, analisando os indicadores de sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Identifica-se o surgimento destes estudos em instituições acadêmicas formais a partir de 1998, como resultado de propostas isoladas de estudantes e pesquisadores, principalmente na ESALq/USP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo), na UFRRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), na UFLA (Universidade Federal de Lavras), na UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) na UNB (Universidade de Brasília) e na UFS (Universidade Federal de Sergipe) a exemplo de Amador e Viana (1998), Peneireiro (1999), Vaz da Silva (2002), Silveira (2003), Bolfe (2004), Hoffmann (2005), Rocha (2006), Polmann (2008), Pinho (2008).

Em relação às políticas para produção madeireira, há uma gama de autores que ressaltam a importância do estabelecimento de políticas de fomento e reforma de regulamentações. São autores que identificam o potencial da produção de madeira em agroflorestas sucessionais. É o caso específico estudado por Baggio, Soares e Maschio (2009), em Barra do Turvo – SP, trabalho que destaca a importância de se prever em planos regionais de produção madeireira, de unidades locais de desdobramento e beneficiamento.

O mercado de madeira tende a ser largamente impulsionado pelas crescentes imposições de sequestro de carbono, segundo Zanetti (2012). Em se tratando de sistemas multiestratificados, e principalmente os de base sucessional, o valor da madeira deverá tender ao incremento nos valores de comercialização, pela multiplicidade dos serviços executados pelos sistemas.

Na esfera internacional, destaca-se, enquanto referencial norteador para políticas específicas voltadas ao desenvolvimento de sistemas agroflorestais, o *guideline Advancing Agroforestry on the Policy Agenda – A guide for decision-makers*, recentemente publicado pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations / Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura*) (FAO, 2013), em cooperação com o ICRAF (*World Agroforestry Centre*), o CATIE (*Tropical Agricultural Research and Higher Education Centre*) e o CIRAD (*Agricultural Research Centre for International Development*).

O documento da FAO, acima mencionado, apresenta uma estrutura transversal que estabelece interessante argumentação em relação aos amplos benefícios dos sistemas agroflorestais, em se considerando o acúmulo científico de mais de 30 anos.²⁵ Extrai-se, a seguir, a missão expressa do *guideline*:

[O guia] intenta auxiliar os países a desenvolver políticas e condições legais e institucionais que promovam a adoção de sistemas agroflorestais, reconhecendo suas contribuições para o desenvolvimento nacional. [...] Se isto for feito, os sistemas agroflorestais deixarão de ser uma exceção, para se tornar uma prioridade no âmbito do desenvolvimento sustentável. (tradução livre)

O guia oferece uma estrutura de análise voltada à formulação de políticas a partir dos seguintes princípios: a) reformulação legal e institucional facilitadora, imprescindivelmente conectada com as demais ações socioambientais; b) valoração e/ou valorização dos serviços ambientais prestados pelos sistemas; c) concessão de suporte técnico e creditício para a etapa de transição para o novo modelo; d) efetiva participação

²⁵ A estrutura e o conteúdo do documento da FAO têm como fonte as instituições colaboradoras mencionadas no texto: ICRAF, CATIE e CIRAD.

dos *stakeholders* envolvidos no processo e fortalecimento da governança local; e e) acesso à informação e integração tecnológica.

O guia é instrumento de referência para a formulação de políticas envolvendo o desenvolvimento de sistemas agroflorestais. As experiências acumuladas apontam para a necessidade de atendimento aos requisitos sistêmicos propostos, visto que a sinergia gerada pelos processos sistêmicos é fator fundamental para a tarefa proposta, normalmente não trivial, e representativa de uma mudança paradigmática nas esferas tecnológica, socioeconômica e cultural-adaptativa.

Partindo para uma análise de contribuições referentes à esfera de gestão em nível nacional, destacam-se autores como Sachs (2004), que considera o desenvolvimento como uma combinação de desenvolvimento econômico, aumento igualitário do bem-estar social e preservação ambiental, e discute teoricamente sobre alguns fundamentos de um novo paradigma do desenvolvimento, o qual considere a convergência entre economia, ecologia, antropologia cultural e ciência política. Um olhar pragmático sobre estratégias de desenvolvimento rural oferecido por Sachs (2004, p. 122-128) compreende (a) apropriação e hibridação de tecnologias, integrando “o saber moderno com o tradicional”; (b) promoção de setores intensivos em mão-de-obra, incrementando a empregabilidade; (c) incentivo à agricultura familiar com estratégia múltipla de desenvolvimento; (d) incentivo à organização e emancipação social local; (e) o atrelamento a estruturas do tipo Arranjos Produtivos Locais – APL; e (f) desenvolvimento de tecnologias voltadas à “valorização das biomassas” (cana/álcool; óleos vegetais; madeira e fibras).

Sachs aborda ainda a importância da orientação de tais programas a partir de franca estimulação governamental, citando instrumentos importantes como as compras governamentais. Para que se tenha uma ideia do potencial de impacto de políticas de indução à produção, traz-se para esta análise a contribuição de Miccolis *et al.* (2011), em levantamento sobre efeitos e impactos de políticas públicas no desenvolvimento de sistemas agroflorestais nos diversos biomas brasileiros. Os resultados apontam que, mesmo com a presença de diversas fontes potenciais para fomento do desenvolvimento agroflorestal, observou-se que políticas como o PAA – Programa de Aquisição de Alimentos, capitaneada pelo MDS e o PNAE - Programa Nacional de Alimentação Escolar, coordenado pelo MEC, ambas privilegiando compras governamentais dos produtos em licitações direcionadas à agricultura familiar, tem sido de fato as promotoras de tal desenvolvimento. Importante notar que ao mesmo passo em que se estimula a produção, incrementa-se a ocorrência natural de inovações e apropriações tecnológicas a partir das sistemáticas experimentações de

agricultores, diretamente influenciadas pelo grau de organização e integração/comunicação local e regional.

A Política Nacional de Assistência Técnica Rural – PNATER representou um imenso avanço na consolidação de políticas de assistência técnica numa perspectiva de valorização via representação das organizações locais. Os efeitos da referida política são inegáveis, em se considerando a dificuldade de mobilização de estruturas de assistência na dimensão continental e extremamente diversificada como a brasileira.

Muitos analistas apontam, a exemplo de Miccolis (2011), a dificuldade de desenvolvimento generalizado de sistemas agroflorestais como proposta alternativa, quando se depende da intersecção de técnicos locais de extensão rural. Estes autores registram uma forte tendência à falta de credibilidade e apoio instrumental por parte de técnicos extensionistas, notadamente nas regiões sul e sudeste, onde a sedimentação da cultura inter-geracional do *agribusiness* é definitivamente marcante.

Outra vertente de políticas voltadas ao desenvolvimento agroflorestal é a possibilidade de construção de mecanismos de valoração bioeconômica dos produtos. Uma grande diversidade de mecanismos de pagamento direto ou indireto de serviços ambientais encontram-se atualmente em fase de implementação no Brasil. Um estudo encomendado pela ação bilateral EU/Brasil intitulada “Diálogo Brasil-União Européia sobre Pagamentos por Serviços Ambientais”, efetua um levantamento detalhado sobre as propostas existentes, suas características, estratégias, potenciais e fraquezas (VIVAN, 2010). Uma série de considerações acerca do potencial êxito das experiências citadas é feita partir desta análise, que, de modo conclusivo, aponta para a necessidade de estabelecimento de mecanismos de operação em arranjos, atrelando as esferas da iniciativa privada, do controle social e da estruturação e normatização governamental. Na seguinte transcrição os autores preconizam a formulação de: [...] pacotes/combinções de instrumentos/políticas públicas e ações da sociedade civil que influenciam aspectos quantitativos e qualitativos associados à conservação da biodiversidade e provisão de serviços de ecossistemas nos setores público e privado (*policymix*).

Como destaques da dinâmica envolvendo diferentes serviços prestados, o referido relatório identifica que experiências em PSA para produção de água, por exemplo, partem de acordos a partir de arranjos locais, geralmente vinculados a programas de bacias hidrográficas com parceria de prefeituras ou consórcios de bacias hidrográficas. Já iniciativas ligadas ao mercado de carbono apresentam estruturas com complexas vinculações aos mercados formal e informal, apresentando maior dominância da participação de esferas governamentais como estado e governo federal.

Conclusivamente, o referido relatório do programa conjunto EU/Brasil recomenda:

De modo geral, o PSA deve ser encarado como instrumento dentro de uma cesta de políticas [...]. Apoiamos o conceito de uma economia verde que reconhece a inter-conectividade de sustentabilidade econômica, ambiental e social, e que são necessárias reformas de estruturas de governança em todas as escalas para tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade.

Complementando ainda, que:

Há uma crescente evidência de que diversas parcerias entre governos locais, nacionais e regionais, bem como com as empresas e a sociedade civil fornecem redes de segurança essenciais quando políticas mundiais falham [...].

Metas integradas para a sustentabilidade global, com base em evidência científica são necessárias para estabelecer objetivos essenciais para as sociedades. Portanto, sem uma forte presença do Estado neste quesito, dificilmente a inovação tecnológica e a validação científica se realizarão nos projetos relacionados ao provimento de serviços ambientais. O foco identificado como central é o da “eficiência energética”, do ponto de vista de conversão de processos industriais de uso da terra, e do “ecossistema eficiente”, referente à seleção de projetos com base em critérios de perenidade, representatividade e conectividade.

É possível concluir, a partir das análises efetuadas neste capítulo, sobre a clara necessidade de estabelecimento de uma política unificada e específica voltada ao desenvolvimento agroflorestal no Brasil, frente à constatação de demandas reprimidas no setor e de uma lacuna de ambientes institucionais de referência voltados ao desenvolvimento tecnológico da sustentabilidade rural, a partir dos sistemas produtivos. Denota-se, outrossim, que o desenvolvimento de pesquisas e desenvolvimento tecnológico até então logrado no País não guarda relação com estratégias governamentais definidas de fomento.

Destaque-se a importância do efeito de mecanismos indiretos de desenvolvimento setorial, a exemplo dos exitosos programas de compras governamentais supra-mencionados. Infere-se que, de modo a amplificar o efeito de tais políticas, deve-se prever sua integração com estratégias de desenvolvimento tecnológico voltado à sustentabilidade efetiva dos sistemas de produção, por meio da aplicação de indicadores e programas de monitoramento.

Como contribuição suplementar a este capítulo, apresenta-se, no ANEXO 2 desta Dissertação, uma sistematização de políticas e programas que apresentam interfaces diretas ou indiretas com o desenvolvimento de sistemas agroflorestais no Brasil.

CONCLUSÕES

A prática do princípio grego da *precaução*²⁶ vem acompanhando o homem ao longo de sua trajetória no Planeta, tendo guiado as sociedades primitivas como condição fundamental inerente ao processo coevolutivo da espécie, ao longo dos diversos desafios adaptativos por que passou, até a intrigante encruzilhada histórica em que agora nos encontramos. É possível inferir, portanto, que tal princípio, latente na conformação genética e na cultura humana, deverá obrigatoriamente emergir a partir da tomada de consciência da espécie, relativamente à condição intrínseca de sua funcionalidade ecossistêmica. Nossa espécie é reconhecida pela ciência como o topo da cadeia alimentar da maioria dos ecossistemas do planeta. Hoje, no entanto, o homem apresenta preocupante característica que o diferencia das demais espécies: a de promover uma avalanche de transformações biofísicas globais, resultantes de sua própria irracionalidade antropocêntrica. Além do consumo alarmante das reservas globais de matéria e energia - com conseqüente disparo nos níveis de entropia -, a espécie humana vem provocando a perigosa quebra da resiliência dos ecossistemas, única base de sustentação e atenuação dos efeitos da lei da entropia.

As análises tanto teóricas quanto de evidenciação científica apresentadas nos capítulos 1 e 2 deste trabalho permitem a identificação genérica de um comportamento *fractal*²⁷ relacionando estratégias ecossistêmicas de acumulação de matéria, energia e informação com modelos agrícolas orientados pela sucessão ecológica.

De modo ampliado, identifica-se ainda a semelhança entre a dinâmica desenvolvimental de tais mecanismos naturais com abordagens econômicas, por um lado, com teorias bioeconômicas que desenvolvem conceitos no eixo biofísico/coevolutivo, e, por outro, com a escola neoschumpeteriana, com foco na dinâmica dos ciclos evolutivos de inovações e paradigmas técnico-econômicos.

²⁶ Segundo Nodari (2010) o princípio da precaução foi formulado pelos gregos e significa ter cuidado e estar ciente. Na era moderna, o Princípio da Precaução foi primeiramente desenvolvido e consolidado na Alemanha, nos anos 70, conhecido como *Vorsorge Prinzip*. Pouco mais de 20 anos depois, o Princípio da Precaução estava estabelecido em todos os países europeus. Embora inicialmente tenha sido uma resposta à poluição industrial, que causava chuva ácida e dermatites, entre outros problemas, o referido princípio vem sendo aplicado em todos os setores da economia que podem, de alguma forma, causar efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente. Precaução, então, relaciona-se com a associação respeitosa e funcional do homem com a natureza. Trata das ações antecipatórias para proteger a saúde das pessoas e dos ecossistemas. Precaução é um dos princípios que guia as atividades humanas e incorpora parte de outros conceitos como justiça, equidade, respeito, senso comum e prevenção.

²⁷ Fractais são definidos como similaridades identificadas entre padrões de qualquer ordem, originários de campos ou realidades distintas. São extremamente úteis no reconhecimento de possibilidades de desenvolvimento e otimização de processos, como no caso do espriamento generalizado do padrão fractal da teoria biológica de sistemas do biólogo Bertalanffy. Abordagens úteis para um aprofundamento do debate sobre perspectiva fractal aqui proposta podem ser encontradas em Di Corpo (2013) e Mahulikar e Herwig (2008).

A abordagem biofísica da teoria da sintropia/negentropia parece aplicar-se com propriedade às dinâmicas da evolução quantitativa e qualitativa de processos de acumulação e abundância em agroecossistemas sucessionais, assim como às teorias econômicas voltadas a ciclos econômicos e processos coevolutivos.

Por ir além do escopo definido para essa Dissertação, recomenda-se, neste sentido, o aprofundamento de estudos voltados à aplicação integrada de modelos econômicos que levem em conta os processos biofísicos e sócio-adaptativos em programas de desenvolvimento rural sustentável.

As evidências de significativos processos de acumulação de matéria, energia, informação e capital (apresentadas no capítulo 2) revelam o potencial de impacto econômico dos sistemas agroflorestais sucessionais para os trópicos e, em particular, para o Brasil, ressaltando-se os seguintes aspectos: a) drástica economia na aquisição de insumos externos aos sistemas; b) competitividade dos sistemas de produção; c) perfeita adequação à realidade da economia da produção familiar; d) perspectiva de agregação de valor via processos de certificação por prestação de múltiplos serviços ambientais (recuperação e conservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e do solo e sequestro de carbono atmosférico permanente); e e) impacto econômico e social via garantia da segurança alimentar.

O paradigma da sociedade urbano-industrial permanece reproduzindo com sucesso sua estratégia exploratória, apresentando, nos planos *político* e *educativo-adaptativo*, uma tênue abordagem da necessidade da mudança de paradigma. A sociedade, com relevo para as classes política e científica, em sua costumeira tendência de realizar a compartimentalização, permanece ainda sob a forte ilusão de segurança emprestada pela tecnologia e pela noção do desenvolvimento, do progresso, ainda que este seja movido pela avalanche da abundância momentânea de recursos materiais, tendo por força motriz a utilização espúria de nossas “ilhas de sintropia”.

A humanidade vive um momento em que o sentido natural da precaução parece ter sido perigosamente erodido pelos paradigmas antropocêntricos, ainda latentes na história moderna e contemporânea.

O advento da utilização sem limites das reservas fósseis ampliou sobremaneira a distância entre a espécie humana e seu meio coevolutivo. Muitos bilhões de nós romperam em absoluto estes vínculos originais, lançando-nos, enquanto espécie, numa perigosa e acelerada rota de colisão com nossos limites.

Uma vez alienados dos sistemas e práticas culturais que orientavam nosso *modus operandi* ecológico, quase que como um pressuposto da sobrevivência, diversos teóricos indicam como caminho a ser percorrido nesse momento o de reconstruir nossa relação

como o meio natural, ainda que a partir de nossa própria racionalidade científica, ou seja, caberia ao homem a tarefa da análise multidimensional da dinâmica dos impactos das interferências antropocêntricas sobre o meio ambiente, compreendidos aí todos os níveis hierárquicos da ecologia. Neste sentido, a definição de indicadores torna-se um ponto chave para o avanço adaptativo consciente por parte da humanidade.

A conquista da sustentabilidade em exemplos específicos na produção agrícola significou ao homem a vitória de lograr permanecer e evoluir em territórios diversos, abrindo espaços para a possibilidade de evolução qualitativa das etnias em construção, tanto por meio do aprofundamento das relações intra e interespecíficas, assim como pelo conhecimento dos limites do universo abiótico circundante.

Essa dissertação buscou, nos limites definidos, investigar com minúcia as situações em que as relações com o meio apresentam *índices positivos*, como produto da aplicação de *mecanismos de retroalimentação negativa*. A melhor maneira de conduzir essa antinomia residiu, nesse momento, em considerar algumas experiências que têm demonstrado possibilidades concretas de emergência de propriedades sinérgicas, voltadas para a sintropia, na relação homem-ambiente.

O aprofundamento das pesquisas sobre valores humanos e sociais emergentes é de fundamental importância para a aceleração dos processos adaptativos, e compõe o conjunto de desafios a serem enfrentados, por meio da aplicação de estratégias e instrumentos de educação formal e informal, no sentido de oferecer maior fluidez e segurança ao processo de transição para novos padrões de relacionamento, inclusive produtivo, com a natureza.

É possível identificar, a partir da transversalização aqui estabelecida, a complexidade exigida para a realização de um plano de investigações em agroecossistemas sustentáveis e a necessidade de estabelecer uma relação dialética entre as diferentes competências científicas, sistemicamente integradas com os agroecossistemas e com as dinâmicas sociopolíticas das populações envolvidas.

Em paralelo, e na contramão do paradigma da compartimentalização, tem-se observado o incômodo que gera ao sistema um número crescente de pesquisadores que se autotransformam, em formulários de cadastro ou de pesquisa de indicadores científicos, como pertencentes à área científica “transdisciplinar”. Esta realidade, de tendência incremental, esvazia por completo a estratégia de controle linear proposta pelo modelo compartimentalizador da atual *Árvore do Conhecimento* do próprio CNPq, e suas derivações, impondo que mais cedo ou mais tarde se opere uma necessária e profunda reformulação da lógica de gestão de CT&I no Brasil.

O aumento significativo de publicações envolvendo sistemas agroflorestais no Brasil, com crescimento exponencial nos últimos 15 anos guarda estreita relação com dois fatores fundamentais: (a) forte espraiamento de processos de inovação e apropriação tecnológica, levados a efeito pelo próprio setor produtivo, em integração com ações do terceiro setor; e (b) crescente interesse por parte de pesquisadores isolados, envolvendo diversas áreas do conhecimento, atraídos pela perspectiva de equacionamento das demandas relativas a uma sustentabilidade ampla, e tendo como campo de investigação uma grande diversidade de amostragens de êxito já no nível produtivo.

Tal aspecto não parece, portanto, guardar relação direta com as tímidas iniciativas de apoio governamental voltadas ao desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis, evidenciando uma defasagem entre o reconhecimento e a potencialização que poderia vir por meio de políticas de suporte e estímulo.

As ações desenvolvidas no âmbito do extinto PD/A-MMA cumpriram a função de retroalimentação no âmbito de diversas experiências-piloto, concorrendo para a consolidação de importantes referências de desenvolvimento agroflorestal em bases legitimamente endógenas numa perspectiva de empoderamento local e de tratamento da qualidade da paisagem e de conquista de uma efetiva sustentabilidade de agroecossistemas. Com sua extinção, amplia-se, neste sentido, a lacuna de ambientes institucionais de referência voltados ao desenvolvimento tecnológico da sustentabilidade rural, a partir dos sistemas produtivos.

A pesquisa realizada revela que os indicadores de sustentabilidade podem e devem ser aplicados em protocolos de certificação e de priorização de programas de compra governamental de caráter indutivo. A ideia dos indicadores deverá estar associada à discussão e implementação de políticas integradas voltadas à caracterização e desenvolvimento dos potenciais sintrópicos de agroecossistemas, em completa sintonia com as peculiaridades locais/regionais.

A título de recomendação geral cumpre destacar a ideia trazida originalmente no Relatório Stiglitz-Sen-Fotoussi (2009) no sentido de promover a necessária indexação de indicadores biofísicos na avaliação da sustentabilidade em programas de desenvolvimento, inseridos em um contexto amplo de variáveis socioeconômicas, tendo como eixo de elaboração os processos de construção do empoderamento local.

Deve-se, ainda, buscar a integração de programas de pesquisa voltados à apropriação tecnológica e inovação com mecanismos de estímulo à comercialização - a exemplo de instrumentos estatais exitosos como o PAA e o PNAE, buscando potencializar o vigor dos processos inovativos via movimentação produtiva.

Em termos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) verifica-se um incremento exponencial de publicações científicas em sistemas agroflorestais nos últimos 15 anos no Brasil, mas trata-se de algo que não guarda relação com quaisquer estratégias governamentais definidas de desenvolvimento.

Recomenda-se, pelas razões ora expostas, o estabelecimento de condicionantes para a efetiva criação de uma política transversal específica voltada ao desenvolvimento agroflorestal no Brasil.

A análise dos relatórios apresentados no âmbito de editais de áreas afins do CNPq, já encerrados até 2013, permite afirmar que existe uma demanda reprimida no que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas agroflorestais.

Nesses termos, a pesquisa realizada permite concluir que, a despeito da realidade aqui descrita e analisada, ainda não se observa nos editais do CNPq a inclusão do foco central de pesquisa em sustentabilidade de sistemas de produção ou em sistemas agroflorestais.

ANEXOS

ANEXO 1

Modelo	Origem	Metodologia
SARN – Sostenibilidad de la Agricultura y los Recursos Naturales	IICA – Instituto interamericano de Cooperación para a Agricultura GTZ – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit CATIE – Instituto Agronômico Tecnológico da Costa Rica	<ul style="list-style-type: none"> - Abordagem sistêmica - Etapas/níveis de análise e definição: 1.sistema; 2.categorias e elementos; 3.descritores; 4.indicadores. - Categorias de análise do sistema: 1. Recursos do sistema; 2. Operação do sistema; 3. outros recursos 4.outros sistemas. - Propriedades sistemas sustentáveis: 1.produtividade; 2.estabilidade; 3 resiliência; 4.equidade. - Avaliar situações passadas como base para prospecção.
FESLM - Framework for the Evaluation of Sustainable Management	FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations	<ul style="list-style-type: none"> - Proposta de análise multidisciplinar dos sistemas de produção, abarcando aspectos físicos, econômicos e sociais locais/regionais; - Desenvolvimento em dois estágios distintos: um situacional (diagnóstico) e o outro interpretativo, com definição, aplicação, análise dos indicadores; - Parâmetros com validação científica.
MESMIS – Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales mediante Indicadores de Sustentabilidad	Grupo Interdisciplinario de Tecnologia Rural Apropriada (ONG) México Projeto Gestão de Recursos Naturais Fundação Rockefeller	<ul style="list-style-type: none"> - Evolução do FELSM; - maior integração entre variáveis e indicadores - aplicável a processos de desenvolvimento individual e/ou coletivo; - Ampliação de atributos dos sistemas a avaliar: 1.produtividade; 2.estabilidade; 3. resiliência; 4.confiança; 5. Adaptabilidade; 6.equidade; e 7.autonomia; - Abordagem participativa é inerente ao processo (processos dialéticos e de retroalimentação dos sistemas, nos níveis de abrangência definidos); - análise comparativa dentro do universo dos sistemas específicos avaliados (comparação entre os sistemas de produção)

KUL - Kriterien umweltvertraglicher landbewirtschaftung	Federação dos Institutos Alemães de Investigação Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> - sistema informático de avaliação; - análise focada em processos físicos e de desempenho de culturas frente aos diferentes aspectos do manejo; - 18 indicadores; índice final com corte a partir da nota seis.
DIAGE - Diagnostic global d'exploitation	Centre de Fédération Régionale des Coopératives Agricoles Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie	<ul style="list-style-type: none"> - sistema informático dirigido à análise de grandes culturas - atribuição de valores de 1 a 10 com base em avaliação qualitativa, resultando em índice ponderado entre três atributos básicos: <ul style="list-style-type: none"> 1. importância (quantidades) 2. análise da matriz de operações e atendimento a regulamentos 3. sensibilidade do ambiente - nota final ponderada
ARBRE - Arbre de l'exploitation agricole durable	TRAME – Federação Nacional Francesa de Associações de Agricultores	<ul style="list-style-type: none"> - caderno de perguntas como instrumento básico de coleta de informações (60 questões com respostas qualitativas). Diagrama geral de respostas é representado por uma árvore com folhas a serem coloridas com cores pretas ou verdes, em proporção alusiva à sustentabilidade dos sistemas avaliados. - pode ser aplicada individual ou coletivamente. - a partir das relações entre os diferentes aspectos dos diagramas construídos trabalham-se as dimensões: econômica, de transmissão de capital e informações, social e ambiental.
DIALECTE - Diagnostic agri-environnemental liant environnement et contrat territorial d'exploitation	SOLAGRO – Initiatives pour Énergie, Environnement, Agriculture Association Départementale de Vulgarization Agricole (Chambre d'Agriculture Midi Pyrenées e Chambre d'Agriculture Haute-Garonne)	<ul style="list-style-type: none"> - amplamente difundido, principalmente na Europa - diagnóstico agro-ambiental global - flexibilidade de aplicação - aplicação de questionário; balanço energético simplificado; balanço de nutrientes simplificado. - análise técnica e repasse para o produtor

<p>IDEA - Indicateurs de durabilite des explorations agricoles</p>	<p>France Nature Environnement INRA - Institut Nacional de la Recherche Agronomique Arvalis – Institut du Végétal École Superieure Agronomique de Rennes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - princípios gerais voltados à análise quantitativa - processo de auto diagnose, revelando pontos fortes e fracos - análise é efetuada nas escalas: 1. Agroecológica (diversidade, gestão do espaço e manejo); 2. Sócio-territorial (tipo de produção e território, emprego e serviços, ética e desenvolvimento humano); e 3. Econômica (viabilidade, autonomia, transmissibilidade e eficiência) - grau de sustentabilidade é nivelado pelo menor índice temático (segundo regra ecossistêmica dos fatores limitantes)
<p>INDIGO - Indicateurs de diagnostic global la parcelle</p>	<p>INRA - Institut Nacional de la Recherche Agronomique Agriculture durable – Unité Mixte de Recherche</p>	<ul style="list-style-type: none"> - avaliação de impacto - seleção de indicadores-chave: nitrogênio, pesticidas, fósforo, manejo recursos hídricos, matéria orgânica, energia, biomassa, rotação, cobertura do solo) - aplicação de inquéritos e plotagem em base de dados - repasses personalizados - utilizado também no âmbito de agências governamentais
<p>DIALOGUE - Diagnostic agri-environnemental de lexplotacion agricole</p>	<p>SOLAGRO – Initiatives pour l'Énergie, l'Environnement, l'Agriculture Association Départementale de Vulgarization Agricole (Chambre d'Agriculture Midi Pyrenées e Chambre d'Agriculture Haute-Garonne)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - evolução do DIALECTE, com refinamentos - pode ser avaliado a partir da dimensão territorial, oferecendo destaque para parcelas de risco e a gestão integrada - totaliza 110 indicadores, alimentando duas frentes de análise: 1. Análise sistêmica de impactos globais dos sistemas produtivos e 2. Análise de impactos por eixos temáticos - questionário como fonte primária de informações e repasse personalizado
<p>SAFE - Sustainability assessment of farming and the environment</p>	<p>Université Catholique de Louvain (Bélgica) Katholieké Universiteit Leuven (Holanda) Belgian Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Propõe abordagem holística, sondando as interrelações entre os fatores analisados - Tem por objetivo auxiliar na gestão integrada dos sistemas analisados, nas dimensões ambiental, econômica e social. - Indicadores variáveis, apropriados as situações e demandas específicas - Base científica e empírica (biofísica) - Análise comparativa com sistemas de referência (naturais)

RISE - Response-inducing sustainability evaluation	Swiss College of Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> - avaliação holística por meio de aproximação sistêmica - Aplicada em países de diversos níveis de desenvolvimento - base na aplicação de questionários e plotagem eletrônica de informações - Integra análises nos níveis ambiental, econômico e social - apoia-se na estrutura Pressão – Estado – Resposta <p>Do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas</p> <ul style="list-style-type: none"> - produz mapas visuais de forças e fraquezas, indicando cenários e pontos de intervenção para ajustes - repasses personalizados
SSP - Sustainability solution space	Institute for Human-Environment Systems (Suíça) Swiss Federal Institute of Technology	<ul style="list-style-type: none"> - Análise sistêmica resultando em apontamento de alvos de intervenção - Processo de auto-análise direcionado à tomada de decisão, revelando contradições e realçando sinergismos internos - Integra processos participativos de diagnóstico com a colaboração de especialistas - Desenvolvida em módulos: 1. Caracterização geral dos sistemas e do contexto, seleção análise da interação dos indicadores; 2. Estabelecimento dos critérios de sustentabilidade; 3. Prospecção da gestão
Altieri e Nicholls 1999		<ul style="list-style-type: none"> - análise comparativa entre os sistemas locais estudados, ao longo do tempo - método aberto e participativo - inicia com sugestão de indicadores de qualidade dos cultivos. - elege-se um conjunto de 10 indicadores - dados qualitativos.
Análise emergética		<ul style="list-style-type: none"> - Modelagem e Simulação aplicada em sistemas: (ODUM e ODUM 1994), necessário conhecer: <ul style="list-style-type: none"> (a) as leis de energia e os princípios dos sistemas abertos; (b) os diversos tipos de fontes de energia que se relacionam com o sistema; (c) as interações que ocorrem; (d) as funções usadas para descrever os processos no ecossistema. (e) definir os limites dos sistemas

ISA - Indicadores de Sustentabilidade de Agroecossistemas	UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais	Índice único: média aritmética de 23 indicadores abrangendo: (a) balanço socioeconômico; (b) gestão do empreendimento; (c) qualidade do solo e da água; (d) manejo dos sistemas de produção (e) diversificação da paisagem (f) estado de conservação da vegetação nativa - apoio de técnicas de geoprocessamento - ampla aplicação em estabelecimentos rurais no estado de Minas Gerais.
DEA - <i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise envoltória de dados)	EMBRAPA UFF – Universidade Federal Fluminense	- abrangência de 5 dimensões: área, mão-de-obra, custo, receita bruta, área com mata - não considera a dimensão social - medida de eficiência de caráter comparativo (benchmark) - evidencia a relação output/input - ajustes nos coeficientes via método de restrições de pesos - modelos matemáticos não-paramétricos
MITEC - Método de Itinerário Fitotécnica	UFV Universidade Federal de Viçosa	- base da análise em sucessão lógica e ordenada de operações - foco tanto em culturas isoladas quanto em consórcios e ainda em situações de sucessão de espécies tanto animais quanto vegetais - propõe a construção de cenários com base em tipificações geradas na análise.
(ISr) - Índice Relativo de Sustentabilidade	PNUD/ONU (1998)	

Quadro 6. Métodos de avaliação da sustentabilidade agrícola (COSTA, 2010; ALBUQUERQUE, 2012; ALTIERI E NICHOLLS, 1999; FERREIRA *et al.*, 2012; GOMES, 2009; SATTLER, 2012). Elaborado pelo autor.

ANEXO 2

Política	Estratégia/ Natureza	Instituições envolvidas	Detalhamento	OBS
PMFS – Regulamentações para Planos de Manejo Florestal Sustentado	Normatização da exploração sustentada de espécies nativas	Legislativos estaduais e órgãos estaduais Ibama SFB – Serviço Florestal Brasileiro	Regulamentação pelos órgãos florestais no nível dos estados da federação	Complexidade dos Procedimentos Falta de Informações Básicas, escritórios Centralizados em Capitais, demora na Conclusão dos Processos, vários os procedimentos técnico-científicos necessários para a exige documentos de posse da terra, mapa georreferenciado do imóvel
PNATER	Política Nacional	MDA Empresas de ATER nos estados.	Orientação agroecológica Construção participativa	<ul style="list-style-type: none"> • Forte enfoque social na proposta • Foco difuso na promoção da sustentabilidade física • Resistência dos técnicos extensionistas, principalmente no sul/sudeste (Miccolis <i>et al.</i>, 2011)
FNMA	Editais temáticos		<ul style="list-style-type: none"> • Demandas espontânea e induzida • Núcleo Temático Água e Floresta • Editais de apoio a projetos de desenvolvimento voltado ao PRONAF Floresta 	<ul style="list-style-type: none"> • a partir da criação do PD/A-MMA assumiu caráter voltado à ações conservacionistas
PD/A – Projetos Demonstrativos tipo A	Redes de pesquisa	MMA PPG7	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de 1996 • Apoio a redes de integração tecnológica • Forte articulação como terceiro setor e com base produtiva familiar 	Programa foi extinto em 2009
EMBRAPA	Pesquisa	Projetos isolados nas unidades Parceria como ICRAF em transferências na Amazônia (confirmar se ainda tem) – curso RETAF	<p>Parceria como ICRAF em transferências na Amazônia</p> <p>Curso RETAF</p> <p>Projeto RECA</p>	Foco na Amazônia, recentemente outros centros

PRONAF Floresta	Crédito	Secretaria de Agricultura Familiar /MDA Programa Nacional de Florestas (MMA)	Exóticas, nativas ou SAF Editais de apoio a projetos via FNMA	<ul style="list-style-type: none"> • Dificil aprovação de projeto de SAF por falta de modelagem para aprovação econômica e desinformação nas agências financeiras • Maioria dos projetos de reposição com eucalipto (2008) • Segundo Miccolis, 2011, 16 milhões para agroecologia e florestas em 2010. (citando MDA 2011b)
PRONAF ECO	Crédito	BNDES	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores familiares do Pronaf, Implantar, utilizar e/ou recuperar: <ul style="list-style-type: none"> - tecnologias de energia renovável, -tecnologias ambientais estruturais • Pequenos aproveitamentos hidroenergéticos; <ul style="list-style-type: none"> - silvicultura, entendendo-se por silvicultura o ato de implantar ou manter povoamentos florestais geradores de diferentes produtos, madeireiros e não madeireiros; - adoção de práticas conservacionistas e de correção da acidez e fertilidade do solo, visando à sua recuperação e ao melhoramento da capacidade produtiva. 	Boas condições de juros e prazos
LEI ESTADUAL CHICO MENDES (Lei n. 1277)	Subsídios para regulação da competitividade	ESTADO DO ACRE	Subsídios buscam regular preços da borracha nacional Remuneração: acréscimo de R\$ 0,70 por quilo de borracha in natura	<p>Marco regulatório apropriado</p> <p>Suporte governamental</p> <p>Dispositivo legal incentiva obrigatoriedade de associativismo</p> <p>Dados registrados indicam incremento considerável da extração e lucros do extrator.</p>

PAA Programa de Aquisição de Alimentos	Garantia de compra governamental	MDS MDA	Produtos da agricultura familiar voltados ao abastecimento de programas de segurança alimentar ou estoques governamentais Produtor deve enquadrar-se nas exigências do PRONAF ou ao PAA	Comprovadamente eficaz do desenvolvimento econômico dos produtores envolvidos
PNAE (2009) Programa Nacional de Alimentação Escolar	Garantia de compra governamental	MEC	Mínimo de 30% do orçamento da merenda escolar da produção familiar. (MDA 2011 citado por MICCOLIS <i>et al</i> , 2011)	Impacto direto no desenvolvimento de SAF
PROINF Programa Nacional de Infra-Estrutura	Apoio à comercialização	Ações da Secretaria de Desenvolvimento Territorial – SDT/MDA Gerência de Negócios e Comércio	Programas de desenvolvimento regional sustentável	
Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional	Segurança Alimentar	Secretaria Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - SESAN/MDS	Projetos de apoio ao desenvolvimento de populações em risco	Decreto 5.079, de 12 de maio de 2004 Agricultura Familiar: agroecologia, sistemas agroflorestais e extrativistas, desenvolvimento endógeno
CT – HIDRO	Pesquisa	MCT CNPq	Editais CNPq / Finep	Editais temáticos
CT - AMAZONIA	Pesquisa	MCT CNPq	Editais CNPq / Finep	Editais temáticos
PROMESO Programa de Promoção da Sustentabilidade de Espaços Sub-regionais	Apoio à Comercialização	Ministério da Integração Nacional	Apoia projetos voltados à comercialização de produtos regionais Ações em Arranjos Produtivos Locais (APL)	
PETROBRAS AMBIENTAL	Apoio integral	PETROBRÁS	Chamadas para projetos sócio-ambientais	

SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação	Ampla suporte a atividades produtivas	Ministério do Meio Ambiente	Apoio a comunidades tradicionais: Créditos à juros baixos; carência; Regularização Fundiária e Assistência Técnica; Vantagens comerciais frente à origem (produtos da biodiversidade)	
PROAMBIENTE	Pagamento por Serviços Ambientais	MMA MDA	ARTICULAÇÃO COMUNITÁRIA PSA	Dificuldades de articulação Poucas ações implementadas

Quadro 7. Políticas e programas/estratégias com possíveis interfaces com o desenvolvimento de sistemas agroflorestais (MICCOLIS, 2011; DEITENBACH, 2008; sites: BNDES, MDS, MDA, CNPq). Elaborado pelo autor.

**ANEXO 3 - LISTA DOS PARTICIPANTES DA OFICINA DE PESQUISA – VII CBSAF
(Luziânia-GO)**

Integrante	Instituição/Atuação	Contato
Moacir José Sales Medrado	CNPF - Embrapa	medrado@cnpf.embrapa.br mismedrada@gmail.com
Edson Bolfe	CPATC - Embrapa	bolfe@cpatc.embrapa.br
Luciano L. Eichholz	ISA – Instituto Sósioambiental	luciano@socioambiental.org
Maurício Rigon Hoffmam Moura	Consultor	florestaecompanhia@yahoo.com.br
Zefa Valdivina Pereira	UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados – MS	zefapereira@ufgd.edu.br
André Luis Zanela Monte	CNPq	azanela@cnpq.br
Tatiane de Jesus Incra/Embrapa Meio Ambiente	Incra/Embrapa Meio Ambiente	golumgolum5@yahoo.com.br tatianeolga@hotmail.com
Luciano Araujo Pereira	IEPA -AP	luciano.araujo@iepa.ap.gov.br
Milton Parron Padovan	CPAO - Embrapa	padovan@cpao.embrapa.br
Fernando Goulart	UNB	goulart.ff@gmail.com
Felipe Pinheiro	Estudante	felipepinheiro@hotmail.com
Carlos Henrique Checoli	Consultor	ameo.brasil1@gmail.com
Renato Ribeiro Mendes	Consultor Atuação no MT	renatofloresta@hotmail.com
Daniel Vieira	Cenargen - Embrapa	dvieira@cenargen.embrapa.br
Edmar Siqueira	CPATC - Embrapa	edmar@cpatc.embrapa.br
Allison Kovaleski	Consultor	apkpvaesk@gmail.com
Luiz Otávio Ramos	Embrapa Meio Ambiente	ramoslo@ig.com.br
Clovis J.F. Oliveira	Instituto de Botânica/SMA/SP	gaiajardineiro@terra.com.br clovisc2@yahoo.com.br
Rodrigo Campos	Produtor	rodrigo@fazendasaoluiz.com
João Benedetti	Consultor	bioplanetario@yahoo.com.br
Milton Eichholz	Consultor	miltongesda@usp.com.br
Joel Donazzola	UTFPR	joel@utfpr.edu.br

BIBLIOGRAFIA

- 1 ALMEIDA, L.T. **Economia verde: a reiteração de ideias à espera de ações.** Estudos Avançados. São Paulo, v. 26, n. 74, 2012.
- 2 ALBUQUERQUE, T. C. **Análise emergética de um sistema agroflorestal: Sítio Catavento, Indaiatuba, SP.** 2012. Tese (Doutorado e Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 3 ALTIERI, M. A. **El "estado del arte" de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina.** In: CADENAS MARÍN, A. (ed.). Agricultura y desarrollo sostenible. Madrid: MAPA, 1995. p.151-203.
- 4 ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales.** Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, Costa Rica, v. 64, p. 17-24, 2002.
- 5 AMADOR, D.B.; VIANA, V.M. **Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais.** SÉRIE TÉCNICA IPEF, v. 12, n. 32, p. 105-110, 1998.
- 6 AMAZONAS, M. C. **Valor ambiental em uma perspectiva heterodoxa institucional-ecológica: an institutional-ecological heterodox perspective.** Econ. soc., Campinas, v. 18, n. 1, 2009.
- 7 AMAZONAS, M. C. **Valor e meio ambiente : elementos para uma abordagem evolucionista.** 2001. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 8 ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. **Agricultura e Sustentabilidade – Contexto, desafios e cenários.** Ciência e Ambiente, n. 29, p. 15-30, 2004.
- 9 ASTIER, M. **La evaluación de la sustentabilidade em los sistemas de manejo: el proyecto Mesmis.** In: CANUTO, J.C. & COSTABEBER, J.A. Agroecología: Conquistando a soberania alimentar. Porto Alegre, Emater/RS-Ascar; Pelotas, Embrapa Clima Temperado, p. 235-241, 2004.
- 10 AZEVEDO, R. A. B. **A sustentabilidade da agricultura e os conceitos de sustentabilidade estrutural e conjuntural.** Revista Agr Trop, Cuiabá, n. 1, 2002.
- 11 BAGGIO, A. J.; SOARES, A. de O.; MASCHIO, W. **O Estrato Arbóreo nos Sistemas Agroflorestais – um Estudo de Caso e Perspectivas do Mercado para Espécies Nativas.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.
- 12 BENE, J. G., BEALL, H. W., COTE, A. **Trees, Food and People: Land Management in the Tropics.** Ottawa: IDRC, 1977.
- 13 BENSIN, B. M. **Agroecological characteristics description and classification of the local corn varieties chorotypes.** Praga, 1928.

- 14 BOFF, L. **Crítica ao modelo padrão de sustentabilidade**. 2012. Disponível em <<http://leonardoboff.wordpress.com/2012/01/29/critica-ao-modelo-padrao-de-sustentabilidade/>>. Acesso em 15 de outubro de 2013.
- 15 BOLFE, E.L.; FERREIRA, M. C.; BATISTELLA, M. **Biomassa Epígea e Estoque de Carbono de Agroflorestas em Tomé-Açu, PA**. Rev. Bras. De Agroecologia, v. 4, n. 2, 2009.
- 16 BOULDING, K.E. **Economic Analysis**, Harper & Row, New York, NY, 1941.
- 17 BRANDENBURG, A. **Movimento Agroecológico: trajetória, contradições e perspectivas**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 6, p.11-28, 2002.
- 18 BRILLOUIN, L. **Science and Information Theory**, Academic Press, New York, NY, 1956.
- 19 CAMAZINE, S. *et.al.* **Self-organization in Biological Systems**. Princeton University Press, Princeton-NJ, 2003.
- 20 CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Transição agroecológica: do produtivismo à ecologização**. In: Agroecologia e extensão rural: contribuições para promoção do desenvolvimento rural sustentável. Brasília:MDA, 2004.
- 21 CAPRA, F. **Uma exploração dos paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental**. In: O Tao da Física. Editora Cultrix, São Paulo, SP, 1985.
- 22 CAPRA, F. **O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente**. 25. ed. São Paulo: Cultrix, 1982.
- 23 CARVALHO, F. **Da ecologia geral à ecologia humana**. Forum Sociológico, v. 17, p. 127–135, 2007.
- 24 CASADO, G. G.; SEVILLA-GUZMÁN, E.; MOLINA, M. G. **Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible**. Madri: Mundi-Pressa, 2000.
- 25 CASALINHO, H.D. & MARTINS, S.R. **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade em agroecossistemas: avaliações integrando os conhecimentos acadêmicos e não-acadêmicos**. In: CANUTO, J.C. & COSTABEBER, J.A. Agroecologia: Conquistando a soberania alimentar. Porto Alegre, Emater/RS-Ascar; Pelotas, Embrapa Clima Temperado, p.212-225, 2004.
- 26 CAVALCANTI, C. **Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental**. Estudos avançados. São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.
- 27 CESAR, K. G. **O Homem e o Mito: Nicholas Georgescu-Roegen (1906-94)**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 15, 2010.

- 28 CHRISTOFFOLI, P.I. **Certificação participativa de produtores agroecológicos dos assentamentos da reforma agrária do território da cidadania Cantuquiriguaçu.** Relatório Técnico Final, CNPq, 2012.
- 29 CLAUSIUS, R. **Annalen der Physik und Chemie.** Alemanha, v. 125, n. 7, p. 353–400, 1865.
- 30 CMMAD - **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Nosso futuro comum. Rio de Janeiro, RJ: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- 31 COPIJN, A. N. **Agrossilvicultura sustentada por sistemas agrícolas ecologicamente eficientes.** Projeto Tecnologias Alternativas/FASE, Rio de Janeiro, 1988.
- 32 COSTA, A. A. V. M. R. **Agricultura sustentável II: Avaliação.** Rev. de Ciências Agrárias, Lisboa, v. 33, n. 2, dez. 2010.
- 33 DAL SOGLIO, F. K. **Como avançar a agricultura ecológica para além da substituição de insumos.** In: CANUTO, J.C. & COSTABEBER, J.A. **Agroecologia: Conquistando a soberania alimentar.** Porto Alegre, Emater/RS-Ascar; Pelotas, Embrapa Clima Temperado, p. 181-191, 2004.
- 34 DEITENBACH, A. **Políticas Públicas para Sistemas Agroflorestais na Mata Atlântica.** In: MAY, P. H.; TROVATTO, C. M. Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica, Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.
- 35 DEL MORAL, R.; WALKER, L. R.; BAKER, J. P. **Insights gained from succession for the restoration of landscape structure and function.** In: WALKER, L. R.; WALKER, J.; HOBBS, R. J. (Eds.). Linking restoration and ecological succession. New York: Springer, 2007.
- 36 DEPONTI, Cidonea M. e ALMEIDA, J. **Indicadores para a avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local.** In: Anais do VI Congresso da Associação Latino-americana de Sociologia Rural (ALASRU), Porto Alegre, novembro de 2002.
- 37 DI CORPO, U. **Life Energy, Syntropy, Complementarity and Resonance.** Syntropy, v.2, p. 4-38, 2013.
- 38 DOVERS, S.R., HANDMER, J.W. **Contradictions in sustainability.** Environmental Conservation, Switzerland, v.20, n.3, p.217-222, 1993.
- 39 DRUMMOND, J. A. **A história ambiental: temas, fontes e linhas de pesquisa.** Revista Estudos Históricos, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 171-197, 1991.
- 40 DUBOIS, J. C. L. (org.) - **Manual Agroflorestal para a Amazônia.** Rio de Janeiro, REBRAAF / Fundação Ford, 2ª ed 1998.

- 41 EMBRAPA. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília, DF, 2006.
- 42 FAO. **Advancing Agroforestry on the Policy Agenda: A guide for decision-makers**, Agroforestry Working Paper n. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome. 2013.
- 43 FELICÔNIO, A. E. G. **Certificação de sistemas de produção não convencionais da agricultura orgânica à agroecologia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Agrário) - UFRRJ,CPDA, Rio de Janeiro.
- 44 FERREIRA, J. M. L.; VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M. da; SOUSA, D. V. de; FONTES, A. A. **Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 33, n. 271, p. 12-25, nov./dez. 2012.
- 45 FIGUEIREDO, M. A. B.; LIMA, J. R. T. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. In: LIMA, J. R. T. de e FIGUEIREDO, M. A. B. (Editores). Extensão Rural, desafios de novos tempos: Agroecologia e Sustentabilidade. Recife, PE: Bagaço, cap. 02, p. 29-46, 2006.
- 46 FLORIANI, G. S.; VIVAN, J. L.; VINHA, V. **Diagnóstico e Monitoramento na Extensão Agroflorestal**. In: Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica. p. 97-126. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.
- 47 FOLADORI, G.; TAKS, J. **Um olhar antropológico sobre a questão ambiental**. Mana, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, 2004.
- 48 FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- 49 FULLER, R. B.; APPLEWHITE, E. J.; LOEB, A. L. **Synergetics: explorations in the geometry of thinking**. Nova York: Macmillan, v. 1, 1975.
- 50 GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1971.
- 51 GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- 52 GOLDMAN, A. **Threats to Sustainability in African Agriculture: searching for appropriate paradigms**. Human Ecology, New York, v.25, n.3, p.291-334, 1995.
- 53 GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; MANGABEIRA, J. A. C. **Estudo da sustentabilidade agrícola em município amazônico com análise envoltória de dados**. Pesqui. Oper., Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, 2009.
- 54 GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995.

- 55 GÖTSCH, E. **Natural succession of species in agroforestry and soil recovery.** Fazenda Três Colinas Agrosilvicultura Ltda, Pirai do Norte, Bahia, 1992 Disponível em <http://media0.agrofloresta.net/static/artigos/agroforestry_1992_gotsch.pdf>. Acesso em 05/05/2013.
- 56 GÖTSCH, E. **Homem e Natureza - cultura na agricultura.** - 2.ed. - Recife: Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, 1997.
- 57 GRIMM, N.B. **Disturbance, succession, and ecosystem processes in streams: a case study from the desert.** In P.S. Giller, A.G. Hildrew, and D.G. Raffaelli, editors. Aquatic ecology: scale, pattern and process. Joint Symposium of the British Ecological Society and the American Society of Limnology and Oceanography. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England, p. 93-112, 1994.
- 58 GUIMARÃES, A. O. **Redução dos desequilíbrios regionais: uma agenda para o Centro-Oeste.** Série: Desigualdade Regional e as Políticas Públicas – Relação da Pesquisa na Universidade e o Setor Produtivo (org: Arthur Zimmerman). Universidade Federal do ABC, p. 89, 2013.
- 59 GUIMARÃES, R. **A ética da sustentabilidade e a formulação de políticas de desenvolvimento.** In: VIANA, G. et al. (Org.) O desafio da sustentabilidade. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2001.
- 60 GUIMARÃES, R. **Desafios da pós-graduação em saúde humana no Brasil.** Revista de Saúde Pública, 45(1), p.1-13, 2011.
- 61 GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. **Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade.** In: Ambiente e Sociedade, Campinas: v. XII, n. 2, 2009
- 62 HARRIS, L. D.;HOCTOR, S. T.; GERGEL, S. E. **Landscape processes and their significance to biodiversity conservation.** In: Rhodes, O.E.; Chesser, R.K.; Smith, M.H. Population dynamics in ecological space and time. University of Chicago Press, Chicago. 1996.
- 63 HART, R. D. **A natural ecosystem analog approach to the design of a successional crop system for tropical forest environments.** Biotropical 2 (Supplement, Tropical succession), p. 73 - 83, 1980.
- 64 HAWKING, S. **Uma breve história do tempo – do Big Bang aos buracos negros.** Rio de Janeiro: Rocco, 1988.
- 65 HERCOWITZ, M.; MATTOS, L.; SOUZA, R. P. **Estudos de casos sobre serviços ambientais.** In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Ed. Téc.). Economia do meio ambiente e serviços ambientais: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 163 – 280, 2011.

- 66 HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. **Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira**. Acta Amazonica, V.28, n.2, p.153-165, 1998.
- 67 HOFFMANN, M. R. M. **Sistemas agroflorestais para agricultura familiar: análise econômica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.
- 68 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Summary for Policymakers**. In: SOLOMON, S. et al. (Eds.). climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- 69 JOHNSON, E.A; MIYANISHI, C. K. **Disturbance and Succession**. In Plant Disturbance Ecology: The process and the Response, Amsterdam; Boston: Elsevier/AP, p. 1–14, 2007.
- 70 JUNG, C. G. **Sincronicidade**. Vozes, Petrópolis, RJ, 1997.
- 71 KAUWENBERGH, S. V. **World Phosphate Rock Reserves and Resources**, IFDC Technical Bulletin 75. International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA, 2010.
- 72 KLAGES, H. K. **Crop Ecology and Ecological Crop Geography in the Agronomic Curriculum**. Agronomy Journal, v. 20 p. 336-353, 1928.
- 73 LEFF, E. **Pensar a Complexidade Ambiental**. In: LEFF, Enrique (coord.), A Complexidade Ambiental. São Paulo, SP: Cortez, 2003.
- 74 LEFF, E. **Saber ambiental - Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Ed. Vozes, PNUMA, Petrópolis, RJ, 2001.
- 75 MAHULIKAR, S.P.; HERWIG, H. **Fluid friction in incompressible laminar convection: Reynolds' analogy revisited for variable fluid properties**. European Physical Journal B: Condensed Matter & Complex Systems, v.62, n. 1, p. 77-86, 2008.
- 76 MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. - São Paulo : Atlas 2003.
- 77 MARGALEF, R. **On certain unifying principles in ecology**. American Naturalist, v. 97, p. 357-374, 1963.
- 78 MARTÍNEZ-ALIER, J.; JUSMET, R.J. **Economía ecológica y política ambiental**. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica; PNUMA, 2000.
- 79 MARTINS, S. R. **Sustentabilidade na agricultura: dimensões econômicas, sociais e ambientais**. In Agricultura, Ambiente e Sustentabilidade, seus limites para a América Latina. Editora UFP, 2001.

- 80 MARZALL, K; ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas.** Versão preliminar. Seminário internacional sobre potencialidades e limites do desenvolvimento. UFSM. Santa Maria, RS. 1999.
- 81 MATTOS, L.; MADI, M. A. C.; HERCOWITZ, M. **Macroeconomia e estratégias de desenvolvimento.** In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Ed. Téc.). Economia do meio ambiente e serviços ambientais: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 31 –50, 2011.
- 82 MATTOS, L.; ROMEIRO, A. R.; HERCOWITZ, M. **Economia do meio ambiente.** In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Ed. Téc.). Economia do meio ambiente e serviços ambientais: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 51 – 100, 2011.
- 83 MATTOS, L.; SILVA, A. L. G. S.; HERCOWITZ, M. **Microeconomia: A lógica na formação de preços e as imperfeições dos mercados.** In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Ed. Téc.). Economia do meio ambiente e serviços ambientais: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 15 – 30, 2011.
- 84 MEADOWS, D.; MEADOWS, D. **The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind.** New York, Universe Books, 1972.
- 85 MEBRATU, D. **Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review.** Environmental Impact Assessment Review, Amsterdam, v.18, 1998.
- 86 MICCOLIS, A. *et al.* **Políticas públicas e Sistemas Agroflorestais: lições aprendidas a partir de cinco estudos de caso no Brasil.** In: PORRO, R.; MICCOLIS, A (organizadores). Políticas Públicas para o Desenvolvimento Agroflorestal no Brasil. ICRAF, Belém, Brasil, p 1-26, 2011.
- 87 MOLLISON, B.; HOLMGREN, D. **Permacultura um.** Rio de Janeiro, Ed Ground, 1979.
- 88 MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. **Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems.** Agroforestry Systems, v. 61, p.281-295, 2004.
- 89 MORÁN, E. F. **A ecologia humana das populações da Amazônia.** (Coleção Ecologia e ecosofia) Petrópolis, Editora Vozes, 1990.

- 90 NIZA, C. F. **Economia da felicidade e política social: contributos da ciência comportamental para orientação da acção pública com vista ao desenvolvimento humano.** 2007. Dissertação (Mestrado Economia e Política Social) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Economia e Gestão.
- 91 NODARI, R. O. **Pertinência da Ciência Precaucionária na identificação dos riscos associados aos produtos das novas tecnologias.** Disponível em http://www.ghente.org/etica/principio_da_precaucao.pdf Acessado em 03/09/2013.
- 92 NORGAARD, R. B. **Deliberative Economics.** Ecological Economics, v.63, p 2-3, 2007.
- 93 NOWOTNY, K.; NOWOTNY, M. P. **Agrossilvicultura baseada na dinâmica e na biodiversidade da Mata Atlântica.** Alternativa – Caderno de Agroecologia, v.2, p.11-20, 1993.
- 94 NUSSENVEIG, H.M. **Ótica, Relatividade e Física Quântica.** In: Curso de Física Básica, Edgard Blücher, São Paulo, SP, 1998.
- 95 NWANZE, K.F., S. MOHAPATRA Y P.J. KOUKA. **In search of the right solution for Africa's development.** En NABC 16. Agricultural Biotechnology: Finding Common International Goals. Informe de la 16a reunión del Consejo Nacional de Biotecnología Agrícola, 13 a 15 de junio de 2004, Guelph (Canadá), 2004 NABC, p. 29-48, 2005.
- 96 ODUM, E. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.
- 97 ODUM, E. P. e THOMSON, G.W.B. **Fundamentos de Ecologia.** São Paulo, 2007.
- 98 ODUM, E.P. **Fundamentos da ecologia.** 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1976.
- 99 ODUM, H.T. **Energetics of food production.** In: The World Food Problem, Report of the President's Science Advisory Committee, Panel on World Food Supply, v. 3. The Whitehouse. 1967.
- 100 PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso.** 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, SP.
- 101 PEREIRA, L. G. **Síntese dos métodos de pegada ecológica e análise emergética para diagnóstico da sustentabilidade de países: o Brasil como estudo de caso.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 102 PEREZ, C. **Technological revolutions and techno-economic paradigms.** Cambridge Journal of Economics, Cambridge, v. 34, n.1,2009.

- 103 PINHO, R.Z. **MOVIMENTO MUTIRÃO AGROFLORESTAL: Trajetória do Grupo, o Processo de Formação em Agrofloresta, suas Contribuições e Impactos.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 104 POLLMAN, G. M. **Indicadores de sustentabilidade na prática agroflorestal: um estudo de caso no sítio São José, Sertão de Taquari, município de Paraty – RJ.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica/RJ, 2008.
- 105 POSEY, D. A. **Manejo da Floresta secundária, capoeiras, campos e cerrados (Kayapó).** In: Suma Etnológica Brasileira. Darci Ribeiro (ed). Petrópolis: Finep-Vozes. 173-188, 1986.
- 106 PRACH, K. *et al.* **Manipulation of succession.** In: WALKER, L. R.; WALKER, J.; HOBBS, R. J. (Ed.). **Linking restoration and ecological succession.** New York: Springer, p.121-149, 2007.
- 107 RAPPAPORT, R. **The flow of energy in an agricultural society.** Scientific American, v. 225, n. 3, p. 117 – 132, 1971.
- 108 REES, W. E. **The Eco-Footprint of Agriculture: A Far-from-(Thermodynamic)-Equilibrium Interpretation.** In Agricultural Biotechnology: Finding Common International Goals, A. Eaglesham (ed.). National Agricultural Biotechnology Council (NABC) Report No. 16. Ithaca (New York): National Agricultural Biotechnology Council. p. 87-109, 2004.
- 109 RICHARDS, A. **Land, Labour, and Diet in Northern Rhodesia: and economic study of the Bemba tribe.** Oxford: Oxford University Press, 1939.
- 110 ROCHA, E.J.P.L. **Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruta d’Anta/MG: Pontenciais e limitações para a transição agroecológica.** 2006. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.
- 111 RYAN, J.; IBRIKCI, H.; DELGADO, A.; TORRENT, J.; SOMMER, R.; RASHID, A. **Significance of Phosphorus for Agriculture and the Environment in the West Asia and North Africa Region.** In Donald Sparks, editor: *Advances in Agronomy*, Burlington: Academic Press, v. 114, 2012.
- 112 SACHS, I. **Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado.** Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- 113 SACHS, I. **Ecodesenvolvimento crescer sem destruir.** Terra dos Homens. 1ª ed. São Paulo: Editora Vértice, 1986.

- 114 SÁENS, T.W.; SOUZA PAULA, M.C. **Innovación tecnológica y sustentabilidad** In: BEJERANO, R.F. (coord.). *Gestión de la innovación actualizada para el contexto iberoamericano*. Habana: Editorial Academia, 2006.
- 115 SATTLER, M. A. **Sustentabilidade de sistemas agroflorestais na Região do Caparaó - ES**. 2013. Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ.
- 116 SILVEIRA, N.D. **Indicadores de sustentabilidade ambiental em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, curso de Engenharia Florestal, 2003.
- 117 SIMÓN FERNÁNDEZ, X. **A sustentabilidade nos modelos de desenvolvimento rural. Uma análise aplicada de agroecossistemas**. 1995. Tese (Doutorado em Economia) - Departamento de Economia Aplicada, Universidade de Vigo, Espanha.
- 118 SIMÓN FERNÁNDEZ, X. **El análisis de sistemas agrarios: una aportación económico-ecológica a una realidad compleja**. *Historia Agraria*, n.19, p.115-136, 1999.
- 119 STEENBOCK, W. *et.al.* **Agrofloresta, ecologia e sociedade**. Curitiba: Kairós, 2013a.
- 120 STEENBOCK, W. *et.al.* **Avaliação da dinâmica do carbono em agroflorestas desenvolvidas por agricultores associados à Cooperafloresta**. In: *Agrofloresta, ecologia e sociedade*, p 345-362. Curitiba: Kairós, 2013.
- 121 STEENBOCK, W. *et.al.* **Características estruturais das agroflorestas desenvolvidas no âmbito da cooperafloresta**. In: *Agrofloresta, ecologia e sociedade*, p 321-344. Curitiba: Kairós, 2013.
- 122 STEENBOCK, W. *et.al.* **Geração e uso de indicadores de monitoramento de agroflorestas por agricultores associados à Cooperafloresta**. In: *Agrofloresta, ecologia e sociedade*, p 305-320. Curitiba: Kairós, 2013.
- 123 STEINER, R. **Curso sobre agricultura biodinâmica**. Madrid: Ed. Rudolf Steiner, 1988, 282p.
- 124 STIGLITZ, J.E., SEN, A. FITOUSSI, J.P. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress**. The Commission: Paris, 2009 Disponível em <<http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/en/index.htm>>. Acesso em 10/10/2013.
- 125 STOKES, Donald. **Pasteur's quadrant**. Washington DC: Brookings Institution Press. 1997.
- 126 SZENT-GYÖRGYI, A. **Drive in Living Matter to Perfect Itself**. *Synthesis* 1, v. 1, n.1, p. 14-26, 1977.

- 127 TEIXEIRA, O.A.; LAGES, V.N. **Do produtivismo à construção da agricultura sustentável: duas abordagens pertinentes à questão.** Cadernos de Ciência e Tecnologia, v.13, n.3, p.347-368, 1996.
- 128 VANDERMEER, J. **The Ecological Basis of Alternative Agriculture.** Annual Review of Ecology and Systematic, v. 26, p. 201-224, 1995.
- 129 VANNINI, A. **What is Syntropy?** Mind Syntropy, 2008.
- 130 VAZ DA SILVA, P. P. **Viagem por Minas Gerais com Ernst Götsch, 2007.** Disponível em <http://www.agrofloresta.net/static/artigos/viagem_por_mg_com_ernst_gotsch.pdf> Acesso em 20/08/2013.
- 131 VAZ DA SILVA, P. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP.** 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- 132 VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI.** Rio de Janeiro: Garamond, 3ª ed, 2008.
- 133 VEIGA, J. E. **Indicadores de sustentabilidade.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.
- 134 VIVAN, J. L. **O PAPEL DOSSISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA USOS SUSTENTÁVEIS DA TERRA E POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS Relatório Síntese e Estudos de Caso.** Estudos PDA, n. 1, 2010.
- 135 WALI, M. K. **Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems.** Plant and Soil vol. 213, n 1-2, p. 195–220, 1999.
- 136 WALKER, L.R. **Margalef y la sucesión ecológica.** Ecosistemas. v. 14, n. 1, 2005.
- 137 WEID, J.M.; ALTIERI M. A. **Perspectivas do manejo de recursos naturais com base agroecológica para agricultores de baixa renda no século XXI.** In: Paralelo 15. Inovação nas tradições da agricultura familiar. Brasília, DF, cap. 16, p. 229-248, 2002.
- 138 WEZEL, A. *et al.* **Agroecology as a science, a movement and a practice: a review.** Agronomy for Sustainable Development. Inra, EDP Sciences, 2009.
- 139 WILHELM, R. **I Ching: O livro das mutações.** 9 ed. São Paulo, Brasil: Pensamento, 1982.
- 140 ZANETTI, E. **Mudanças climáticas globais florestas e mercado de carbono,** 2012. Disponível em <<http://www.pnbsae.com.br/portal/images/publicacoes/mcg.pdf>>. Acesso em 10/06/2013.