



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Programa de Pós-Graduação em Filosofia
Curso de Mestrado em Filosofia

**Nos Trilhos da Inovação: Uma Contribuição Filosófica para a
Consolidação de um Modelo para a Evolução Tecnológica**

Marcos Toscano Siebra Brito

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Abrantes

Brasília/DF – 2009



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Programa de Pós-Graduação em Filosofia
Curso de Mestrado em Filosofia

Nos Trilhos da Inovação: Uma Contribuição Filosófica para a Consolidação de um Modelo para a Evolução Tecnológica

Dissertação elaborada como
cumprimento de parte dos requisitos para
a obtenção do grau de Mestre em
Filosofia pela Universidade de Brasília

Marcos Toscano Siebra Brito

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Abrantes

Brasília/DF – 2009

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alberto Oscar Cupani (UFSC)

Prof. Dr. Renato Peixoto Dagnino (UNICAMP)

Prof. Dr. PAULO ABRANTES (UNB)
(*Orientador*)

Brasília/DF – 2009

AGRADECIMENTOS

Sempre achei curiosas e engraçadas as longas seções de agradecimentos em livros e teses, especialmente aquelas apinhadas de nomes. Hoje sei que grandes esforços de pesquisa exigem a participação de colaboradores fiéis para que cheguem a algum resultado.

A primeira pessoa a quem devo agradecer é, indubitavelmente, o meu zeloso orientador, o professor Paulo Abrantes. Cioso ao extremo com cada detalhe deste trabalho, soube como guiar este estudante afoito pelas intrincadas veredas da filosofia, da biologia e da tecnologia. Se fui capaz de elaborar um estudo de algum valor, foi por força de seu aconselhamento e de sua eterna paciência.

Sou devedor dos meus colegas do Mestrado em Filosofia da UnB, mais ainda dos que compõem o grupo Filosofia e Biologia, como Juliana Orione, Luiz Carlos, Felipe Lazzieri e tantos outros. A um colega de fora da UnB, que tive a felicidade de conhecer no último encontro da ANPOF, devo agradecimentos especiais: Gustavo Leal, que comigo compartilhou as angústias e felicidades da redação de um trabalho acadêmico.

Agradeço aos amigos que ouviram atentamente, por muitas vezes, a explicação de meu tema de pesquisa. O fato de passarem da incredulidade ao reconhecimento da fertilidade de minha argumentação foi um incentivo imprescindível. Entre os mais cooperativos, cito Rafael Dubeux, João Paulo, Victor Epitácio, Rodrigo Zerbone, Everardo Sampaio e Luciano Sampaio.

Se não fossem os estímulos de meus pais, nunca teria chegado aqui. Lembro que minha mãe sempre me pede com carinho para não parar nunca de estudar. A eles também devo profundos agradecimentos.

Por fim, tenho de agradecer a uma pessoa que esteve em todos os momentos ao meu lado, que me deu suporte e agüentou comigo as restrições que o Mestrado me impôs. Sem ela, tudo seria menos significativo. Agradeço a Lara e para ela dedico esta dissertação.

“We were making the future, he said, and hardly any of us troubled to think what future we were making”. - **H. G. Wells**

“We have also arranged things so that almost no one understands science and technology. This is a prescription for disaster. We might get away with it for a while, but sooner or later this combustible mixture of ignorance and power is going to blow up in our faces”. - **Carl Sagan**

RESUMO

Este trabalho dedica-se ao estudo de um modelo analógico articulado e coerente para a compreensão da dinâmica tecnológica, chamado de *modelo de evolução tecnológica*. Trata-se de um modelo construído a partir de analogias (similaridades) entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica e que vem sendo estruturado e debatido por pesquisadores das mais diversas áreas, como filósofos, biólogos, historiadores da tecnologia, *designers* e economistas. Esta pesquisa compreende a análise e aperfeiçoamento das analogias básicas do modelo, a investigação da extensão e da natureza das desanalogias entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica e, por fim, um teste simples do modelo a partir de um estudo de caso. A dissertação começa tratando do papel dos modelos na investigação científica, das categorias de modelo e, mais especificamente, das características dos modelos analógicos. Aborda, então, a consistência das analogias mais fundamentais entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica, propondo o refinamento de alguns conceitos essenciais para o modelo de evolução tecnológica. Trata, em seguida, das desanalogias (dessemelhanças) que poderiam condenar ao fracasso a tentativa de estruturação do modelo ao afastá-lo fortemente das características da evolução biológica, sendo o cerne da discussão a investigação de possíveis características lamarckistas na evolução tecnológica. Termina, por fim, num estudo de caso, em que se aplica o modelo à trajetória das tecnologias ligados ao álcool-motor no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: EVOLUÇÃO. TECNOLOGIA. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA. DINÂMICA TECNOLÓGICA. CULTURA. DARWINISMO. LAMARCKISMO. MODELOS ANALÓGICOS. FILOSOFIA DA TECNOLOGIA.

ABSTRACT

This thesis describes the study of an articulated and coherent analogical model devoted to the comprehension of technological dynamics, the so called *model of technological evolution*. The model design, based on analogies (similarities) between technological dynamics and biological evolution, has been structured and debated by researchers of different areas, such as philosophers, biologists, technology historians, designers and economists. The study comprises the analysis and improvement of the model's basic analogies, the investigation of the nature and extension of dissimilarities between technological dynamics and biological evolution and, finally, a simple test of the model based on a case study. It begins dealing with the role models play in scientific investigation, distinguishing different kinds of model and, more specifically, making explicit the analogical models characteristics. It then focuses on the most fundamental analogies between technological dynamics and biological evolution, proposing the refinement of some of the essential concepts of a technological evolution model. This is followed by a discussion of dissimilarities (disanalogies) that could lead to failure any attempt to structure the model, if it strongly departs from biological evolution properties. The core of this discussion is the investigation of possible lamarckian features of any model for technological evolution. In the final part, the model is applied to the historical dynamics of technologies attached to fuel ethanol production in Brazil.

KEY WORDS: EVOLUTION. TECHNOLOGY. TECHNOLOGICAL EVOLUTION. TECHNOLOGICAL DYNAMICS. CULTURE. DARWINISM. LAMARCKISM. ANALOGICAL MODELS. PHILOSOPHY OF TECHNOLOGY.

ÍNDICE

Introdução	10
<i>Parte 1 – Estruturando um modelo evolutivo para a dinâmica tecnológica.....</i>	14
Capítulo 1 – Modelos.....	15
1.1. Apresentação do tema.....	15
1.2. Categorização de tipos de modelos	16
1.3. Breve histórico: modelos na filosofia da ciência contemporânea	16
1.4. O modelo de evolução tecnológica como modelo analógico	19
Capítulo 2 – A idéia de uma evolução tecnológica.....	22
2.1. Definindo tecnologia	22
2.2. A inovação tecnológica: desvendando suas causas e mecanismos.....	23
2.3. Um modelo para a evolução tecnológica.....	31
2.4 A evolução tecnológica: instanciação de algoritmo seletcionista ou construção modelo analógico?.....	45
Capítulo 3 – Desanalogias: explorando as fragilidades do modelo de evolução tecnológica	51
3.1. O germe e o soma: uma desanalogia fundamental	51
3.2. A evolução tecnológica à sombra de Lamarck.....	59
<i>Parte 2 – No labirinto dos motores: a evolução das tecnologias do álcool-motor</i>	89
Capítulo 1 – No labirinto dos motores: estudo de caso sobre as tecnologias do álcool-motor	90
1.1. Sistema de propulsão dos primeiros automóveis.....	91
1.2. O surgimento do álcool-motor no Brasil: idéias da República Velha	93
1.3. Vargas e a guerra: escassez, <i>lobbies</i> e leis.....	95
1.4. O Choque do Petróleo e a gestação do Pró-Álcool	97
1.5. O Pró-Álcool e suas fases	98
1.6. O retorno do álcool-motor: a tecnologia <i>flex-fuel</i> e o ambiente	101
1.7. Epílogo: o dispositivo Chambrin.....	102
Capítulo 2 – Variação.....	104
2.1. Principais técnicas e artefatos.....	104
2.2. Principais variantes.....	106
Capítulo 3 – Seleção.....	114
3.1. Unidades de pesquisa e unidades empresariais	114

3.2. Competições desportivas	114
3.3. Governo e tribunais	115
3.4. Mercado consumidor	115
3.5. A mente humana e os seletores internos.....	116
3.6 Fatores de seleção.....	116
Capítulo 4 – Replicação.....	121
Capítulo 5 – Conclusão do estudo de caso: a evolução das tecnologias do Álcool-Motor	124
Conclusão	125
Referências Bibliográficas	128

INTRODUÇÃO

A dinâmica tecnológica teve um papel marcante em todas as épocas históricas, sem exceção. Decerto que algumas, mais que outras, se notabilizaram por uma forte influência do fenômeno tecnológico nas formas de vida estabelecidas, com conseqüentes transformações sócio-econômicas radicais. Mesmo nos momentos em que a tecnologia não promoveu ou facilitou mudanças sócio-econômicas radicais, no entanto, a pesquisa histórica tem reconhecido sua relevância. É o caso da Idade Média, popularmente encarada como um período de estagnação do conhecimento e da técnica; hoje se sabe que à época surgiram inovações tecnológicas cruciais, boa parte delas referente à agricultura. Enfim, pode-se afirmar que a tecnologia é um fenômeno intrinsecamente ligado à história da humanidade, com considerável peso na organização social e econômica de uma era.

O tempo presente, entretanto, é diferente de todos os demais no que diz respeito à tecnologia. Não pretendo levantar a hipótese tão aventada de que as mudanças tecnológicas que hoje ocorrem são mais impactantes que as de outras épocas. Essa discussão me parece infrutífera, uma vez que é fortemente baseada em impressões históricas inexatas e sobremaneira subjetivas. Quero, na verdade, chamar atenção para um outro aspecto do fenômeno tecnológico na atualidade: é inegável que se assiste a um inédito e espetacular esforço inovativo intencional. Se em toda história a dinâmica tecnológica teve grande relevância sócio-econômica, nunca lhe foi dada tanta atenção como hoje. Está cada vez mais em voga uma obsessão pela mudança tecnológica, seja por parte de empresários que enxergam a inovação como o caminho mais rápido para o sucesso, de governos que não querem ver seus respectivos países ficarem “pra trás”, ou mesmo de consumidores que acompanham avidamente as novidades tecnológicas. Essa corrida tecnológica é, inclusive, quantificável: basta analisar o imenso número de pedidos de patente apresentados em todo o mundo, os volumosos orçamentos públicos e privados para pesquisa e desenvolvimento, os crescentes incentivos governamentais, o considerável número de produtos novos lançados pelas companhias e a ferocidade da competição comercial entre variações de uma mesma tecnologia.

Como todos os eventos realmente significativos, a exacerbação da corrida tecnológica tem atraído um número crescente de simpatizantes e adversários entre

políticos e público em geral. Mas a intensificação da preocupação para com as consequências da atividade inovativa é recente e ainda não se desdobrou na discussão em torno de mecanismos para seu direcionamento, de forma que a dinâmica tecnológica continua a seguir um padrão *natural*, isto é, consideravelmente livre de influências intencionais. Em outras palavras, o debate sobre a tecnologia ainda não passou a focar nas temáticas de compreensão e controle da dinâmica tecnológica. Até o final do século passado, de fato, não havia qualquer debate sólido sobre o assunto, com a exceção das discussões sobre tecnologia nuclear.

Mesmo com o crescimento do interesse pela tecnologia, é inegável que sempre se deu mais atenção ao desafio de se produzir *mais* tecnologia, do que à espinhosa tarefa de se definir *qual* tecnologia produzir e de *como* fazê-lo. Com efeito, o grosso dos estudos sobre inovação tecnológica tratam da quantidade e não da qualidade das inovações. O mesmo pode-se dizer das iniciativas estatais e empresariais. Aqui se encaixa perfeitamente, portanto, a citação de H.G. Wells que escolhi para uma das epígrafes deste trabalho: “Estávamos construindo o futuro, mas nenhum de nós se preocupou em imaginar que futuro estávamos construindo”. Nenhuma outra sentença me parece tão elucidativa quanto essa no que diz respeito ao desafio que a tecnologia apresenta para a contemporaneidade. Caso se decida simplesmente ignorá-lo, como se vem fazendo, o preço a pagar pode ser exorbitantemente alto; para ilustrar esse ponto, tomo a liberdade de recorrer à segunda epígrafe desta dissertação, citação do astrônomo e divulgador científico Carl Sagan: “Arranjamos as coisas de modo que quase ninguém entende a ciência e a tecnologia. É uma receita para o desastre. Podemos adiá-lo por algum tempo, mas cedo ou tarde essa mistura inflamável de ignorância e poder vai explodir em nossas faces”.

À primeira vista, a frase de Sagan parece ter um caráter excessivamente alarmista, quiçá sensacionalista. A verdade é que, exagerada ou não, a observação sustenta um ponto de vista inatacável: a tecnologia está se tornando algo de importância vital para a humanidade, mas não se estabeleceu ainda um conhecimento consideravelmente exato e difundido sobre suas características mais fundamentais. Como surgem e se estabelecem as novas tecnologias? Que fatores são responsáveis por seu sucesso? Porque alguns artefatos e técnicas prosperam e ganham maior complexidade, enquanto outros são descartados? Qual o papel dos inventores, dos

governos, das empresas e de outros atores na configuração da dinâmica tecnológica? Esta pesquisa busca justamente contribuir para o esclarecimento de questões como essas.

Durante dois anos e alguns meses, dediquei-me ao estudo de um modelo articulado e coerente para a compreensão da dinâmica tecnológica. Nas páginas que se seguem, esse modelo é chamado de *modelo de evolução tecnológica*. Trata-se de um modelo construído a partir das similaridades entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica e que vem sendo estruturado e debatido por pesquisadores das mais diversas áreas, como filósofos, biólogos, historiadores da tecnologia, *designers* e economistas. A interdisciplinaridade é de tal forma inerente ao tema que eu mesmo tive de recorrer a bibliografia em todas essas áreas do conhecimento. Donald Campbell, que também se dedicava a estudos de natureza multidisciplinar, resumiu com humor mordaz as dificuldades em levar a cabo pesquisas como essa ao afirmar que elas devem ser intentadas por estudiosos marginais, que estejam dispostos a demonstrar incompetência em vários campos ao mesmo tempo.

A despeito dos tantos obstáculos, acredito ter alcançado em larga medida os objetivos que estabeleci no início do trabalho, que eram analisar (e aperfeiçoar) a consistência das analogias básicas do modelo, investigar a extensão e a natureza das desanalogias entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica e, por fim, fazer um teste simples do modelo a partir de um estudo de caso. Para tanto, dividi a dissertação em duas grandes partes. A primeira, onde conduzo uma investigação acentuadamente teórica, está subdividida em três capítulos. O capítulo inicial é de natureza estritamente filosófica, tratando do papel dos modelos na investigação científica, das categorias de modelo e, mais especificamente, das características dos modelos analógicos. Se faltasse essa apresentação básica acerca do tema, penso que a maioria dos leitores não chegaria a compreender o sentido da empreitada teórica a que me dedico no decorrer da dissertação. O segundo capítulo aborda a consistência das analogias mais fundamentais entre a dinâmica tecnológica e a evolução biológica e tenta contribuir para o refinamento de alguns conceitos essenciais para o modelo de evolução tecnológica. O terceiro capítulo, que encerra a primeira parte, trata das desanalogias (dessemelhanças) que poderiam condenar ao fracasso a tentativa de estruturação do modelo ao afastá-lo fortemente das características da evolução biológica; o cerne da discussão será a

investigação de possíveis características lamarckistas na evolução tecnológica. A segunda parte da dissertação consiste num estudo de caso, em que se aplica o modelo à trajetória das tecnologias ligados ao álcool-motor no Brasil. Inicialmente, traço um resumo da história dessas técnicas e artefatos; posteriormente organizo esse conjunto de informações históricas na moldura evolutiva preconizada pelo modelo.

Ao final desse longo e árduo esforço de pesquisa e de redação, sinto-me bastante satisfeito com os resultados a que cheguei. Decerto que não estou colocando um ponto final em qualquer discussão sobre a dinâmica tecnológica – todos os tópicos aqui discutidos *exigem* crítica, debate e até contestação. Mas me orgulha saber que estou contribuindo com a abertura de um novo e promissor campo de pesquisa.

Todo o trabalho foi escrito com a preocupação de propiciar uma leitura agradável ao máximo, mas nem sempre é possível conciliar esse desejo com as exigências de rigor lingüístico inerentes à filosofia, à biologia e à história da tecnologia. Espero, no entanto, ter alcançado um meio termo entre a prosa prazenteira e a aridez dos termos técnicos; enfim, desejo uma boa leitura aos que me acompanharem nessa viagem interdisciplinar que se desenrola nas próximas páginas.

Parte 1 – Estruturando um modelo evolutivo para a dinâmica tecnológica

CAPÍTULO 1 – MODELOS

1.1. Apresentação do tema

A afirmação de que o processo de inovação tecnológica pode ser melhor entendido recorrendo-se a um modelo baseado na teoria da evolução biológica causa uma certa perplexidade no grande público. Mais preciso seria, ainda, dizer que a idéia é recebida com doses de descrença pela maioria dos auditórios. À primeira vista, parece estranho e inútil propor uma espécie de relação entre reinos tão distintos como o dos seres vivos e o dos artefatos e técnicas. A situação melhora na medida em que se mostra que intercâmbios entre ciências, sejam sociais ou naturais, estão bem longe de serem raros. Mais ainda quando são apresentados exemplos de modelos com base em relações de similaridade bem-sucedidas realizadas entre física e economia, biologia e sociologia etc., sendo um deles o da própria evolução tecnológica. A perplexidade inicial tende a se esvaír de maneira proporcional à apresentação das similaridades relevantes entre os fenômenos estudados pelas diferentes ciências e a conexão entre as explicações que se pode dar aos mesmos.

A pedra angular deste trabalho é a convicção de que se pode fazer grandes avanços na compreensão da dinâmica tecnológica por meio de um uso correto de certos conceitos emprestados da evolução biológica. Toda essa empreitada começa com uma metáfora e pretende terminar com um modelo, como defendia John Ziman (2000, p. 5). Metáforas em ciência podem ser definidas como uma extrapolação do uso literal de um termo qualquer, como numa espécie de *catacrese heurística* que alarga o campo de visão do pesquisador (ABRANTES, 2004, p. 244). Metáforas são, contudo, um reconhecimento de similaridade muito prematuro entre dois sistemas ou fenômenos. Se essa relação de similaridade for forte o bastante para ser detalhada e utilizada com sucesso para a explicação das características do sistema ou fenômeno menos conhecido, pode ser considerada uma analogia, assunto de que tratarei com mais precisão ainda neste capítulo. A conjunção de diversas analogias entre dois sistemas pode levar à estruturação de um modelo analógico, que é apenas um dos muitos tipos de modelos de que se serve a ciência. O objetivo deste capítulo é entender o que são e qual a importância desses modelos e, em especial, do modelo analógico, que está na base deste estudo.

1.2. Categorização de tipos de modelos

É difícil precisar um significado exato para *modelo*, em virtude do grande número de contextos em que o termo é usado. De acordo com Abrantes (2007, p. 1), “ O termo modelo é ambíguo, pois é usado, tanto por cientistas quanto por filósofos, com uma pluralidade de significados”. A verdade é que há uma série de modelos, cada qual com suas particularidades. Compreender a constituição de um dos tipos de modelos, os chamados analógicos, é essencial para o bom entendimento deste trabalho. Mas é preciso deixar claro que não há apenas modelos analógicos. Portanto, vale a pena tratar brevemente de outros tipos de modelos.

Há modelos, por exemplo, que são representações de sistemas reais, como os diversos tipos de mapas que as pessoas utilizam para se orientar geograficamente. O filósofo Ronald Giere chama esses modelos de “modelos representacionais” (GIERE, 1999, p. 44). Há modelos, por outro lado, que são reproduções concretas do ente modelado numa escala diferenciada. Aeromodelos, miniaturas de carros, hélices duplas de madeira, sistemas solares formados com bolas de metal etc., todos esses se encaixam nessa categoria de modelos, chamados comumente de modelos de escala.

A Enciclopédia de Filosofia Stanford (2006, pg. 3) trata também de modelos idealizados, que seriam simplificações extremas de um ente complexo, com a função de tornar possível o estudo dos entes modelados. Nessa categoria de modelos se encaixariam os mercados de equilíbrio perfeitos, os agentes oniscientes, modelos pressupondo velocidades infinitas, os planos sem atrito etc. Há ainda outros tipos de modelos, chamados modelos abstratos (GIERE, 1999, p. 48), como equações matemáticas e modelos lógicos.

No entanto, como se disse no início do tópico, nossa atenção recai sobre os modelos analógicos, que merecem considerações mais precisas sobre sua constituição e sobre o papel que desempenham. Antes, é profícuo traçar um panorama da discussão filosófica sobre o tema, que foi de grande importância para a filosofia da ciência no século XX.

1.3. Breve histórico: modelos na filosofia da ciência contemporânea

A discussão sobre o papel dos modelos analógicos em ciência pode ser convenientemente remontada a Campbell (ABRANTES, 2004, p.226). Na verdade, em 1920, Campbell tratava especificamente de analogias, tendo sido o primeiro a apresentá-las como “guidelines for the construction and development of theories...” (ABRANTES, 1999, p.237). O argumento é que as analogias não seriam apenas auxiliares prescindíveis na construção de novas teorias, mas partes essenciais das mesmas. As analogias desempenhariam, ainda, importante papel como orientadoras das modificações que as teorias deveriam sofrer em face de evidências contrárias (ABRANTES, 2004, p.227).

Os pensadores alinhados ao empirismo lógico, corrente que viria a dominar os estudos filosóficos nas próximas três décadas do Séc. XX, não endossaram a visão de Campbell sobre o papel construtivo dos modelos em ciência. Muito pelo contrário, a tendência apontava para a extrema minoração de sua importância. Os modelos em ciência passaram a ser encarados como os modelos em matemática, ou seja, como uma construção semântica que satisfaz as sentenças do cálculo de uma teoria. O cálculo seria o conjunto de sentenças articuladas dedutivamente e que compõem a estrutura de uma teoria. Essas sentenças, portanto, poderiam ser traduzidas em um modelo semântico que, por meio de objetos, propriedades e relações, realizaria fielmente o próprio cálculo em uma outra linguagem. Nesse sentido, os modelos não desempenhariam nenhum papel na construção e desenvolvimento de teorias – servindo somente para sua reconstrução com finalidade filosófica, como apregoava o empirismo lógico (COSTA & FRENCH, 2000, p. S 117).

Carnap, um dos grandes expoentes do empirismo lógico, defende expressamente a posição acima apresentada, acrescentando que um modelo tem “no more than an aesthetic or didactic or at best a heuristic value, but is not at all essential for a successful application of the physical theory” (CARNAP apud ABRANTES, 2004, p.230). Sua concessão maior é afirmar que modelos visuais podem ser úteis, uma vez que “the mind works intuitively, and it is often helpful for a scientist to think with the aid of visual pictures” (CARNAP apud ABRANTES, 2004, p.231). Finalidade bem distante da apontada por Campbell.

Em meados do séc. XX, os filósofos afiliados ao empirismo lógico passaram a demonstrar um maior interesse no papel desempenhado pelos modelos, sem, contudo,

abandonar as linhas fundamentais do pensamento dessa escola filosófica. Braithwaite, por exemplo, tratou de modelos de forma praticamente idêntica à de Carnap, apenas admitindo a sua funcionalidade pedagógica e reconhecendo que as teorias são estruturas dinâmicas (ABRANTES, 2004, p.232).

Um outro teórico do empirismo lógico, Hempel, tratou dos modelos de maneira um pouco mais generosa, mesmo sem abandonar a matriz de pensamento sobre modelos iniciada em Carnap. Para Hempel, modelos analógicos são modelos baseados em isomorfismos nômicos (HEMPEL apud ABRANTES, 2004, p.236). Isso significa afirmar que as leis que descrevem dois sistemas – o modelar e o modelado – têm a mesma forma, ou seja, são sintaticamente idênticas (ABRANTES, 2004, p.236-237). Sendo assim, esse modelo, por ser baseado em analogias puramente formais, não poderia nos ajudar a descobrir nada de novo no sistema modelado. O papel heurístico de tais modelos seria na resolução de problemas em novos campos; não seriam, contudo, essenciais à configuração das teorias nesses campos ou para orientar posteriores modificações em sua estrutura.

Suppe, já numa vertente filosófica distinta, inovou ao argumentar que os modelos são necessários para a interpretação correta de uma teoria, tendo um papel cognitivo mais acentuado. Suppe fez uma distinção entre modelos matemáticos e icônicos – os matemáticos seriam os modelos semânticos de Carnap e os icônicos estruturalmente similares ao objeto modelado – argumentando que os primeiros não têm papel heurístico e os segundos, mesmo que o tenham, não são essenciais para uma teoria, uma vez que “they aren’t required to assure their testability or their explanatory role” (SUPPE apud ABRANTES, 2004, p.235).

Com o passar dos anos, as assertivas do empirismo lógico seriam cada vez mais contestadas, acompanhado o declínio da influência dos seus defensores. Na medida em que o empirismo lógico foi perdendo força e os seus críticos ganhando relevo, os modelos passaram a ocupar um lugar de destaque na Filosofia da Ciência.

Com efeito, filósofos como Toulmin, Achinstein, Harré, Swanson e Hesse empreenderam uma defesa do seu papel na expansão das teorias, criticando a suposta simetria entre modelos e teorias defendida pelo empirismo lógico. Todos esses autores passaram a sustentar a existência de uma assimetria entre modelo e teoria, descartando a concepção puramente formal do papel desempenhado pelos modelos. Nesse momento,

ocorre um resgate do pensamento de Campbell sobre analogias e modelos. De acordo com Abrantes:

“A concepção campbelliana de uma analogia como parte integrante de teorias ressurgiu, então, nos anos 50, como parte da crítica crescente à 'received view' das teorias. Os críticos do empirismo lógico estavam interessados no papel que os modelos podem desempenhar na *dinâmica* de teorias (e não, simplesmente, na sua interpretação)” (ABRANTES, 1998, p. 83).

De acordo com essa nova posição, os modelos, ao menos os analógicos, teriam uma estrutura mais profunda que a das teorias, servindo de guia para extensões não arbitrárias da mesma. Em outras palavras, evita-se a conclusão dos empiristas lógicos de que a relação entre o modelo e a teoria seria meramente formal, apenas uma outra maneira de apresentação de seu cálculo. Ainda segundo Abrantes:

“As críticas aos modelos semânticos de cunho carnapiano eram, em geral, feitas em termos de um 'significado adicional' ou 'conteúdo adicional' que estaria associado aos modelos analógicos. Os defensores da 'explicação semântica' de modelos, como Braithwaite e Hempel, pressupunham, ao contrário, que entre modelos e teorias há uma mera relação formal. Para os críticos do empirismo lógico, um modelo só pode sugerir indicações para o desenvolvimento de uma teoria se ele compartilha com esta última mais do que uma mera estrutura sintática (um cálculo). Isso pressupõe a existência de uma assimetria entre modelo e teoria” (ABRANTES, 1998, p. 84-85).

Dentre os defensores dessa nova concepção sobre modelos, nos interessa especialmente Mary Hesse. Como outros críticos da *received view*, ela argumenta que os modelos funcionam como bússolas, guiando a dinâmica teórica; sua obra foi crucial para o avanço da compreensão filosófica da importância dos modelos analógicos, com impactos diretos para esta pesquisa.

1.4. O modelo de evolução tecnológica como modelo analógico

Como já se viu, o trabalho de Mary Hesse se situa no âmbito das críticas ao empirismo lógico e enfoca o papel dos modelos analógicos para o desenvolvimento de teorias. No entanto, Hesse reconhece que nem todos os modelos analógicos têm a

mesma natureza e desempenham o mesmo papel. Para tornar clara sua argumentação, a filósofa dividiu os modelos em *formais* e *materiais* (HESSE, 2001, p. 299).

Os modelos formais estariam relacionados apenas com a estrutura sintática daquilo que representam e se baseariam em analogias também denominadas formais – possuindo uma estrutura simétrica em relação às teorias. Os modelos materiais pressupõem um compartilhamento de propriedades entre o sistema fonte e o sistema alvo, resultando numa relação de assimetria entre os modelos e as teorias (HESSE, 2001, p. 299).

É importante ressaltar a definição de analogia adotada por Hesse. A filósofa toma a palavra analogia para referir-se “a relações de similaridade ou diferença entre um modelo e o mundo, ou entre o modelo e alguma descrição teórica do mundo, ou ainda entre um modelo e outro” (HESSE, 2001, p. 299). Como se pode notar, portanto, as analogias podem revelar similaridades e diferenças entre dois sistemas (sistema fonte e sistema alvo), que podem ser fenômenos do mundo, teorias e modelos. Segundo Hesse, as analogias que compõem um modelo material podem ser de três tipos: positiva, negativa e neutra. As analogias positivas são as que enfeixam as características idênticas, ou expressivamente similares, entre modelo e ente modelado; as analogias negativas as que enfeixam características diferentes ou expressivamente dissimilares; as analogias neutras, por fim, são as que relacionam características que ainda não foram identificadas como similares ou dissimilares (HESSE, 2001, p. 299-300). Seria a partir de analogias neutras que um modelo apontaria caminhos para o desenvolvimento de uma teoria para o ente ou sistema modelado.

O modelo de evolução tecnológica, tema desta dissertação, é claramente um modelo analógico material, isto é, tem como base similaridades entre características de um sistema fonte e de um sistema alvo, similaridades essas que não se restringem ao campo formal. A fonte de nosso modelo é a evolução biológica e boa parte deste trabalho será dedicada à exploração de analogias entre a referida fonte e à dinâmica da inovação tecnológica, nosso alvo.

De acordo com Hesse, encontraremos sempre analogias positivas, negativas e neutras entre os dois sistemas (alvo e fonte). A expectativa do pesquisador que estrutura o modelo é de que as analogias neutras acabem sendo identificadas como positivas ao final do trabalho construtivo. Como a própria Hesse afirma, “a linha divisória entre os

três tipos de analogia muda de acordo com o avanço da pesquisa – se o modelo for bom, a maior parte das analogias neutras vai se revelando como positiva, no passo que, se o modelo for pobre, as analogias neutras vão se mostrando negativas” (HESSE, 2001, p. 300).

É preciso ressaltar que no mapeamento das analogias, sejam elas positivas, negativas ou neutras, há sempre um juízo de relevância levado a cabo pelo agente estruturador do modelo. Com efeito, sempre haverá uma série de características do sistema fonte e do sistema alvo que nunca chegarão a ser sequer consideradas para efeito da estruturação do modelo, provavelmente por que são julgadas irrelevantes pelo pesquisador. Por exemplo, os entes envolvidos na evolução biológica têm uma composição física razoavelmente similar, enquanto os entes envolvidos na dinâmica tecnológica têm composição física radicalmente mais diversificada; esse fato, que poderia ser tomado como uma analogia negativa, é tratado como irrelevante nesta pesquisa. Da mesma forma, a cor das bolas de bilhar é tomada como propriedade irrelevante para a estruturação do modelo que, a partir das leis do choque da mecânica, pretende explicar o comportamento das moléculas de um gás.

No entanto, da mesma maneira que o avanço das pesquisas vai modificando a divisão entre analogias positivas, negativas e neutras, também pode implicar uma mudança nos juízos de relevância sobre as características dos dois sistemas. Essas mudanças podem trazer à tona novas analogias neutras a serem analisadas e, posteriormente, definidas como positivas ou negativas.

No extremo da concisão, pode-se dizer que objetivo deste trabalho de pesquisa é fazer um mapeamento das analogias entre a evolução biológica e a dinâmica tecnológica, enquadrá-las enquanto positivas, negativas ou neutras e, então, verificar se o modelo analógico resultante desse trabalho tem coerência interna, poder explicativo e poder preditivo. É importante, assim, a plena compreensão do papel heurístico que os modelos analógicos podem desempenhar, pois é justamente isso que pretendo ilustrar em relação ao modelo de evolução tecnológica.

CAPÍTULO 2 – A IDÉIA DE UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

2.1. Definindo tecnologia

Esse estudo está comprometido com a idéia de que a tecnologia *evolui*, num sentido estritamente darwinista do termo. Também com a de que é possível estruturar um modelo para capturar esse fenômeno. Mas o que entender por tecnologia, expressão multívoca e fenômeno multifário? Para que se possa estudar a viabilidade de um modelo de evolução tecnológica é preciso antes deixar claro o que se está tomando por tecnologia. Abaixo listo os mais comuns enfoques ontológicos sobre tecnologia, segundo Carl Mitcham (1980, p. 305-316).

A maneira mais óbvia e intuitiva de se encarar a tecnologia é tomando-a por *artefatos*, objetos palpáveis como computadores, martelos, carros, impressoras, escadas etc. E é assim que boa parte dos pesquisadores da tecnologia define o objeto de seu estudo, como é o caso de Basalla (1988) e Petroski (2007). Trata-se de uma visão parcial do fenômeno, uma vez que os artefatos são apenas a parte mais facilmente apreensível do complexo existente de tecnologias, sendo inegável que boa parte delas não tem uma interface corpórea. Mesmo encarando os artefatos como parte fundamental do universo de tecnologias, portanto, é preciso saber que os mesmos são apenas uma faceta do fenômeno. Além dos artefatos, as *técnicas* são encaradas como parte essencial do universo das tecnologias. Técnica é um conjunto de procedimentos logicamente seqüenciados para se atingir um determinado fim. Cirurgias plásticas, linhas de montagem, métodos pedagógicos, técnicas de *design*, engenharia genética, *webdesign* etc., alguns dos mais importantes ramos da moderna tecnologia entram nessa categoria, que compreende objetos de ordem imaterial.

Existem categorias ainda mais amplas de entes tecnológicos. O filósofo da tecnologia Langdon Winner argumenta, por exemplo, que se deve considerar como tecnologia não apenas artefatos e técnicas, mas também as organizações tecnológicas. Organizações tecnológicas seriam complexos sociais que funcionam como uma tecnologia. Isto é, no fundo, o que se entende por instituições. As fábricas, a administração pública, os tribunais seriam típicas organizações tecnológicas. Há ainda uma caracterização de vertente mais epistemológica do que seria tecnologia. O filósofo da tecnologia Joseph Pitt (2005) assevera que devemos encarar a tecnologia como

conhecimento tecnológico, sendo as técnicas e artefatos a mera materialização desse conhecimento específico, que não se confundiria com o conhecimento científico.

Dadas as quatro definições de tecnologia acima expostas, pretendo trabalhar apenas com as duas primeiras. As organizações tecnológicas são objetos extremamente abstratos, não sendo proveitoso tentar incluí-las no modelo de evolução tecnológica aqui proposto. A tecnologia enquanto conhecimento tecnológico, por sua vez, pode ser melhor compreendida pelo prisma da epistemologia evolutiva, sendo mais profícuo deixar que os pesquisadores dessa área verifiquem a aplicabilidade de um arranjo evolutivo. Abordarei, portanto, a tecnologia em duas dimensões: artefato e técnica. Reconheço que o artefato traz grandes facilidades para a aplicação de um modelo evolutivo à tecnologia, em decorrência de sua interface física e da maior rastreabilidade de suas modificações ao longo do tempo. Mas um dos aspectos mais marcantes do fenômeno tecnológico em nossos dias é a sofisticação das miríades de técnicas, sendo oportuno e enriquecedor tentar incorporá-las a este estudo.

2.2. A inovação tecnológica: desvendando suas causas e mecanismos

Os artefatos e técnicas estão em constante modificação. Tomo como exemplo a trajetória dos telefones móveis: há uma notável diferença entre os primeiros protótipos de telefones via rádio da década de 50 e os aparelhos móveis lançados na atualidade. Mas não é necessário voltar tanto no tempo, já que telefones celulares da década passada não tinham grande parte das funções dos modelos atuais. A força da inovação tecnológica é, da mesma maneira, visível em quase todos os campos da atividade humana: as técnicas agrícolas, médicas e educacionais, os artefatos eletrônicos, a maquinaria industrial...

No ano de 2005, vale dizer, a *World Intellectual Property Organization* registrou algo em torno de 1.660.000 pedidos de patenteamento. O número é fabuloso e está em franco crescimento. Cada um desses pedidos representa um reconhecível acréscimo criativo em uma técnica ou artefato pré-existente. George Basalla (1988, p. 2), por sua vez, avalia que nos últimos 200 anos algo em torno de cinco milhões de patentes foram conferidas somente nos Estados Unidos. Note-se que essas estatísticas não representam de forma alguma a totalidade das inovações concebidas em um ano no mundo ou em dois séculos nos EUA, já que nem todas são patenteadas, seja por desídia

do inventor, seja por inviabilidade econômica. O número real de inovações, especialmente se se considera as que não chegam a atingir sucesso comercial, é esmagador.

Mas o que alimenta essa força inovadora? Que fatores determinam quais tecnologias prevalecerão e quais perecerão? Qual a margem de controle se teria sobre a mudança tecnológica? Essas questões não se baseiam em inocente curiosidade acerca da inovação tecnológica; pelo contrário, quem as responder estará revelando as linhas mestras desse mecanismo que parece reger o mundo moderno.

Há uma série de estudos, nos mais diversos campos do saber, que pretendem enfrentar essas questões a partir da visualização da dinâmica tecnológica sob um prisma evolutivo. São essas incursões teóricas multidisciplinares que este estudo pretende fortalecer ao escrutinar a consistência filosófica de um modelo evolutivo para a tecnologia. Este capítulo se dedicará à estrutura básica desse modelo. Antes de adentrar na apresentação e análise da mesma, entretanto, vale a pena repassar brevemente a história dessa empreitada intelectual.

É inegável a influência do pensamento darwinista na compreensão moderna do fenômeno tecnológico. Um bom exemplo da afirmação precedente é a economia evolucionária¹; a história da tecnologia (e a história em geral), os estudos de previsão tecnológica e os estudos de antropologia também vêm adotando gradativamente perspectivas mais próximas ao pensamento evolutivo.

Enfoques evolutivos (ou selecionistas) do fenômeno tecnológico datam de tempos remotos. Bernard Mandeville, pensador do início do Séc. XVIII, descreveu o aperfeiçoamento “da tecnologia de marinha de guerra como o acúmulo incremental de adições e modificações ao longo de muitos anos, sem que qualquer programação prévia guiasse essa evolução” (NELSON, 2007, p. 76). Adam Smith, já no último quarto do Séc. XVIII, apostou numa lenta e gradual sofisticação das tecnologias de divisão do trabalho, ausente qualquer coordenação maior desse processo (NELSON, 2007, p. 76). Vale ressaltar que ambos os autores antecedem Darwin.

¹ Escolhi o termo *evolutivo* como adjetivo padrão advindo do substantivo evolução. Falo, portanto, em modelo evolutivo, processo evolutivo, padrão evolutivo etc. A única exceção é a economia evolucionária. No caso, utilizo o termo *evolucionária* em virtude da expressão já ter se consagrado, não sendo possível, nem proveitoso, fazer uma mudança arbitrária neste estudo.

Apesar desses e de outros antecedentes históricos, é no século XX, após a consolidação da teoria sintética da evolução, que ocorreram a extensão e o aprofundamento da utilização do pensamento darwinista para a compreensão da dinâmica tecnológica. Obras mais amplas de economistas como Hayek e Schumpeter, filósofos como Popper e psicólogos como Donald Campbell abrem caminho para uma aplicação mais clara dos conceitos darwinistas às ciências sociais e à própria dinâmica tecnológica. No campo da história da tecnologia, o pensamento evolutivo também começa a florescer de maneira independente: George Basalla (1988, p. 21) cita os nomes de William Ogburn, S.C. Gilfillan e Abbot Payson Usher, todos do início do Séc. XX, como precursores da aplicação das idéias de continuidade, gradualismo e ausência de plano prévio de melhoramento das tecnologias, já fazendo alusões explícitas à evolução biológica.

A partir da década de 80, os estudos evolutivos da tecnologia começam a se multiplicar, surgindo autores como Nelson, Winter, Dosi, Basalla, Vicenti, Mokyr, Ziman, Petroski etc. (NELSON, 2007, p. 78), que defendem a idéia em campos diversos do conhecimento. A esmagadora maioria da literatura produzida por esses pesquisadores, no entanto, não se caracteriza pela preocupação em estabelecer relações claras entre a evolução tecnológica e a biológica, mapeando quais analogias seriam positivas, negativas ou neutras, por exemplo.

Para que se entenda a relação entre a evolução biológica e a maior parte dos estudos sobre evolução cultural e tecnológica, vale utilizar uma interessante classificação proposta por Richard Nelson (2007, p. 74 - 75). De acordo com ela, é possível distinguir três orientações intelectuais que envolvem darwinismo e cultura:

1. a que pretende estender a aplicação da evolução darwinista *stricto sensu* à cultura, como a sociobiologia e a ecologia comportamental;
2. a que pretende criar um darwinismo ou selecionismo genérico, aplicável a diversos objetos, como à cultura, ao sistema nervoso, à tecnologia etc. – variando entre autores o grau de proximidade desse mecanismo genérico com a evolução biológica;

3. e a que simplesmente utiliza conceitos e noções evolutivas em campos específicos da ciência social, sem grandes rigores no uso de analogias e sem esclarecimentos da sua relação com a evolução biológica².

Os autores que parecem se encaixar na orientação 2, como Dennett e Campbell, costumam se referir à tecnologia em breves passagens de suas obras, usualmente para fins de exemplificação, mas não pretendem explorar profundamente o fenômeno. Portanto, à exceção de John Ziman e alguns dos membros do grupo de estudos que liderava (*The Epistemology Group*), todos os autores que escreveram especificamente sobre evolução tecnológica se encaixam na orientação 3. Há, no entanto, uma série de deficiências em seus modelos, especialmente no que concerne à consistência das analogias entre dinâmica tecnológica e evolução biológica. Com efeito, mesmo as analogias mais básicas são vagas ou apostam em similaridades deficientes. Passo a alguns exemplos.

Ao final do primeiro capítulo do seu *The Evolution of Technology*, George Basalla anuncia as linhas gerais de sua teoria:

“As I have already shown, the made world contains a far greater variety of things than are required to meet fundamental human needs. This *diversity* can be explained as the result of technological evolution because artifactual *continuity* exists; *novelty* is an integral part of the made world; and a *selection* process operates to choose novel artifacts for replication and addition to the stock of made things” (BASALLA, 1989, p 25).

Durante o resto do livro, Basalla apresenta evidências para comprovar suas idéias sobre continuidade, inovação e seleção, numa explícita tentativa de encaixar o processo de inovação tecnológica numa moldura evolutiva. Em diversos momentos, reforça o postulado básico de sua obra:

“Because there is an excess of novelty and consequently not a close fit between invention and wants or needs, a process of selection must take place in which some innovations are

² A classificação, naturalmente, tem falhas. A obra de pesquisadores que trabalham com a idéia de coevolução gene-cultura, como Richerson e Boyd (2005), não se encaixa bem em nenhuma das três orientações.

developed and incorporated into a culture while others are rejected. Those that are chosen will be replicated, join the stream of made things, and serve as antecedents for a new generation of variant artifacts. Rejected novelties have little chance of influencing the future shape of the made world unless a deliberate effort is made to bring them back into the stream” (BASALLA, 1989, p 135).

Para os que lêem a totalidade de sua obra, fica claro, no entanto, que o objetivo maior do autor é colacionar exemplos da história da tecnologia que corroborem sua tese central, sem realmente esmiuçá-la. O enfoque evolutivo está somente implícito em trajetórias tecnológicas específicas descritas no livro ou então é formulado de maneira pouco precisa. Em nenhum momento fica realmente explícito qual o grau de proximidade postulado entre a evolução tecnológica e a biológica. Em determinada passagem, Basalla (1989, p. 135) chega a explorar diferenças entre os dois sistemas, apesar de não ter antes tratado com mais detalhes das suas semelhanças. E mesmo aí parece passar ao largo de questões essenciais, como a natureza da variação ou da replicação tecnológica. Toca num ponto importante ao asseverar que a evolução tecnológica se aproxima mais da seleção artificial do que da natural (BASALLA, 1989, p. 136), mas não chega a refletir muito sobre as conseqüências de tal afirmação.

Ao tratar das dificuldades de se aplicar o conceito de sobrevivência no campo tecnológico; da impossibilidade de fazer uso de barreiras de cruzamento para determinar as espécies de tecnologia; e ao falar da influência ambiental nas taxas de variação em biologia e tecnologia, Basalla (1989, p. 137) ora parece desconhecer as nuances da evolução biológica, ora parece se ater a pontos pouco relevantes para um debate em torno de similaridades.

Justiça seja feita, George Basalla não é o único a negligenciar questões que parecem centrais para se aproximar o processo de inovação tecnológica, de maneira analógica, à evolução dos organismos vivos. A verdade é que os historiadores da tecnologia, economistas, engenheiros e *designers* que se debruçam sobre a questão pressentem o poder da troca de analogias entre os dois processos, mas, apesar disso, não se preocupam em demonstrar até onde vão as semelhanças e quais são as dessemelhanças embaraçosas. É o caso de Richard Nelson e Sidney Winter no seu clássico “Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica” (2005). Os autores trabalham com a analogia entre os genes de um organismo e as rotinas de uma firma. As

rotinas são todos os comportamentos regulares e previsíveis de uma firma; as que tiverem as melhores rotinas crescerão mais e a presença das referidas rotinas no mercado aumentará proporcionalmente ao sucesso por elas obtido (NELSON & WINTER, 2005, p. 33). Uma das principais rotinas, do interesse deste trabalho, é a inovação tecnológica.

Passo à análise do esquema geral proposto pelos autores. Em primeiro lugar, ao ler o livro nota-se que há uma analogia bem explorada entre *gene* e *rotina*, mas nenhuma entre *firma* e *organismo*. Tampouco fica clara a diferença entre as rotinas de uma firma e a firma mesmo. Por vezes, as próprias rotinas parecem ser selecionadas no ambiente, e não as firmas – caso dos novos artefatos comercializados (o que pode ser não problemático uma vez que se tenha definido bem a relação entre ambas as figuras). As semelhanças dos mecanismos de variação e de seleção com os do sistema biológico também não são estudadas com a minúcia necessária. Mas é preciso reconhecer que os próprios autores explicitam não ter uma preocupação central com questões como essas, ao contestarem:

“...enfaticamente qualquer intenção de perseguir uma analogia biológica por si mesma, ou mesmo com vistas a progredir em direção a uma teoria evolucionária abstrata e de nível superior, capaz de incorporar uma série de teorias existentes. Temos satisfação em explorar qualquer idéia da biologia que pareça útil para a compreensão de problemas econômicos, mas estamos igualmente preparados para ignorar qualquer coisa que pareça estranha, ou para modificar radicalmente teorias biológicas aceitas em prol do desenvolvimento de uma melhor teoria *econômica* (como no caso de nossa adoção do lamarckismo)” (NELSON & WINTER, 2005, p. 28).

É perceptível, entretanto, que a adoção dessa postura, pouco preocupada com a exploração mais detalhada das similaridades e dessemelhanças entre evolução tecnológica e biológica, não é de todo benfazeja à obra. Além da inconsistência na formação de algumas analogias – a de firma-organismo é um bom exemplo disso – possíveis expansões analógicas não são realizadas: poder-se-ia trabalhar melhor o conceito de replicação, co-evolução, nicho etc. Mais grave ainda, a falta de um rigor maior no cotejo entre os dois sistemas leva os autores a assunções teóricas pouco

refletidas e certamente enganosas. Nesse sentido, destaca-se o seguinte parágrafo, que, apesar de longo, merece ser reproduzido na íntegra:

“Existem ainda outras conotações que têm, no máximo, uma relativa importância para a nossa própria abordagem evolucionária. Há, por exemplo, a idéia do desenvolvimento gradual, freqüentemente invocada pela oposição entre os termos “evolucionária” e “revolucionária”. Embora enfatizemos a importância de certos elementos de continuidade no processo econômico, não negamos (nem a biologia contemporânea nega) que as mudanças são às vezes muito rápidas. Além disso, algumas pessoas particularmente atentas para as falácias teleológicas na interpretação da evolução biológica parecem insistir numa distinção clara entre explicações que caracterizam o processo da evolução “cega” e as que caracterizam a busca de metas “deliberadas”. Qualquer que seja o mérito dessa distinção no contexto da teoria da evolução biológica, ela é inútil e perturbadora no contexto da nossa teoria da firma. Não é difícil nem implausível desenvolver modelos do comportamento da firma que mesclam processos “cegos” e “deliberados”. De fato, na própria solução dos problemas humanos, ambos os elementos costumam estar envolvidos e são difíceis de ser separados. Em relação a isso, nossa teoria é desavergonhadamente lamarckiana: contempla tanto a “herança” de características adquiridas como o eventual aparecimento de variações sob o estímulo da adversidade” (NELSON & WINTER, 2005, p. 28).

Há aí uma terrível confusão de conceitos. O primeiro grande engano é a identificação entre velocidade do processo evolutivo e ausência de continuidade entre suas etapas, duas coisas completamente distintas. O segundo engano é a oposição entre *cego* e *deliberado*, e não entre *cego* e *instruído*. O terceiro é a confusa relação anunciada entre processos cegos, deliberados e a herança de caracteres adquiridos. Além desses claros equívocos, que poderiam ter sido evitados caso houvesse maior interesse pela conformidade das analogias, chama a atenção a displicência dos autores ao tratar dos temas mencionados, uma vez que mal apresentam argumentos para sustentar suas polêmicas assunções.

Nelson e Winter provavelmente alegariam, em sua defesa, que o objetivo primordial do trabalho era construir uma teoria *econômica* consistente, não de explorar todas suas complexas intersecções com a evolução biológica, o que inegavelmente lhes custaria tempo e lhes desviaria o foco. E, deve-se reconhecer, o argumento procede.

Afora o fato de terem tecido considerações precipitadas, como as citadas no parágrafo anterior, não se pode recriminar o enfoque dado pelos autores, já que são economistas desenvolvendo uma teoria para compreender fenômenos econômicos.

Inegável também, por outro lado, que a ausência de reflexões mais profundas e bem embasadas acerca das relações de similaridade entre a evolução tecnológica e a biológica empobrecem e dificultem as tentativas de estruturação de modelos evolutivos para a tecnologia. Provavelmente, os economistas e historiadores da tecnologia não compreendem, por exemplo, que um processo baseado em variação direcionada pelo ambiente e herança dos caracteres adquiridos é transformacional, e não variacional³.

Além disso, fica claro que a maioria dos autores se limita a desenvolver superficialmente a analogia básica entre a evolução tecnológica e biológica, sem, contudo, explorá-la em profundidade e perseguir suas extensões naturais. Os trabalhos que exploram de maneira pouco rigorosa a continuidade, diversidade e competição entre artefatos e técnicas são consideravelmente copiosos⁴; raros, porém, são os que investem num mapeamento mais consistente das analogias entre os fenômenos biológico e tecnológico⁵.

³ É necessário, aqui, diferenciar os dois padrões de mudança. No padrão variacional, a evolução de uma população se dá com base na seleção de indivíduos que competem pelo sucesso; como a variação não é instruída pelo ambiente, nem todos os indivíduos exibirão os mesmos caracteres e, portanto, alguns serão positivamente selecionados e outros serão descartados. Dessa forma, a mudança na população se dará com a alteração estatística da presença de determinados caracteres na população: “Since a Darwinian system is based on a sorting process, the change that happens on the basis of variation is a change in statistical distribution of variants” (KRONENFELDNER, 2007, p. 497). No padrão transformacional, cada indivíduo da população tende a apresentar caracteres *idênticos*, uma vez que o ambiente os instrui quanto à variação mais adaptativa. Assim, a população muda de maneira harmoniosa, sem competição nem seleção, havendo uma transformação total de toda ela: “On this basis, each individual of a population will automatically change in the direction of complexity and adaptation. A sorting process - be it natural selection or another kind of sorting process, like artificial selection or drift - is thus superfluous for the change of the system, even if individuals reproduce and die at different rates” (KRONENFELDNER, 2007, p. 497). Os que defendem a idéia da evolução tecnológica pretendem revelar a inovação tecnológica como um processo de matriz variacional, isto é, baseado em variação, competição e seleção; querem justamente desbancar as visões tradicionais acerca da mudança tecnológica, que usualmente ressaltam o caminho harmonioso e pré-determinado do progresso tecnológico. A despeito disso, boa parte dos pesquisadores que acreditam numa evolução tecnológica adota de maneira pouco refletida e, no mais das vezes, injustificada um pretensão lamarckismo; alguns afirmam que há um pouco de lamarckismo e de darwinismo no processo de inovação tecnológica; outros que a distinção não se aplica ao caso da tecnologia (ZIMAN, 2000, p.65; 105; 132; 173; 265 etc.). A assunção de “lamarckismos”, no entanto, pode ser fatal para o empreendimento teórico que esses próprios autores tentam desenvolver. Esse será o tema central do próximo capítulo.

⁴ Rosenberg (2006) cita obras de Karl Marx, A. P. Usher, S. C. Gilfillan, Louis Hunter, Albert Fishlow, Samuel Hollander, John Enos, Paul David, Kenneth Knight e Little. Todos esses autores exploram de maneira superficial as parencas entre a evolução biológica e a inovação tecnológica. Poderíamos ainda enumerar as obras Basalla, Petroski, Diamond e muitos outros mais.

⁵ Alguns dos co-autores de Ziman (2000) fogem a essa regra.

Em resumo, é imprescindível explorar de maneira mais consistente as analogias e desanalogias entre biologia e tecnologia. Para reverter esse quadro, começo explorando melhor as analogias básicas, que invariavelmente envolverão três conceitos fundamentais: variação, seleção e replicação.

2.3. Um modelo para a evolução tecnológica

No início da seção 2 deste capítulo, enumerei o incrível número de pedidos de patente apresentados no ano 2005: aproximadamente 1.660.000! Esse número deve ter sido ainda maior nos anos subseqüentes. Chamei ainda a atenção para a quantidade de invenções que nem chega a ser alvo de requerimento de patente. Não há como estimar com segurança o montante de tentativas de inovação tecnológica em um ano, mas se pode intuir que se trata de um volume grandioso.

Das tantas pretensas inovações, patenteadas ou não, muitas nem chegarão à linha de produção; dentre as que chegarem, apenas algumas vão ter relativo sucesso no mercado; por fim, boa parte das que lograram algum sucesso vão ser rapidamente jogadas na obsolescência. Se se pensa, ainda, na quantidade de produtos considerados insatisfatórios durante as etapas do processo de pesquisa e desenvolvimento⁶ de novas tecnologias, chega-se à interessante conclusão de que a esmagadora maioria das inovações, ao invés de se difundir, é descartada.

Só para dar uma idéia mais clara do que está exposto em abstrato no parágrafo acima, para que um fármaco novo chegue ao mercado são testados de cinco a dez mil compostos químicos, dos quais apenas 250 conseguirão atingir a etapa dos testes pré-clínicos (VELOSO & VALE, 2007, p. 6). A esmagadora maioria dos milhares de compostos testados é simplesmente descartada, durante um período médio de 10 a 15 anos de pesquisa (VELOSO & VALE, 2007, p. 3). E, mais interessante ainda, o

⁶ A expressão desenvolvimento, que aparece com certa freqüência neste trabalho, costuma ser utilizada como sinônimo de evolução. Note-se, entretanto, que isso só acontece quando os dois termos são empregados de forma coloquial. Nesse sentido, ambos significam algo como crescimento ou progressão. Em teorias científicas, tanto evolução quanto desenvolvimento têm sentido bem mais preciso e diferenciado. Aqui, a expressão evolução está sempre sendo utilizada para fazer referência ao processo seletivo descrito inicialmente por Darwin; já a expressão desenvolvimento é empregada no sentido coloquial (como progressão), no biológico (como ontogenia, isto é, desenvolvimento individual) e no tecnológico (como pesquisa tecnológica, isto é, desenvolvimento de novas tecnologias).

fármaco lançado pode, simplesmente, não ser aceito pelo mercado e ser retirado das prateleiras...⁷

Isso ilustra o argumento de que as novas tecnologias são desenvolvidas a partir de uma série de etapas envolvendo tentativa e erro; que a grande maioria das variantes testada não é selecionada; e que a competição entre as variantes está presente em todos os momentos desse processo. A essas observações, somam-se outras características geralmente imputadas ao processo de inovação tecnológica. Nesse sentido, vale citar: a percepção de que a tecnologia avança pelo acúmulo de pequenas melhorias; a constatação de que as invenções são sempre baseadas em técnicas e artefatos pré-existentes; e, por fim, o reconhecimento de que há um considerável fator estocástico envolvendo o processo de surgimento de novas tecnologias, o que é comumente chamado de serendipidade.

Todas essas características do processo de inovação tecnológica levaram muitos pesquisadores – só neste capítulo já citei quase duas dezenas deles – a investir na tentativa de encaixá-lo numa moldura evolutiva, por meio de analogias com a bem estabelecida teoria da evolução biológica. A premissa básica dessa visão evolutiva é de que os elementos básicos do processo de inovação tecnológica seriam a variação cega das inovações, a seleção das melhor adaptadas e, daí, sua replicação em novas gerações de técnicas e artefatos, com a conseqüente retenção das variações adaptativas. O uso da tríade variação-cega+seleção+replicação para a compreensão da dinâmica tecnológica parte da crença de que a existência de analogias entre a evolução biológica e a inovação tecnológica pode revelar os dois processos “como um mesmo tipo de sistema em certo nível de abstração” (ABRANTES, 1999, p. 257, tradução livre) e possibilitar a estruturação de um modelo de evolução tecnológica, por mais rudimentar que venha a ser no início.

Como demonstrei na seção imediatamente anterior, no entanto, nem mesmo a analogia básica é bem explorada em boa parte dos estudos de economia e história da tecnologia, prejudicando a viabilidade do empreendimento teórico. Como expus de antemão, essa é a primeira lacuna que pretendo suprir. Para tanto, responderei, nas

⁷ De acordo com Basalla (1988, p. 113), o economista Jacob Schmookler verificou que algo em torno de 50% das inovações patenteadas têm *aplicação comercial*. Isso não quer dizer que venham a ter *sucesso comercial*, simplesmente que é possível lançá-las no mercado, sem qualquer garantia de retorno.

próximas seções, a quatro perguntas essenciais sobre o modelo de evolução tecnológica: o que varia, como varia, como ocorre a seleção e como se dá a replicação⁸.

2.3.1. O que varia

Para que se possa compreender bem a configuração básica de uma evolução tecnológica é preciso avaliar o que está variando e sendo selecionado. Para tanto, é imprescindível estabelecer o correspondente analógico de três importantes conceitos da biologia evolutiva: indivíduo, espécie e caractere.

O conceito de *espécie* não é próprio da biologia, sendo partilhado por diversas ciências e mesmo pelo senso comum. Seu uso em tecnologia não é nada inovador, uma vez que, na prática, os artefatos e técnicas já são classificados em tipos específicos, como os organismos o eram antes do advento do pensamento evolutivo (RIDLEY, 2006, p. 376). É necessário, no entanto, dar embasamento teórico à classificação das espécies tecnológicas e, para tanto, deve-se empreender uma busca por analogias com a evolução biológica. Basalla (1988, p.137) parece condenar ao fracasso tentativas nesse sentido, ao afirmar que não há aplicabilidade do conceito de barreiras de cruzamento ao fenômeno tecnológico, já que a replicação de técnicas e artefatos não se baseia em cruzamento entre indivíduos.

O argumento de Basalla procede em relação ao chamado conceito biológico de espécie – aquele em que a delimitação das espécies se baseia na barreira de cruzamento – mas não se pode olvidar que, além desse último, há os conceitos fenético e ecológico de espécie (RIDLEY, 2006, p. 381 - 382). O primeiro parte das características fenotípicas dos organismos para classificá-los e o segundo de sua posição no ecossistema. E aqui as possíveis analogias são óbvias: a determinação de uma espécie de técnica ou artefato se daria pela identificação de características básicas distintas

⁸ É possível que surja alguma dúvida em relação aos termos *retenção*, *reprodução* e *replicação*. Replicação e reprodução são sinônimos em linguagem natural; em biologia, entretanto, é mais comum utilizar a expressão replicação para se referir à multiplicação do genoma de um organismo e a expressão reprodução para tratar do processo completo de geração de descendência por um indivíduo. Como não há genes (nem considero entes análogos) na evolução tecnológica, as expressões são usadas indistintamente neste trabalho. A retenção, por sua vez, diz respeito à estabilização de uma determinada variação em uma população, o que vai depender da reprodução diferencial: se os indivíduos que apresentarem uma certa variação forem positivamente selecionados, terão mais descendentes e a variação naturalmente se espalhará estatisticamente na população; se forem negativamente selecionados, terão menos descendentes e a variação irá desaparecer. No primeiro caso houve retenção, no segundo não.

(que denomino projeto básico) ou da sua posição no sistema econômico-social. Essa última opção parece ser, porém, confusa e pouco prática, especialmente porque as relações entre tecnologias no ambiente econômico e social são bem menos regulares e ordenadas do que as dos organismos no ambiente biológico. Ademais, a determinação do papel de uma tecnologia na sociedade abre espaço para especulação ideológica, (des)orientada por valores morais e políticos.

De forma que a adoção de um conceito de espécie similar ao conceito fenético parece ser a solução mais adequada para o caso da tecnologia. A classificação se daria pelo reconhecimento das características de um artefato ou de uma técnica, e daí pelo enquadramento dessas características no que eu chamo de projeto básico de certa espécie tecnológica. Mas o que seria esse projeto básico?

A evolução biológica trabalha com os conceitos de genótipo e fenótipo, os quais não têm correlatos em tecnologia, uma vez que as estruturas de uma técnica ou artefato não são codificadas digitalmente como as dos organismos são em genes; a codificação das técnicas e artefatos é simplesmente sua própria descrição, que pode ser realizada por meio de palavras (escritas ou oralmente transmitidas), desenhos, formulações matemáticas etc. – é, portanto, uma descrição analógica. Não há qualquer distinção entre a tecnologia e sua descrição, exceto o fato óbvio que a última é uma representação da técnica ou artefato.

Isso, porém, não quer dizer que essa descrição (projeto) seja desprovida de importância. Pelo contrário: é justamente através do projeto que se torna possível a conservação e a reprodução fiel de informações sobre uma técnica ou artefato complexos. É, ainda, preferencialmente no projeto em que primeiro se introduzem as inovações. E, por fim, é a descrição que permite a comparação mais rigorosa entre tecnologias e sua classificação tipológica. A essa descrição informacional de uma técnica ou artefato qualquer chamo simplesmente de projeto, que é definido pelos dicionários como “representação gráfica ou escrita de uma obra” ou “plano geral de uma obra”. Os projetos de artefatos e técnicas pertencentes a uma mesma espécie partilham caracteres muito semelhantes e podem ser abstraídos em um projeto básico mais abstrato e, conseqüentemente, mais compreensivo. O que torna possível o reconhecimento de algo como uma televisão ou uma técnica cirúrgica cardíaca,

portanto, é exatamente a subsunção de seus caracteres essenciais ao projeto básico de uma determinada espécie tecnológica.

Os conceitos de projeto e projeto básico, por mais que se adote outras nomenclaturas para eles, são essenciais para a estruturação de um modelo de evolução tecnológica, já que possibilitam a compreensão das formas de conservação e replicação das características de tecnologias. Volto a afirmar que não há aqui qualquer analogia fértil com os conceitos de genótipo e fenótipo. Isso pode ser interpretado por alguns como um prejuízo para o modelo de evolução tecnológica; a questão será enfrentada posteriormente, mas adianto que a ausência de similaridade nesse campo não parece dificultar em nenhuma medida a consolidação do modelo nem reduzir sua fertilidade.

Em relação ao conceito de *indivíduo*, pode-se dizer que não há, em biologia, um intenso debate teórico. A razão é simples: parece haver um certo consenso em torno da noção de que os indivíduos são os organismos, unitariamente considerados, que compõem uma população. No caso da tecnologia, da mesma forma, também é pouco contestável que os indivíduos são as técnicas e artefatos unitariamente considerados. As técnicas e artefatos individuais são descritos em um projeto, que conterá todas as informações a seu respeito e possibilitará a replicação fiel daquela tecnologia.

Mais crucial para um modelo de evolução tecnológica é a definição de *caractere*, que não parece ser problemática: as unidades de informação constantes do projeto correspondem a um caractere da técnica ou artefato. O caractere pode indicar aspectos de *design*, uso de materiais, maneiras de se proceder, estrutura de sub-partes de um artefato etc. Exatamente a mesma definição de caractere é oferecida em biologia: “qualquer aspecto, peculiaridade ou propriedade reconhecível em um indivíduo” (RIDLEY, 2006, p. 701). Numa técnica cirúrgica, por exemplo, o modelo do bisturi, o tipo da incisão, o procedimento de sutura etc. são bons exemplos de caracteres. No caso de um artefato como uma arma de fogo, o material com que será forjada, o *design* de suas partes externas e internas, a disposição do seu mecanismo de disparo etc., são alguns dos caracteres componentes de seu projeto.

Mas há uma controvérsia a se enfrentar dentro deste tópico. Há certa dificuldade, em muitos casos concretos, para o enquadramento de uma tecnologia como espécie ou como caractere. Explico com o caso de um motor de combustão interna. Ele é composto por uma série de sub-partes, tais como os pistões, os condutores de combustível, as

velas, a injeção eletrônica etc. Essas sub-partes, popularmente denominadas “peças”, podem ser consideradas artefatos particulares. Da mesma forma, uma técnica pode conter em si uma série de subtécnicas e ainda contar com a utilização de artefatos. Tomo como exemplo uma técnica cirúrgica baseada em vídeo-cateterismo. Há aí, como partes integrantes da técnica, a sub-técnica de montagem e operação do cateter e a própria utilização do referido artefato. Em casos como esses, devemos considerar essas subpartes como caracteres *e* como indivíduos pertencentes a espécies tecnológicas próprias.

Nota-se que a aplicação dos conceitos de espécie, indivíduo e caractere ao processo de inovação tecnológica deve ter uma maior flexibilidade para abarcar as situações particulares do fenômeno tecnológico. De forma que é preciso admitir a possibilidade de reconhecimento múltiplo de um objeto enquanto indivíduo e enquanto caractere, a depender da situação sob análise. Essa circunstância, apesar de ser claramente dissimilar à realidade da evolução biológica, não parece ser uma desanalogia preocupante.

2.3.2. Como ocorre a variação?

Discutido o que varia na evolução tecnológica, passo à determinação da maneira em que ocorre a variação. Um leitor incauto poderia levantar o seguinte questionamento: “não basta simplesmente constatar que há variedade? É realmente necessário precisar o mecanismo de surgimento da variação?”.

A verdade é que, mesmo que não se trate de algo indispensável para a caracterização da dinâmica evolutiva da tecnologia, a determinação dos mecanismos de surgimento de novas variações é inquestionavelmente benfazeja a este empreendimento teórico, uma vez que acaba por precisar se a percepção de variedade é mera impressão enganosa ou não. Tomo um artefato: uma televisão, por exemplo. Se ficar comprovado que anualmente surge uma nova geração desses artefatos, que todos os indivíduos daquela geração têm os mesmos caracteres e que são mais complexos do que os indivíduos das gerações passadas, haverá apenas uma enganosa percepção de variedade. De fato, na hipótese citada, a pretensa variedade só existe na comparação entre gerações diferentes, ocorrendo uma transformação (melhoria) harmônica e plena em todos os

indivíduos de uma nova geração. Num contexto como esse, não há espaço para a seleção, já que não há um padrão diferencial a ser selecionado.

Nota-se, portanto, que a compreensão do contexto de surgimento das novas variações ajuda a comprovar (ou falsificar) a existência de variedade intra-geracional, imprescindível para o desenrolar de um processo evolutivo. As quatro formas de surgimento de novidade abaixo listadas pretendem classificar o contexto da variação, especialmente em relação à quantidade de inovação e à presença de fatores estocásticos. A classificação é útil por dois importantes motivos: informa até que ponto a variação tecnológica pode ser considerada cega e estabelece uma boa base para sua comparação com a variação em biologia, um dos pontos centrais do capítulo seguinte.

2.3.2.1. Configuração e hibridização

No caso do surgimento das diferentes configurações dos indivíduos tecnológicos componentes de uma população, não há a adição de novos caracteres ao projeto da tecnologia, ocorrendo uma mera distribuição nova de caracteres pré-existentes. O fenômeno é muito semelhante à recombinação genética, uma vez que está no cerne do processo a produção de variedade através de novos arranjos de caracteres.

A recombinação genética é um processo consideravelmente mais estocástico do que a configuração tecnológica, uma vez que no segundo há certa coerência regendo a distribuição dos caracteres. De forma que, em geral, artefatos não combinam caracteres dissonantes (um computador com alta memória RAM dificilmente terá pouca memória ROM); dentre os indivíduos biológicos, no entanto, é comum a posse de caracteres dissonantes (um gueopardo pode nascer com plena capacidade de locomoção, porém com visão prejudicada).

Mas também se pode afirmar que a configuração tecnológica é um processo parcialmente *cego*, uma vez que não se sabe previamente se as versões produzidas de uma determinada tecnologia serão selecionadas pelo mercado consumidor. Os produtores lançam seus produtos com muitas configurações diferenciadas, mas não sabem quais linhas serão realmente bem-sucedidas. É óbvio que há inúmeros pré-testes com consumidores, mas isso deve ser considerado como parte de um processo de tentativa e erro.

A hibridização é, da mesma forma que a configuração, um processo de combinação de caracteres pré-existentes, sendo que os caracteres pertencem a espécies tecnológicas distintas. Tudo que se disse sobre a presença do fator estocástico na configuração pode ser reafirmado sobre a hibridização. Há uma série de casos análogos em biologia, como a troca horizontal de material genético entre bactérias e mesmo a hibridização entre espécies mais complexas. Importante ressaltar, apenas, que a hibridização é um fenômeno bem mais corriqueiro na tecnologia do que na biologia, uma vez que não há barreiras de cruzamento entre espécies tecnológicas.

2.3.2.2. Tentativa e erro canalizada

O que chamo de tentativa e erro canalizada é a pesquisa tecnológica fortemente limitada por conhecimento prévio, seja ele propriamente tecnológico ou científico. Há um processo de tentativa e erro, mas os seus resultados são restringidos.

Recorro a um exemplo teórico. Digamos que uma série de estudos científicos sugere que a adição do elemento “y” a certo composto químico daria ao mesmo uma nova propriedade “x”. Não apontam, no entanto, a maneira de adicionar o elemento “y”, nem a proporção ideal para a adição, muito menos as outras possíveis conseqüências da adição de “y”. Os tecnólogos interessados em produzir o composto com a propriedade “x” sabem, previamente, o resultado aproximado de sua pesquisa e têm em mente um número não tão extenso de caminhos para atingir seu objetivo. No entanto, vão ter de testar quase que aleatoriamente as formas de adicionar o elemento “y”: a proporção mais acertada, a maneira de evitar o surgimento de propriedades indesejadas no composto em virtude da mistura, a forma de reproduzir a operação industrialmente, as possíveis aplicações comerciais do composto com a propriedade “x”, a maneira segura de utilizá-lo etc.

Enfim, embora haja um alto grau de informação prévia sobre a variação a ser produzida, uma série de aspectos fundamentais do processo de inovação continua baseado em um processo de tentativa e erro, possuindo uma alta presença de fatores estocásticos. Um bom exemplo histórico dessa espécie de processo inovador é o Projeto Manhattan, que desenvolveu as primeiras bombas nucleares na primeira metade do Século XX. Os pesquisadores conheciam bem os fundamentos teóricos da fissão

nuclear, mas ainda não sabiam qual a melhor forma de preparar o material atômico, de acomodá-lo na bomba, de detoná-lo etc.

Com o avanço das ciências, muitos dos processos de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias tendem a se encaixar nessa categoria, já que as técnicas e artefatos são gradativamente mais assentados sobre o conhecimento científico, o que elimina uma parte do elemento estocástico da inovação.

2.3.2.3. Tentativa e erro cega (pseudo-serendipidade)

Já foi dito em momento anterior que a produção de um novo fármaco requer o teste de algo em torno de 10.000 compostos químicos diferenciados. A seleção ocorre por meio de experimentos em laboratório, em animais não-humanos e, por fim, em humanos. Além da seleção do composto adequado, é preciso testar a posologia e a forma de ministrar a substância. No início da pesquisa, não há conhecimento seguro que indique qual o composto que será o mais adequado, quais serão suas propriedades, seus efeitos colaterais, sua posologia etc. Soma-se a isso a incerteza quanto ao melhor método para sua produção em escala, armazenamento e comercialização. O fator estocástico está presente em todo o processo de inovação, pois apesar de o pesquisador ter clareza acerca do problema que pretende resolver, não sabe ainda qual o caminho que provavelmente conduzirá à solução.

Há muitos exemplos históricos interessantes nesse sentido. Daguerre, por exemplo, tentou de várias maneiras intensificar as imagens gravadas pela luz sobre as chapas de cobre banhadas de prata; por acaso, guardou uma das placas num armário cheio de substâncias químicas. No outro dia, a imagem tinha se intensificado consideravelmente. Daguerre passou a testar cada uma das substâncias que estava dentro do armário, aleatoriamente, mas nenhuma delas produziu o efeito. Experimentou, então, deixar a placa dormir no armário vazio e, no outro dia, observou novamente o efeito tão procurado. Por fim, descobriu que se havia quebrado um termômetro no armário e que ali havia vapor de mercúrio circulando pelo ar: eis a substância que intensificava as imagens (ROBERTS, 1995, p. 72)!

Daguerre não tinha a menor idéia de como solucionar seu problema e seguiu um padrão de testes quase aleatório, até que um mero acaso (o fato de ter-se quebrado o

termômetro no armário) o aproximou de uma primeira solução (no correr dos anos, viu-se que o uso do mercúrio era desastroso para a saúde dos fotógrafos).

Esse tipo de acontecimento é corriqueiro na pesquisa tecnológica. Roberts (1995) cita dezenas de casos como esse, desde os que envolvem descobertas de novas técnicas de manipulação de elementos químicos até o desenvolvimento de explosivos e fios de náilon. Roberts chama essa espécie de variação de pseudo-serendipidade porque, apesar de não ter conhecimento prévio do resultado que obterá ou mesmo de como alcançá-lo, o agente está em busca de uma inovação e trabalha de maneira coerente para encontrá-la. Em outras palavras, procura-se intencionalmente a novidade útil ao realizar um determinado ato.

Pode-se argumentar que o conhecimento científico, nesses casos, mesmo que não esteja ligado diretamente à estruturação de uma certa tecnologia, delimita o espaço do livre processo de tentativa e erro, uma vez que determina as relações naturais mais plausíveis. Daguerre, por exemplo, não tentou intensificar a imagem expondo as placas a algum tipo de som, nem acreditava que uma oração pudesse fazê-lo: testava o uso de compostos químicos, por mais disparatados que fossem. Essa observação será analisada no capítulo 3, quando comparadas a variação tecnológica e a biológica.

2.3.2.4. Surgimento aleatório (serendipidade)

Por vezes, a inovação tecnológica nasce do completo acaso. O primeiro corante artificial surgiu durante pesquisas para sintetizar o quinino; o pesquisador tentou usar como matéria-prima a anilina, que nunca o levaria ao resultado desejado. Mas o material obtido após as reações deixava a água completamente roxa e, verificou-se posteriormente, tingia tecidos (ROBERTS, 1995, p. 91). O corante foi desenvolvido de maneira completamente acidental.

O mesmo aconteceu com a borracha vulcanizada. Goodyer tentava achar qualquer tratamento que desse valor maior à borracha natural, mas não chegava a nenhum resultado proveitoso. Certo dia, deixou cair uma mistura de borracha e enxofre num fogão quente e a borracha ficou mais rígida e resistente, porém ainda flexível. Era o surgimento acidental da borracha vulcanizada (ROBERTS, 1995, p. 76). O neopreno,

outro exemplo, surgiu por uma acidental mistura de cloro em pesquisas com acetileno (ROBERTS, 1995, p. 80).

Se são comuns nos laboratórios as inovações acidentais, são provavelmente ainda mais corriqueiras no cotidiano de não-pesquisadores. Aqui, o elemento estocástico é quase total, uma vez que está praticamente ausente qualquer direção intencional no processo de inovação. E é por isso que Roberts caracteriza esses casos como de real serendipidade. Quando a mistura de borracha entrou em contato com o fogão quente, não havia a busca intencional pela inovação, mas um simples acontecimento aleatório, fora da esfera de influência de um agente que busca a novidade.

2.3.3. Como ocorre a seleção?

As discussões sobre a seleção tecnológica são consideravelmente confusas. Boa parte dos autores investe na idéia de seleção pelo *mercado consumidor* (BASALLA, 1988; LEWENS, 2004; NELSON & WINTER, 2005); outros parecem crer que os artefatos e técnicas são selecionados pela sua eficiência intrínseca (PETROSKI, 2007; DIAMOND, 2007); em outras obras, o conceito permanece nebuloso e é pouco abordado (ZIMAN, 2000).

A confusão é compreensível. Nasce da impressão peculiar de haver múltiplos ambientes de seleção na evolução tecnológica, cada um com a predominância de diferentes fatores de seleção. Passo a uma breve análise desse tópico.

2.3.3.1. Os múltiplos ambientes e critérios de seleção

O primeiro ambiente de seleção por que passam as novas variações tecnológicas é, para os que desconhecem a epistemologia evolutiva, um tanto inusitado: a mente humana. De acordo com os teóricos da epistemologia evolutiva, os animais humanos são *criaturas gregorianas* (DENNETT, 1998, p. 394), isto é, com a capacidade de projetar em suas mentes um cenário que simula o ambiente de seleção externo⁹. Isso faz

⁹ No capítulo seguinte, demonstrarei que a própria simulação mental do ambiente externo é, ela própria, um processo evolutivo.

com que as idéias geradas pelo sujeito sejam alvo de um processo seletivo interno, antes de serem convertidas em ação.

Essas considerações espelham-se fielmente na atividade de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, uma vez que experiências de pensamento dos pesquisadores levam ao descarte de uma série de possíveis variações tecnológicas prematuramente consideradas. Os critérios de seleção aí são variados, pois além de fatores como a coerência interna de um projeto novo, os tecnólogos representam a participação de elementos do ambiente externo. Portanto, pode-se também avaliar previamente a viabilidade comercial da inovação, sua compatibilidade com a moral pública ou com as diretrizes políticas de um Estado, etc.

Ao deixar de ser uma idéia interna ao sujeito e passar ao campo dos testes práticos, as inovações são submetidas, em geral, ao ambiente de seleção que podemos chamar de laboratório ou centro de pesquisa. Critérios de seleção de natureza política, moral ou religiosa têm pouca influência aqui. Em geral, as inovações são selecionadas nesse ambiente de acordo com sua eficiência técnica e viabilidade comercial. Inovações de grande impacto social ou de alta viabilidade comercial costumam passar por mais ambientes de seleção, tais como os setores de *design* e marketing (onde predominam critérios estéticos na seleção) ou governos (onde predominam critérios políticos, morais e econômicos).

Pode-se dizer que o último e inevitável ambiente de seleção das novas variações tecnológicas é a entidade abstrata comumente chamada de mercado. Os cidadãos-consumidores selecionam quais tecnologias vão adotar, atuando aí fatores de seleção de ordem econômica, moral, religiosa, política etc.

2.3.3.2. Natural ou artificial: a natureza ambígua da seleção tecnológica

Uma das grandes controvérsias entre os defensores da evolução tecnológica é acerca da qualificação da seleção das variações tecnológicas: pode-se dizer que é realmente uma seleção *natural*? George Basalla (1989, p. 136) afirma que a seleção tecnológica se aparenta mais com o que entendemos por seleção *artificial*, uma vez que as variações seriam introduzidas pela ação humana e que os mesmos agentes e fatores

que operam no momento do surgimento de novas variações estão presentes na etapa da seleção. Em momento posterior, no entanto, o autor afirma que:

“During the process of selection, humankind is constantly defining and redefining itself and its cultural situation. As it establishes its changing goals, technological choices are made that may affect the welfare of generations to come. This selection process is of crucial importance for present and future human history, yet it does not function in a rational, systematic, or democratic manner (BASALLA, 1989, p. 136).”

Aqui, as idéias estão truncadas: selecionamos de maneira coerente e consciente nossas alternativas tecnológicas ou a seleção é irracional, não-sistemática e não-democrática? Basalla parece misturar uma série de assuntos diferentes. Antes de mais nada, é preciso chegar a uma melhor definição do que seria uma seleção natural em oposição a uma seleção artificial. Não é correto afirmar que na seleção artificial de organismos as variações são introduzidas pela ação humana, como sugere Basalla. Os mecanismos biológicos que atuam na geração das variações de organismos submetidos a um processo de seleção artificial são os mesmos que operam nos processos sob seleção natural: tratam-se, nos dois casos, de recombinação e mutação genética...

Há, no entanto, uma diferença crucial na própria etapa de seleção (artificial) que acarreta impactos na etapa de geração de variação. Darwin, provavelmente influenciado por seu convívio com melhoristas de animais e plantas, inicialmente concebeu a seleção natural como *a sobrevivência dos mais fortes*¹⁰ (MAYR, 2004, p. 149). Com o passar dos anos, porém, os estudos comprovaram que o fenômeno está mais para o descarte dos organismos menos adaptados e a reprodução diferencial dos sobreviventes. Há, de fato, situações em que fatores ambientais severos propiciam uma verdadeira seleção dos mais fortes, mas essa não é a regra geral (MAYR, 2004, p. 150). O processo de seleção artificial, pelo contrário, realmente se baseia na *sobrevivência dos mais fortes*, uma vez que só os organismos (aparentemente) melhor adaptados são selecionados para gerar novas variações. De forma que as variações se darão em um universo menor e convergirão para a retenção e exacerbação dos caracteres presentes nos poucos indivíduos selecionados a cada etapa do processo.

¹⁰ A expressão “sobrevivência dos mais fortes”, no entanto, é da autoria de Spencer.

Qual dos cenários mais se assemelha à etapa de seleção que ocorre na evolução tecnológica? Como se defende aqui uma multiplicidade de ambientes seletivos, para cada um deles a resposta irá variar. Em um laboratório, por exemplo, a seleção é claramente de tipo artificial; no mercado de consumo, no entanto, a seleção (irracional, não sistemática e não democrática) é de tipo natural. De toda forma, a natureza artificial ou natural da seleção não parece ser um ponto controverso ou de grande importância para o processo evolutivo, já que ambas podem resultar em evolução dos organismos.

2.3.4. Como ocorre a replicação?

Por fim, a última etapa do mecanismo básico de um processo evolutivo é a replicação dos entes selecionados e, conseqüentemente, a retenção dos caracteres que os tornam mais adaptados ao ambiente. Se não houvesse a etapa final de replicação, o processo seria reiniciado sempre do zero e não haveria, portanto, a necessária acumulação de projetos (DENNETT, 1998, p. 71).

O processo de replicação dos entes tecnológicos, no entanto, parece mais complexo que seu correspondente biológico, uma vez que a reprodução massiva e, em boa parte dos casos, exata de artefatos e técnicas se diferencia da reprodução de projetos modificativos das mesmas tecnologias.

Para que fique clara a diferença entre as duas formas de replicação tecnológica, antes de discutir em abstrato as noções de replicação *industrial* e *inovativa*, analiso o exemplo de um automóvel popular brasileiro, o Gol, produzido pela Volkswagen. Já foram fabricados mais de 5 milhões de veículos com esse nome desde 1980, o que significa um estrondoso sucesso comercial. O Gol já possui quatro gerações e, na verdade, cinco grandes reconfigurações. Cada uma dessas gerações do artefato, por sua vez, compreende uma série de variações sobre o projeto original; de forma que a primeira geração (1980 – 1993) engloba um modelo básico (Gol BX) com motorização de 1300 ou 1600 cilindradas, o Gol Copa, o Gol GT, o Gol GTS e o Gol GTI, todas as versões contando com suas próprias variações internas. Ora, um Gol BX 1300 cilindradas produzido em 1984, por exemplo, é idêntico a um outro Gol BX 1300 cilindradas produzido nesse mesmo ano, mas diferente de um que tenha sido produzido em 1985, uma vez que foram introduzidas modificações no projeto. No caso de

automóveis exatamente do mesmo modelo, há uma replicação sem inovação, isto é, sem variação; no caso da replicação com modificações no projeto, pelo contrário, há formação de novidade, de variedade.

Não se pode negar que nas duas situações acima delineadas ocorre efetivamente uma replicação do artefato em questão; mas a variação é um elemento tão crucial para qualquer modelo evolutivo que vale a pena distinguir dois grandes tipos de variação tecnológica. Na replicação meramente industrial, ocorre a reprodução exata de um projeto tecnológico, enquanto que na inovativa há o inequívoco surgimento de novidades na tecnologia, decorrentes de modificações no projeto. Obviamente, a replicação meramente industrial é também um sinal de sucesso evolutivo de certo artefato ou técnica, mas é imensamente mais relevante a replicação com surgimento de inovações na tecnologia, uma vez que não há evolução sem variação.

Alguns artefatos e técnicas, sobretudo as últimas, não são passíveis de replicação industrial e em sua reprodução estão sempre presentes pequenas variações, não sendo razoável aplicar a elas a distinção entre os tipos de replicação. É o caso das técnicas médicas, por exemplo.

2.4 A evolução tecnológica: instanciação de algoritmo selecionista ou construção de modelo analógico?

Apresentada a estrutura básica da evolução tecnológica, que compreende as etapas de surgimento da variação, de seleção e de replicação, vale perguntar como se deve encarar o processo: melhor considerar a evolução tecnológica apenas como um campo onde está em operação um algoritmo selecionista ou vale a pena investir em um modelo analógico fundando em maiores similaridades com a evolução biológica? Este estudo defende que, além do reconhecimento da instanciação do algoritmo selecionista no processo de inovação tecnológica, é fértil buscar a estruturação progressiva de um modelo analógico que tenha como fonte a evolução biológica. Antes de debater a questão, farei uma breve exposição do algoritmo selecionista.

Autores como Campbell (1995) e Dennett (1998) afirmam que a estrutura básica da evolução tecnológica pode ser enxergada como uma espécie de processo algorítmico; a presença da tríade variação-cega+seleção+replicação, que deve ser entendida como um algoritmo, teria como efeito a evolução de um sistema.

Algoritmo pode ser definido como um processo formal capaz de produzir mecanicamente certo resultado, seja ele interessante ou não (DENNETT, 1998, p. 52 - 53). Dennett afirma que os algoritmos têm três características básicas: a) neutralidade do substrato; b) irracionalidade subjacente e c) resultados garantidos (DENNETT, 1998, p. 52 – 53). Por neutralidade do substrato devemos entender a possibilidade de aplicar um dado algoritmo a qualquer objeto, desde que esse último possa instanciar as etapas do processo algorítmico. A irracionalidade subjacente diz respeito à simplicidade extrema das etapas do processo, que não envolve qualquer forma de inteligência para funcionar. Quanto aos resultados garantidos, decorrem da invariabilidade de conseqüências de um algoritmo específico, desde que executado corretamente.

Há inúmeros tipos de algoritmos em operação na natureza e mesmo artificialmente criados pelo homem: a forja do aço, o arredondar-se dos seixos do mar, a formação de estalactites nas grutas etc. O que é um algoritmo selecionista? A resposta para a questão é bem simples. É um algoritmo que envolva uma etapa essencial de seleção mecânica de variações. *Mecânica* por ser independente de quaisquer critérios necessariamente inteligentes ou que venham a produzir resultados interessantes. Nem todos os algoritmos, por óbvio, vão envolver uma etapa de seleção. Um algoritmo que organiza nomes em ordem alfabética, baseado em escalonamento prévio da ordem das letras, por exemplo, não envolve nenhuma etapa de eliminação de variantes e preservação de outras.

Ao final da operação de um algoritmo selecionista ocorrerá, inevitavelmente, a promoção da aptidão das variantes de acordo com o critério de seleção atuante. Se há uma amostra de 10 milhões de cores e a cada etapa de sua aplicação o algoritmo seleciona as 90% mais próximas do azul marinho, por exemplo, a amostra final vai cada vez ficar mais próxima da referida cor. Esse, no entanto, é um resultado pouco interessante. A evolução das espécies pode ser entendida como a aplicação específica de um algoritmo selecionista ao substrato biológico, e que tem um resultado incrivelmente significativo. Mas essa continua sendo apenas uma das aplicações desse algoritmo, embora a mais evidenciada. O mesmo processo pode estar operando em outros campos completamente distintos.

Donald T. Campbell, um dos primeiros a estudar possíveis aplicações da idéia subjacente à seleção natural darwinista a outros campos, estabeleceu uma espécie de “dogma” selecionista, composto de três assertivas básicas:

1. “A blind-variation-and-selective-retention process is fundamental to all inductive achievements, to all genuine increases in knowledge, to all increases in fit of system to environment.
2. The many processes which shortcut a more full blind-variation-and-selective-retention process are in themselves inductive achievements, containing wisdom about the environment achieved originally by blind variation and selective retention.
3. In addition, such shortcut processes contain in their own operation a blind-variation-and-selective-retention process at some level, substituting for overt locomotor exploration or the life-and-death winnowing of organic evolution” (CAMPBELL, 1995, p. 4).

Esse processo, descrito pelas três assertivas do dogma como fator essencial, pode ser resumido em uma abreviada fórmula: BVSr. Textualmente, *Blind Variation and Selective Retention*. A evolução das espécies seria apenas um caso específico de operação do algoritmo BVSr, que estaria atuando em processos como o desenvolvimento de redes neurais, o funcionamento do sistema imunológico e a inovação tecnológica.

O reconhecimento da instanciação do algoritmo selecionista no processo de inovação tecnológica não é, de forma alguma, incompatível com a estruturação de um modelo analógico, mas levanta a necessidade de definir se realmente é melhor estudar a evolução tecnológica a partir da estruturação de um modelo analógico baseado na evolução biológica. Isso porque é possível argumentar que seria mais profícuo descobrir as especificidades da evolução tecnológica sem recorrer a analogias com a evolução biológica, reconhecendo, a princípio, como similaridade entre os dois fenômenos apenas a sua estruturação em torno de um algoritmo selecionista. John Ziman, por exemplo, ao tratar dos avanços da teoria da complexidade, afirma que suas descobertas

“...not only show that many familiar features of bio-organic evolution do not depend directly on the details of biological reproduction, ecological competition etc. *They also help to decouple evolutionary reasoning intellectually from its historical*

origins in evolutionary biology and molecular genetics” (ZIMAN, 2002, p. 3 – destaquei).

Eis aí, portanto, uma defesa clara de um distanciamento da evolução biológica, justamente num artigo em que Ziman trata da evolução tecnológica!

O que vai determinar se realmente basta reconhecer a instanciação do algoritmo seletcionista no fenômeno de inovação tecnológica, ao invés de perseguir a estruturação de um modelo analógico que tenha a evolução biológica como sistema fonte? A resposta é razoavelmente simples: a abundância ou escassez de analogias neutras entre os sistemas envolvidos na modelagem (sistema fonte e sistema alvo).

Retomando as considerações do capítulo anterior, um modelo analógico bem construído desempenha um papel relevante “...na construção de teorias, ao sugerir uma linguagem teórica e hipóteses explicativas para um novo universo de fenômenos” (ABRANTES, 1999, p. 256). Antes da estruturação do modelo analógico, há apenas descrições parciais do sistema alvo, basicamente compostas por sentenças observacionais. A construção de uma representação plena e coerente do sistema alvo, a partir da representação disponível de um sistema fonte, é o objetivo da modelagem analógica (ABRANTES, 1999, p. 257).

Em outras palavras, um modelo analógico pode ser fundamental para a compreensão de um grupo de fenômenos sob estudo. Mas nem sempre a modelagem será um empreendimento bem-sucedido. É possível afirmar que a estruturação de um modelo analógico será fracassada por dois motivos primordiais: ou porque as analogias neutras se revelaram negativas ao cabo de uma análise mais apurada; ou, mesmo, porque não há uma quantidade considerável de analogias neutras que apontem para a fertilidade do modelo. No primeiro caso, é durante o processo de construção do modelo que se descobre que, apesar das aparentes similaridades entre os dois sistemas, não há relações analógicas consistentes entre eles. Mas para que se chegue a essa conclusão, repita-se, é preciso dar início à estruturação do modelo. No segundo caso, diferentemente, sequer se chega a iniciar a elaboração do modelo, uma vez que não há entre os dois sistemas similaridades superficiais bastantes para que se dê prosseguimento a um empreendimento teórico dessa natureza.

É certo que esta pesquisa não traz todos os elementos necessários para a determinação conclusiva acerca de boa parte das analogias neutras entre a evolução

biológica e a evolução tecnológica, exceto no que diz respeito às similaridades integrantes da estrutura básica do modelo – isto é, as analisadas neste capítulo – e algumas mais que estão exploradas nos capítulos seguintes da dissertação. De forma que não se pode descartar a possibilidade de que outras analogias neutras, mapeadas em trabalhos sobre evolução tecnológica, revelem-se posteriormente analogias negativas.

Mas o que se pode afirmar categoricamente desde já, é que há uma profusão de analogias neutras entre os dois sistemas e que há bons indícios de que a maioria dessas analogias mostre-se positiva. O reconhecimento dessa circunstância permite dizer que não basta reconhecer a possibilidade de instanciação de um algoritmo seletivista abstrato no processo de inovação tecnológica. É possível, e é preciso, ir além, apostando na descoberta de similaridades em níveis menos elevados de abstração entre evolução biológica e tecnológica.

Neste capítulo, fiz uma exploração das analogias em torno dos conceitos de ambiente, critério de seleção, espécie, indivíduo, caractere, variação e reprodução, considerando-as analogias positivas. Mas há outras analogias neutras a serem exploradas. É fato que muitas das analogias neutras entre a evolução biológica e a tecnológica já figuraram em textos técnicos sobre tecnologia ou até fazem parte da linguagem corriqueira acerca do assunto. É o caso da aplicação à tecnologia dos conceitos de nicho, de co-evolução e de convergência. Uma pesquisa na rede mundial de computadores com as palavras chaves *nicho tecnológico*, *co-evolução tecnológica* e *convergência tecnológica* vai revelar uma enorme quantidade de resultados, abrangendo desde artigos acadêmicos até textos de jornais e *blogs*. Algumas outras já foram abordadas apenas em textos que estudam a aplicação de modelos evolutivos à tecnologia. Por exemplo, um interessante artigo de Gerry Martin (2000, p. 90 - 98), trata da aplicação do conceito de *stasis* à tecnologia. E há muitas outras que ainda não foram levantadas.

Para dar uma rápida idéia da profusão de analogias neutras entre evolução biológica e inovação tecnológica, vale listar alguns conceitos típicos da biologia com possível aplicação ao domínio da tecnologia. Parecem se encaixar nessa situação os conceitos, retirados dos glossários de Ridley (2006, p. 701-708) e Futuyma (2002, p.578 a 586), de *adaptação*, *canalização*, *co-evolução*, *comensalismo*, *convergência*, *ecótipo*, *evolução reticulada*, *filogenia*, *homologia*, *hibridismo*, *mimetismo*, *mutualismo*, *nicho*

ecológico, rélito, radiação adaptativa, simbiose. Ainda é possível listar outros conceitos da biologia evolutiva, ausentes dos glossários acima indicados, mas plenamente aplicáveis à tecnologia, tais como *corrida armamentista, exaptação, extinção* e *stasis*.

Essa considerável quantidade de analogias neutras entre os dois sistemas mostra que a estruturação de um modelo analógico, apesar de não ter sucesso garantido, pode ser viável e promissor. Resta, no entanto, saber se há analogias negativas realmente significativas, a ponto de desencorajarem as tentativas de estruturação de um modelo analógico. Isso é o que farei no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 3 – DESANALOGIAS: EXPLORANDO AS FRAGILIDADES DO MODELO DE EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

O capítulo anterior devotou-se à tarefa de estabelecer com clareza as analogias fundamentais entre a evolução biológica e o processo de inovação tecnológica, de modo a demonstrar a viabilidade de um modelo de evolução tecnológica. Caso falhasse a tentativa de se estabelecer o núcleo do modelo, todo o empreendimento poderia ser de plano descartado. Resta verificar, entretanto, se há alguma dessemelhança entre os dois sistemas que seja significativa o bastante para descaracterizar o modelo, a despeito do caráter positivo das analogias referentes ao mecanismo básico de variação, seleção e replicação.

É essa a tarefa deste terceiro capítulo: explorar as fragilidades de um modelo de evolução tecnológica, analisando a procedência das mais contundentes desanalogias apontadas entre evolução biológica e dinâmica tecnológica.

De início, tratarei de uma dessemelhança fundamental: a ausência de uma boa analogia para genótipo/fenótipo e a conseqüente inexistência de um análogo para a barreira weismanniana na evolução tecnológica. Posteriormente, escrutinarei os diversos argumentos que apontam um caráter lamarckista da evolução tecnológica, o que comprometeria uma abordagem estritamente darwinista.

3.1. O germe e o soma: uma desanalogia fundamental

A expressão latina *germe* tem como significado primordial *origem*. A expressão de raiz grega *soma*, por sua vez, tem como significado básico *corpo*. As duas expressões foram as primeiras utilizadas por biólogos para delimitar uma divisão fundamental da biologia. Ainda no final do século XIX, começou a estabelecer-se a diferença entre as células germinativas e as células somáticas, com grande impacto na compreensão do sistema de herança dos organismos. A caracterização das linhas celulares em germinativas e somáticas guarda estreito paralelo com as divisões entre genótipo/fenótipo e replicador/interagente. Cada um dos três pares de conceitos revela um enfoque particular, mas o objeto da divisão é sempre o mesmo: a dicotomia entre o *corpo* e a *origem* do corpo.

Desde já, afirmo não identificar um correspondente na evolução tecnológica para essa quase incontestável dicotomia biológica, a despeito de haver posições diferenciadas acerca do tema entre os que estudam a evolução cultural. Nas seções seguintes dissecarei a razão da divisão entre germe e soma em biologia e discutirei o impacto da desanalogia na estruturação do modelo analógico que proponho para a dinâmica tecnológica.

3.1.1. Replicadores e interagentes: erigindo a barreira

À época em que Darwin escreveu *A origem das espécies*, ainda não se sabia ao certo como funcionava a herança biológica, o que era uma explícita fragilidade de sua teoria. Somente após a sua morte a questão foi esclarecida, por meio da redescoberta e desenvolvimento dos estudos de Gregor Mendel. Em virtude dessa lacuna científica, o campo estava aberto para especulações. O próprio Darwin chegou a defender mais de um sistema de herança, tendo admitido, inclusive, a herança de caracteres adquiridos (HULL, 1984, xli). Esses fatos têm sido utilizados por alguns para demonstrar que a evolução não requer uma forma específica de hereditariedade.

É preciso ressaltar que o argumento é contestável, uma vez que a teoria da evolução passou por um longo período de desprestígio na academia – do final do Séc. XIX ao início do Séc. XX – justamente por não apresentar uma boa resposta para problemas relacionados à hereditariedade. Esse momento negativo só cessou quando os fundadores da chamada teoria sintética da evolução conseguiram incorporar os avanços da genética ao pensamento evolutivo (FUTUYMA, 2002, p.10).

O primeiro dos defensores radicais de um sistema de herança com separação absoluta entre as células germinativas e as células somáticas foi August Weismann (MAYR, 2005, p. 134-135). Weismann argumentava que as células germinativas tinham capacidade de originar outras células de mesma natureza e também as células somáticas; as células somáticas, por sua vez, podiam apenas formar outras células somáticas, nunca podendo dar origem a uma célula germinativa (FUTUYMA, 2002, p. 9). Partindo desse ponto, forçoso concluir que não poderia haver influência de caracteres adquiridos durante a vida de um indivíduo na determinação das características de sua progênie.

Weismann buscava apoio para suas afirmações teóricas em pesquisas empíricas, a mais famosa delas envolvendo amputação de caudas de várias gerações de ratos – sem que houvesse qualquer alteração na formação das caudas das gerações subseqüentes. Mas suas idéias não chegaram a exercer uma grande influência no meio acadêmico, muito menos a arrefecer o ânimo de biólogos neolamarckistas (HULL, 1984, p. li). Provavelmente porque Weismann não explicava a hereditariedade, somente descartava a ocorrência de herança de caracteres adquiridos em alguns poucos casos práticos, o que claramente não era o bastante para encerrar a controvérsia em torno do tema.

O resgate das pesquisas de Mendel foi o fator realmente crucial para a compreensão da hereditariedade e acabou por abrir o caminho para o estabelecimento inequívoco da evolução darwinista, uma vez que ficava provado o caráter particulado e discreto da herança genética. Além disso, usando as ferramentas da genética mendeliana, os pesquisadores puderam descaracterizar pretensos casos de herança de caracteres adquiridos (FUTUYMA, 2002, p.10). O avanço no estudo da hereditariedade nos organismos acarretou na confirmação da tese de Weismann, segundo a qual somente as células germinativas poderiam produzir outras células germinativas, não havendo conexão entre o que acontece no corpo de um indivíduo durante sua vida em função de seus hábitos e os caracteres herdados por sua descendência. Erigia-se uma barreira intransponível entre o *germe* e o *soma*, a chamada Barreira de Weismann.

Embora a Barreira de Weismann seja alvo de alguma contestação¹¹, sua influência na biologia evolutiva é marcante. Especialmente no que diz respeito a dois pares de importantes conceitos que são extensões naturais da separação entre *germe* e *soma*: genótipo/fenótipo e replicador/interagente. Futuyma dá uma boa definição dos conceitos de genótipo e fenótipo:

“Genótipo: o conjunto de genes que um organismo individual possui; (...) Fenótipo: as propriedades morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, comportamentais e outras de um organismo manifestadas ao longo de sua vida, que se desenvolvem pela ação de genes e pelo ambiente;” (FUTUYMA, 2002, p. 581).

¹¹ Kronenfeldner (2007, p. 496) traça breve panorama das discussões sobre herança epigenética, a qual, argumenta-se, desafiaria a barreira de Weismann.

Mayr cita Dawkins e Hull, respectivos autores dos termos *replicador* e *interagente*, para precisar seu sentido:

“Dawkins, o autor do termo, afirma: 'Podemos definir replicador como toda entidade no universo que interage com seu mundo, incluindo outros replicadores, de modo a que cópias de si mesmo sejam feitas'. Ele também afirma que 'a molécula de DNA é o replicador óbvio'. (...) Hull percebeu a inadequação do termo *veículo* por considerar que o objeto de seleção interage 'como um todo coeso com seu ambiente'. Para enfatizar essa interação ele propôs o termo *interagente*, 'como uma entidade que interage diretamente como um todo coeso com o seu ambiente, de tal modo que a replicação [ele se referia à reprodução] é diferencial” (MAYR, 2005, p. 169 – 171).

Em termos concretos, os conceitos de germe/soma, genótipo/fenótipo e replicador/interagente tratam do mesmo objeto, mas têm focos bem distintos. A divisão germe/soma, a mais antiga da seqüência, separa as células gaméticas das somáticas sem recorrer a idéias introduzidas pela genética mendeliana, cruciais para a biologia evolutiva moderna. A divisão de tipos celulares fica evidenciada, mas sua essência ainda não resta esclarecida. A divisão genótipo/fenótipo, pelo contrário, explora a diferença real entre o conjunto gênico de um organismo e o próprio organismo resultante daquela codificação genética e de interações com o ambiente. Já não se trata de um postulado sobre tipos celulares, como o que havia formulado Weismann, mas uma decorrência da compreensão do sistema de herança em biologia.

A divisão replicador/interagente surge, por sua vez, da necessidade de reproduzir em termos abstratos a divisão genótipo/fenótipo. O gene é enquadrado na categoria de replicador, que pode conter outros objetos com as mesmas propriedades de replicação com alta fidelidade. Dawkins, criador da expressão, asseverou que o termo é amplo o bastante para abarcar situações em que os replicadores não têm natureza genética, como no caso dos *memes* e de organismos extraterrestres (MAYR, 2005, p. 169). Ao cunhar o termo *replicador* para abranger objetos como os genes, Dawkins também elegeu um termo para tratar os fenótipos de forma mais abstrata. Sua escolha recaiu sobre a expressão *veículo* (MAYR, 2005, p. 169), o que demonstra sua visão centrada na figura do gene, em detrimento dos fenótipos. Hull, considerando reducionista a utilização do termo *veículo* para a caracterização de estruturas correspondentes aos fenótipos,

introduziu a expressão *interagente*. Esse conceito, definido em parágrafo anterior, ressalta o papel dos organismos em um sistema evolutivo, uma vez que são eles que interagem com o ambiente seletivo e que se reproduzem diferencialmente.

Como afirmei no início desta seção, as três divisões são de natureza muito similar: ao fim, todas elas, a sua maneira, criam uma barreira entre o organismo (soma, fenótipo ou interagente) e o ente responsável pela hereditariedade (germe, genótipo ou replicador); esse último refere-se àquilo que tem a função de replicar-se com fidelidade razoável, enquanto o primeiro refere-se ao que entra em contato com as pressões seletivas do ambiente. Além da divisão, a barreira estabelece um fluxo de mão única da informação, partindo do germe para o soma – nunca ocorrendo o inverso. Essas duas características estão presentes na evolução biológica, sendo natural perguntar se há um análogo no modelo de evolução tecnológica. A posição deste estudo, exposta na seção seguinte, é de que não há similaridade entre biologia e tecnologia nesse sentido, mas que esse fato não prejudica a formatação do modelo.

Ressalto que, para a discussão acerca da existência de similaridades entre biologia e tecnologia, é preciso centrar no binômio replicador/interagente, e não em germe/soma ou genótipo/fenótipo. A razão disso é que a analogia não precisa abarcar as particularidades dos entes replicadores e interagentes biológicos – basta que cumpram as mesmas funções. Como os conceitos de germe/soma e genótipo/fenótipo carregam em si informações sobre a natureza dos entes biológicos (células germinativas e genes), melhor evitar sua utilização na busca de similaridades.

3.1.2. A ausência da divisão replicador e interagente na evolução tecnológica

Não há consenso na literatura sobre a existência de replicadores e interagentes na evolução tecnológica. Alguns autores – como Ziman (2000, p. 5-6), Hull (1984, p. lix), Lewens (2005, p. 144-151) e Maria Kronenfeldner (2007, p. 503-504) – exploram os embaraços inevitáveis para a determinação de entes replicadores e interagentes na evolução tecnológica ou cultural. Há outros que defendem a existência de replicadores e interagentes específicos para tecnologia, como Mokir (2000, p. 58-59) e Fleck (2000, p. 259). E, por fim, é possível apontar os *memes* como replicadores da evolução

tecnológica, a exemplo de Dennett (1998, p. 349), sendo as técnicas e/ou artefatos os interagentes.

No capítulo 2 desta dissertação, defendi que as tecnologias, sejam técnicas ou artefatos, têm como contraparte um projeto que as descreve. O projeto é o conjunto de informações que viabiliza a reprodução de uma determinada tecnologia, podendo-se afirmar, por meio de uma metáfora esclarecedora, que o projeto é o “negativo” de uma técnica ou artefato. Sendo assim, porque não considerar o projeto como sendo o replicador e as tecnologias a partir deles produzidas como sendo os interagentes? Seria possível, inclusive, entender o projeto de uma tecnologia como um complexo de memes, aproveitando o largo trabalho teórico já realizado no campo da memética. Não há dúvidas de que esse seria um interessante caminho para um modelo de evolução tecnológica, uma vez que seria possível estabelecer uma série de similaridades com o sistema biológico de herança. Mas, a despeito de quão vantajosa possa ser tal analogia, é preciso reconhecer que ela é simplesmente impraticável.

Isso pelo simples fato de que há, na prática, uma extrema confusão entre projetos tecnológicos e as respectivas tecnologias; além disso, que os papéis de replicação e interação não estão plenamente repartidos entre essas duas figuras. Em relação ao primeiro ponto, inegável reconhecer que alguns objetos são projeto e tecnologia ao mesmo tempo: protótipos e modelos físicos são inegavelmente artefatos, mas seu papel primordial é de projeto para um artefato final; bem como um projeto piloto de uma técnica já é uma técnica, mas não deixa de ser projeto.

O segundo ponto que impossibilita a analogia é que os projetos, em certa medida, também são interagentes e as técnicas e artefatos também são replicadores! Enquanto o código genético de um organismo está isolado do ambiente (na imensa maioria dos casos, ao menos) os projetos tecnológicos circulam nos mesmos ambientes em que as tecnologias são selecionadas, de forma que eles também interagem com o ambiente e passam por processos de seleção. Durante a concepção do *design* de um automóvel, por exemplo, uma série de projetos é analisada, desde esboços até modelos físicos. Resta claro, portanto, que os projetos tecnológicos não são somente replicadores. Por sua vez, os artefatos e técnicas também servem, freqüentemente, de replicadores, sempre que deles se retira o substrato para a duplicação de uma tecnologia. Lewens defende um ponto de vista bastante similar:

“The answer, then, to the question of whether artifacts are replicators is that artifacts of all types can sometimes be replicators in some contexts. Sometimes, however, they act as interactors without also acting as replicators. And in many cases even when they act as replicators they are also involved in the replication of other items such as beliefs or manufacturing process” (2005, p. 150).

Em outras palavras, não há uma separação estável e clara entre replicação e interação.

Os dois óbices apresentados – a corriqueira indissociação projeto/tecnologia e a não repartição estanque do papel de interação e replicação – são razões mais do que bastantes para deixar de lado a infrutífera busca de uma analogia para o par de conceitos replicador/interagente na evolução tecnológica. A ausência dessa analogia pode trazer consigo, no entanto, alguns embaraços para estruturação de um modelo de evolução tecnológica, de forma que é necessário determinar se condena o modelo de evolução tecnológica ao fracasso, ou se simplesmente o impinge de características especiais em relação à evolução biológica. Em resumo, é imprescindível saber se, na ausência de uma distinção clara entre replicador e interagente, pode haver um processo evolutivo. A pergunta pode ser reformulada – de maneira menos sintética, porém mais esclarecedora – do seguinte modo: os processos evolutivos apenas ocorrem quando os seus respectivos sistemas de herança funcionam a partir de uma rigorosa separação entre replicadores e interagentes?

É incontestável que todo processo evolutivo depende de um sistema de herança. Como se disse no capítulo 2, a terceira etapa do processo evolutivo (a replicação) envolve a retenção das variações selecionadas. Se as novas gerações de organismos, ou de tecnologias, não retivessem os traços dos seus predecessores reprodutivamente bem sucedidos, nunca haveria o acúmulo de inovações necessário para ocorrer o que entendemos por evolução. O que é preciso saber, no caso, é se todos os processos evolutivos exigem um sistema de herança estritamente similar ao biológico, especialmente no que diz respeito à existência de replicadores bem definidos.

Em primeiro, vale recordar que Darwin publicou *A Origem das Espécies* sem saber como funcionava a herança, uma vez que não teve contato com a obra de Mendel. Os dados que estavam disponíveis à época, no entanto, eram suficientes para

demonstrar que havia intensa variação intra-específica e que as características de cada organismo tendiam a se repetir em sua progênie – isto é, a prole de certo ser vivo tende a possuir mais semelhanças com seu progenitor do que com o resto da população. E isso já era bastante para comprovar o funcionamento de um processo evolutivo.

É preciso reconhecer, porém, que a lacuna quanto à hereditariedade trouxe sérios problemas para o estabelecimento da teoria da evolução das espécies, notadamente por entrar em choque com algumas teorias populares sobre os mecanismos que regulavam a herança de caracteres. O caso mais notório nesse sentido foi a controvérsia entre Darwin e Fleeming Jenkin, uma vez que esse último procurava comprovar que a evolução era uma teoria inválida por não ser compatível com a chamada “herança por mistura”, em que a prole de certo casal herdaria o meio termo de suas características. A objeção era que “Se a herança por mistura acontece (...) uma população rapidamente se tornará homogênea e, assim, a seleção natural não terá efeito; quaisquer variações recém-surgidas serão igualmente perdidas pela homogeneização” (FUTUYMA, 2002, p. 9). À época, a argumentação era ameaçadora para o pensamento darwinista. Hoje, no entanto, sabe-se que a herança não ocorre por mistura e, portanto, que o argumento de Jenkin não tem validade. O episódio serve para ilustrar a fragilidade da teoria da evolução das espécies enquanto ainda não se havia desvendado o funcionamento da herança.

No entanto, no caso da controvérsia que acabo de expor, o sucesso da teoria nunca esteve em jogo em virtude de não existir separação entre replicadores e interagentes. Aliás, a herança por mistura poderia muito bem ocorrer em um cenário em que essa separação existisse; bastaria que os replicadores dos progenitores moderassem os efeitos mútuos, gerando descendência com características medianas... O problema da herança que funciona por mistura não é, efetivamente, a especificidade de sua configuração – se há interagentes e replicadores bem definidos, em quantas fases se desdobra, que partículas físicas estão envolvidas etc. – mas a qualidade de seus resultados finais!

Como a herança por mistura não produziria cópias minimamente fiéis dos progenitores, e sim um meio termo entre os organismos envolvidos na reprodução, não haveria como ocorrer um processo evolutivo. A verdade é que o sistema de herança não precisa ter uma formatação padrão para que haja evolução, mas é estritamente necessário que seja capaz de produzir cópias com grau considerável de fidelidade; e a

existência de replicadores e interagentes bem definidos não é imprescindível para que um mecanismo de herança produza cópias fiéis. Com efeito, mesmo na biologia há bons exemplos de herança sem divisão replicador/interagente. Hull (1984, p. xli) cita o caso dos paramécios: a replicação não-genética de características de seu corpo obriga reconhecer o próprio organismo como replicador. Outro bom exemplo da relativização da divisão replicador/interagente em biologia são os vírus, tiras de DNA ou RNA que se replicam e interagem com o ambiente de maneira indistinta... Aliás, boa parte dos seres unicelulares simples causa dúvidas na definição de replicadores e interagentes. Afora os citados exemplos extraídos do universo biológico, é possível realizar experiências de pensamento para demonstrar que outros sistemas de herança sem replicadores e interagentes bem definidos podem produzir cópias fiéis, podendo servir de base a processos evolutivos. Foi justamente isso que Dawkins fez em seu famoso artigo *Universal Darwinism* ao demonstrar que organismos hipotéticos com a capacidade de herdar caracteres adquiridos – sem a barreira de Weismann e, portanto, separação entre replicadores e interagentes – têm de estar sob a influência de um mecanismo darwinista para poder evoluir (DAWKINS, 1988, p. 20-21)

O que se pode concluir com segurança a partir das considerações prévias é que a divisão rígida entre replicadores e interagentes não é essencial para a ocorrência de um processo evolutivo, sendo possível que as funções de replicação e interação sejam desempenhadas de maneira mais livre pelas estruturas componentes do sistema de herança. O essencial, na verdade, é que os resultados obtidos no momento da replicação sejam cópias consideravelmente fiéis dos seus predecessores. De forma que a desanalogia entre tecnologia e biologia verificada quanto a essa matéria não condena ao fracasso a elaboração do modelo de evolução tecnológica; apenas indica que a herança, no caso da tecnologia, ocorre de maneira singular.

3.2. A evolução tecnológica à sombra de Lamarck

Início esta seção parodiando a célebre frase primeira do Manifesto Comunista: um fantasma ronda a evolução cultural – o fantasma do lamarckismo. A sentença, a despeito de sua verve jocosa, é perfeita para representar a relação entre os estudos sobre evolução cultural, aí circunscrita a evolução tecnológica, e a obra do naturalista francês Jean-Baptiste de Lamarck. O fato é que a imensa maioria das discussões sobre a

viabilidade de modelos darwinistas de evolução cultural analogicamente constituídos se dá em torno das sempre renovadas acusações de lamarckismo por parte dos críticos da idéia. Há controvérsias a respeito de quais traços lamarckistas efetivamente estariam presentes nesses modelos evolutivos e outras que focam nos prejuízos que haveria em reconhecer certo lamarckismo na evolução cultural.

Tentarei trilhar aqui os dois caminhos: procurar traços lamarckistas e tentar mensurar quais os impactos de suas confirmações para a evolução *tecnológica*. Destaquei *tecnológica* para evitar qualquer má interpretação das linhas que vêm a seguir. Embora a imensa maioria das considerações exaradas neste capítulo abarque a generalidade dos modelos evolutivos aplicados a itens culturais, é prudente ressaltar que o foco é indiscutivelmente a tecnologia; a extrapolação das conclusões para a totalidade dos itens culturais sem dúvida requer certo grau de cautela. Feita essa ressalva, passo para uma resumida descrição da obra de Lamarck.

3.2.1. Lamarck e o lamarckismo

Lamarck publicou seu livro *Philosophie Zoologique* em 1809, cinquenta anos antes da primeira edição de *A Origem das Espécies*. Nela, Lamarck defende que as espécies transmutaram de formas extremamente simples até as formas complexas que hoje se pode observar, negando a imutabilidade das espécies. O que explica ter ele se tornado o anátema do pensamento evolutivo, talvez mais combatido e desqualificado que o próprio criacionismo? O ponto central da questão está no tipo de evolução das espécies por ele defendida.

A teoria de Lamarck se baseava em duas leis biológicas fundamentais: 1) lei do uso e desuso, segundo a qual o uso de uma função seria crucial para o desenvolvimento e fortalecimento do órgão a que está ligada; 2) lei da herança dos caracteres adquiridos, segundo a qual as espécies passam para sua prole os traços que adquiriram durante sua existência individual. Na linguagem da teoria sintética da evolução, poder-se-ia resumir ambas as teses na idéia de que os fenótipos variam de acordo com o uso de suas funções e tais variações são assimiladas pelo genótipo e passadas para os descendentes.

Mesmo quem entende bem pouco de biologia sabe que as idéias de Lamarck estão longe de serem acertadas. Na realidade, as coisas se dão de maneira simplesmente

inversa. As variações ocorrem no genótipo e de maneira desacoplada das transformações fenotípicas, as quais, via de regra, não são herdadas. Além de flagrantemente equivocada, a teoria de Lamarck padecia de um outro mal, apenas sutilmente conectado às proposições acima expostas. O naturalista francês acreditava numa evolução de caráter teleológico: a vida tenderia a assumir formas mais complexas, gradualmente se aproximando da perfeição. Por sua natureza originalmente científica e sua popularidade junto aos leigos, a obra de Lamarck foi arduamente combatida por darwinistas ortodoxos, que nela viam retrocessos teóricos e um possível nicho para os defensores de teleologismos abomináveis.

A afirmação de que a evolução tecnológica seria lamarckista pode ter uma série de significados bem diversos, uma vez que a teoria de Lamarck pode ser subdividida. Analiso, com mais detalhes, quais são suas partes, para posteriormente discutir de que modo podem ser relacionadas com a evolução tecnológica e a validade dessas relações.

3.2.1.1. Lei do uso e desuso

O primeiro componente da teoria original de Lamarck é a lei do uso e desuso, segundo a qual haveria o fortalecimento ou desenvolvimento dos órgãos superutilizados pelos organismos e a atrofia dos órgãos sub-utilizados. Não há melhor exemplo que o fornecido pelo próprio Lamarck e que veio a se tornar a mais célebre ilustração de seu pensamento: o pescoço da girafa.

O impressionante comprimento do pescoço da girafa teria se originado do esforço de gerações e gerações de indivíduos daquela espécie para alcançar alimento em locais mais elevados; o uso dos músculos do pescoço teria estimulado um modesto crescimento em seu comprimento nos indivíduos e, por fim, toda a espécie teria pescoços maiores graças à herança dos caracteres adquiridos (que será analisada na próxima seção). A lei do uso e desuso seria alimentada e guiada por uma *força interna*¹² das espécies, núcleo da teleologia na obra de Lamarck (que também será estudada mais adiante). É a partir da lei do uso e desuso que a herança dos caracteres adquiridos e a força interna se situam na teoria de Lamarck: a primeira garante que as modificações

¹² Há uma série de denominações para esse elemento. Alguns autores preferem *energia vital*, *fluidos invisíveis* etc. Utilizo aqui a denominação constante de Ridley (2006), isto é, *força interna*.

advindas do uso e desuso se acumulem no correr das gerações e a segunda garante o surgimento e direcionamento correto das transformações.

Embora a lei do uso e desuso seja elemento essencial do pensamento lamarckista, não será explorada aqui a sua possível existência no campo da tecnologia. Principalmente, porque não há quem levante essa hipótese; mas também porque ela, nesse contexto, é realmente absurda. Nenhuma técnica ou artefato se desenvolve pura e simplesmente em virtude de seu uso. As técnicas, decerto, ficam inalteradas, já que não têm existência física. Os artefatos, por sua vez, se depreciam quando utilizados. Sendo assim, não é proveitoso alongar um debate sobre a lei do uso e desuso na evolução tecnológica.

3.2.1.2. Herança dos caracteres adquiridos

O traço lamarckista mais popular entre os leigos em biologia também é um dos mais aventados nas discussões sobre evolução tecnológica. Consiste em um sistema de herança que permite a passagem de modificações ocorridas durante a vida de um organismo para a sua descendência, isto é, a herança de caracteres adquiridos, já ilustrado na seção pretérita, com o caso do alongamento dos pescoços de girafas.

Ressalte-se que, na ausência da lei do uso e desuso e da forte teleologia lamarckista, a herança dos caracteres adquiridos perde sua dimensão original, ganhando contorno mais restrito. Na teoria de Lamarck, essa modalidade de herança possibilita a manutenção dos ganhos do uso e desuso e, assim, o direcionamento da força interna dos organismos. Nesse contexto, por exemplo, entende-se porque as experiências realizadas por Weismann com a supressão não herdada de caudas de ratos eram consideradas insuficientes para os lamarckistas (HULL, 1984, p. 1): não havia uso e desuso e, essencialmente, a força interna daquela espécie não apontava para aquele caminho evolutivo. Desligada dos demais elementos constitutivos da teoria de Lamarck, a herança dos caracteres adquiridos deixa de ser uma idéia corretamente rotulada de lamarckista para remeter a uma idéia geral sobre a herança do Séc XIX.

A despeito disso, a herança dos caracteres adquiridos é imputada à evolução tecnológica por um considerável número de autores (alguns deles apontados no cap. 2), sendo classificada como uma evidência de sua natureza lamarckista.

3.2.1.3. Teleologia

Lamarck argumentava que os seres vivos encerravam em si uma espécie de força interna que os levaria naturalmente a estágios mais complexos, fazendo-os galgar uma espécie de escada do progresso biológico. Essa força promoveria, em conjunto com o uso e desuso e a herança dos caracteres adquiridos, a transformação das espécies mais simples (como as bactérias) em espécies mais complexas (como os animais) (RIDLEY, 2006, p. 31). Essa crença de Lamarck impingia sua teoria com forte caráter *teleológico*, no sentido de que há uma direção pré-determinada para o processo evolutivo e, ainda, uma espécie de ponto de chegada na escala evolutiva.

Da mesma forma, há quem defenda a existência de uma *necessidade* que guiaria a dinâmica tecnológica rumo a uma maior complexidade e eficiência. Apesar de não serem autores ligados diretamente a literatura sobre evolução tecnológica, são muitos os defensores de alguma versão do progresso tecnológico e, portanto, o tema deve ser analisado.

3.2.1.4. Instrucionismo

Nas discussões acadêmicas mais refinadas, o rótulo do lamarckismo é traduzido como instrucionismo – conceito que guarda certa distância do pensamento original do naturalista francês. Instrucionismo, em breve resumo, é a passagem de informações do ambiente para o genótipo, de forma a direcioná-lo à melhor variação – fenômeno que também pode ser denominado como um acoplamento entre ambiente e variação.

Na evolução darwinista, as variações do organismo são independentes de pressões ou informações do ambiente e não se baseiam em um cálculo de utilidade adaptativa: são, em última medida, *cegas* (ABRANTES, 2005, p. 14). Uma vez que não há direcionamento ambiental na geração de variações, pode-se dizer que não há acoplamento entre as duas esferas. Se ocorresse o oposto, poder-se-ia afirmar que o ambiente *instrui* o organismo quanto à variação mais proveitosa – daí a expressão instrucionismo.

A idéia de instrucionismo abarca, deve-se reconhecer, alguns dos pontos-chave da obra de Lamarck, mas não o faz de maneira exata e desconsidera outros elementos

essenciais do pensamento do zoólogo francês. Na teoria lamarckista, a combinação da lei do uso e desuso com a herança dos caracteres adquiridos é uma forma inequívoca de instrução ambiental: por meio da retenção das modificações proveitosas ocorridas em virtude da interação entre organismo e ambiente, haveria um claro direcionamento das variações geradas. A teoria de Lamarck, entretanto, é apenas um caso particular de instrucionismo, termo que abrange outras possíveis formas de acoplamento entre organismo e ambiente. Além disso, não se encaixa no conceito o significativo papel da força interna que estaria presente nos organismos de acordo com a versão original do lamarckismo - uma vez que o direcionamento decorrente de sua atuação não seria uma instrução do ambiente, e sim uma “pré-programação evolutiva” do próprio ser vivo.

Embora o instrucionismo esteja distante de algo que pudesse ser encarado como um genuíno lamarckismo, é a concepção mais aventada quando se discute a natureza lamarckista ou darwinista de modelos evolutivos, como o modelo de evolução tecnológica. Merece, portanto, atenção especial deste trabalho.

3.2.2. Lamarckismos, desanalogias e depurações no modelo de evolução tecnológica

Nas seções seguintes, serão debatidos os pretensos lamarckismos da evolução tecnológica. Cada um dos tópicos trata de uma modalidade de lamarckismo – herança dos caracteres adquiridos, teleologia e instrucionismo – conjugando uma investigação acerca da própria manifestação do traço lamarckista com uma apuração do impacto que desanalogias (mesmo que parciais) podem ter na viabilidade e configuração do modelo de evolução tecnológica.

3.2.2.1. Herança dos caracteres adquiridos

Há duas maneiras radicalmente diversas de se encarar a assertiva de que há herança dos caracteres adquiridos na evolução tecnológica. Pode-se focar as técnicas e artefatos como os caracteres adquiridos e herdados por indivíduos biológicos (neste caso, seres humanos); pode-se também enxergar as próprias tecnologias como os entes que herdam caracteres adquiridos. A primeira perspectiva não é, absolutamente, do interesse deste trabalho. O modelo de evolução tecnológica aqui analisado difere largamente de outros modelos evolutivos em que os itens culturais, incluindo a

tecnologia, são caracteres *carregados* por seres biológicos. Nesse caso, aliás, Hull e Kronenfeldner, dois autores que analisaram a questão com profundidade, convergem para a conclusão de que o fato de haver herança de caracteres culturais adquiridos é trivial (HULL, 1984, p. lix-lx; KRONENFELDNER, 2007, p. 502), uma vez que a barreira wesmeïniana trata meramente da herança biológica (genética) e que a cultura, nesse sentido, é exemplo incontestado de herança de caracteres adquiridos.

Para este estudo, é relevante apenas a segunda perspectiva acerca da herança de caracteres adquiridos, qual seja, aquela em que as tecnologias estão no centro do processo evolutivo e que, presumidamente, herdariam os caracteres adquiridos em sua vida útil. Kronenfeldner (2007, p. 502) afirma, acertadamente, que se trata de um emprego metafórico do termo, já que o mesmo foi originalmente cunhado para se referir à herança biológica. A idéia geral da herança de caracteres adquiridos na evolução tecnológica é enganosamente simples: um artefato ou técnica é modificado e suas versões posteriores herdam a nova característica. Kronenfeldner dá um exemplo do que considera como um caso de herança dos caracteres adquiridos utilizando a fabricação de potes. Um artesão usualmente faz potes sem asas:

“One day, while making the traditional pot, he added a handle to the pot. Since then, he informs his apprentices to make pots with handles. Inheritance of acquired characteristics prevails, if an apprentice, who receive the information from the potter, copies the changes of the potter's work that are 'acquired', i.e., that were not part of the original pot” (KRONFELDNER, 2006, p. 503).

Sua intrigante conclusão, a partir do exemplo acima exposto, é a de que a evolução cultural, no caso a tecnológica, pode ser ou não lamarckista! Tudo irá depender dos aprendizes do artesão copiarem ou não os novos caracteres do pote. Caso copiem, haverá herança de caracteres adquiridos, segundo a autora. Esse exemplo e suas conseqüências me interessam sobremaneira, especialmente porque o pote de cerâmica é um artefato. As palavras exatas de Kronfeldener são as que seguem:

“The important point is that the modifications that cultural items acquire *can* be inherited, but at the same time they *do not have* to be inherited. It depends on each individual case whether the changes are inherited or not. Although there are other factors as well, two important factors that determine whether the 'acquired'

changes are transmitted are the decisions made by the apprentice and those made by teacher. (...) Human beings can *decide whether inheritance is Lamarckian or not*” (KRONFELDNER, 2006, p. 503).

A argumentação da autora é interessante e coerente, mas há um sério problema com o exemplo por ela adotado. O fato é que a modificação apontada pela autora não é de forma alguma *adquirida*. Se assim fosse, deveria ter surgido durante o tempo de vida útil do artefato, nunca no momento de sua concepção. Lewens é preciso ao tratar da herança de caracteres adquiridos na evolução tecnológica:

“At best, it would seem to mean that alterations to an artifact, say, would be read back into the process or ideas that initially gave rise to it. So we might imagine drawing a blueprint for an artifact, *building the artifact, finding some accidental and useful change occurs to the artifact during its lifetime, and then revising the blueprint of new artifacts to reflect this change*” (LEWENS, 2005, p. 153 – destaquei).

Fica claro, no excerto, que as modificações têm de advir após a produção do artefato para que se possa considerá-las *adquiridas*, coisa que não acontece no exemplo de Kronenfeldner, já que o pote ganha asas no momento de sua produção. De forma que os caracteres não são adquiridos; muito pelo contrário, são *inatos*. Sua herança, portanto, é completamente compatível com o darwinismo ortodoxo.

Mas a incorreção do exemplo escolhido não pode prejudicar fatalmente o argumento teórico, a não ser que todos os outros possíveis casos de herança dos caracteres adquiridos na evolução tecnológica padeçam da mesma fragilidade. É possível, porém, achar um caso que ilustre com mais exatidão a idéia exposta por Kronenfeldner, isto é, um caso em que haja efetivamente caracteres adquiridos. Antes, no entanto, é preciso fazer umas poucas observações sobre a magnitude da discussão. A primeira afirmação que me permito fazer é a de que não são tão comuns os casos em que há possibilidade de herança de caracteres adquiridos na evolução tecnológica. As modificações que ocorrem durante a vida útil de aparelhos de televisão, automóveis, ferramentas de construção civil etc., simplesmente não são levadas em conta no momento da produção de uma nova geração desses artefatos; tampouco o

procedimento-padrão de uma técnica cirúrgica é modificado a cada reprodução dessa técnica médica.

Há, todavia, um número considerável de casos que ficam numa zona cinzenta. Um *software* comercial, por exemplo, não transmite para suas próximas gerações as modificações que porventura ocorreram na máquina dos usuários; afirmar o mesmo em relação a um *software* livre, por outro lado, é bem questionável. No caso dos programas de computador de código aberto, popularmente chamados de *softwares* livres, os usuários podem alterar a formatação básica do programa como quiserem, dando início a uma nova linhagem de *softwares* com os caracteres impingidos pelo usuário que introduziu as modificações. Seria esse um caso de herança dos caracteres adquiridos? Há uma série de casos similares. Alguns fabricantes de maquinário pesado, por exemplo, pedem que seus clientes sugiram alterações a serem incorporadas pelas futuras versões dos artefatos. Algum deles pode sugerir uma modificação que já tenha realizado no maquinário que adquiriu; caso a sugestão seja aceita pelo fabricante, seria esse também um caso de herança de caracteres adquiridos? Defendo que isso vai depender do uso da classificação replicador/interagente em cada uma dessas situações.

Na biologia, a separação bem demarcada de replicadores e interagentes, bem como o fácil reconhecimento do momento de replicação tornam simples e intuitiva a distinção entre caracteres inatos e adquiridos: as modificações surgidas na replicação são inatas¹³ e durante a interação do organismo com o ambiente são adquiridas. A ausência desses dois fatores na evolução tecnológica cria, conseqüentemente, dificuldades imensas para operar a mesma distinção. Volto ao já citado caso do *software* livre modificado por um usuário. Quando o usuário acessa o código fonte e introduz alterações, ele está obviamente modificando uma tecnologia pré-existente, mas ao mesmo tempo está criando uma variante nova daquela tecnologia. Qual diferença há, de fato, entre as alterações promovidas por um programador profissional de uma empresa e por um programador amador? Não estão ambos criando uma nova versão de um programa? Porque o primeiro fenômeno deve ser considerado replicação e o segundo mera modificação por contato ambiental?

O caso do maquinário é idêntico. Se um dos compradores o modifica e posteriormente sugere a adoção da alteração ao fabricante, não teria havido replicação

¹³ Ou antes da replicação, uma vez que afetem o código genético.

no momento em que foi introduzida a modificação? Ou só pode ser assim considerada a modificação promovida pelo próprio fabricante? Defendo neste trabalho a inaplicabilidade da separação replicador/interagente na evolução tecnológica, assumindo que tanto as tecnologias como seus projetos cumprem os dois papéis; decorre daí que todas as introduções de inovação são formas de replicação, não sendo correto considerá-las modificações adquiridas por mera interação com o ambiente. Não importa se o inventor é profissional, se trabalha numa empresa, se age por conta própria, se fez uma alteração modesta; *o que realmente conta é que houve um esforço deliberado para a criação de uma nova variante de certa técnica ou artefato.*

Essas considerações são frontalmente opostas ao que propõe Kronenfeldner, que classificaria os casos acima analisados como herança dos caracteres adquiridos. Nota-se, portanto, que não é apenas o seu exemplo sobre potes que é frágil. Na verdade, toda sua argumentação é falha, pois a autora não distingue corretamente as hipóteses de modificação inata e adquirida, como Lewens faz. Esse último tem uma posição bem mais interessante sobre o tema, capaz de levar o debate mais além. Isso porque Lewens não trata das modificações deliberadamente promovidas em técnicas e artefatos como caso possível de herança de caracteres adquiridos – se o fizesse teria recaído no mesmo erro de Kronenfeldner – acentuando que a mudança deve ocorrer acidentalmente (LEWENS, 2005, p. 153), o que muda as coisas de figura.

Como já se viu, Lewens admite que a distinção plena entre replicadores e interagentes não pode ser reproduzida na evolução tecnológica, o que cria uma série de embaraços para a compreensão do que seria uma herança de caracteres adquiridos por técnicas e artefatos; mesmo assim, o filósofo investe na idéia de que o fenômeno ocorreria quando um caractere adquirido acidentalmente por um artefato ou técnica fosse incorporado no processo de inovação pelo qual foi concebido (LEWENS, 2005, p. 153). Mas ressalta que o reconhecimento de uma situação como essa dependerá essencialmente do ponto de vista do observador em relação à introdução da mudança na tecnologia: se tomar a tecnologia em questão como replicador e interagente, é possível enxergar a mudança não como caractere adquirido, mas como o surgimento de um novo indivíduo – seria o caso de *softwares* baseados em algoritmos evolutivos; no entanto, uma vez que considere o artefato ou técnica *apenas* como interagente, pode-se considerar a mudança como um caso de caracteres adquiridos (LEWENS, 2005, p. 153).

Nessa última hipótese, não há uma atividade de replicação, mas uma mera interação da tecnologia com o ambiente físico ou social. Recorro novamente aos potes, assumindo que eles sempre foram fabricados com asas. Um certo dia, um pote cai e apenas suas asas quebram. Por um acaso, um artesão toma conhecimento do ocorrido, se agrada do pote sem asas e resolve produzir um como aquele. Fatos como esse acontecem com alguma frequência no mundo tecnológico – como se demonstrou no cap. 2, são casos de serendipidade plena¹⁴ – e realmente podem ser encarados como uma espécie de herança dos caracteres adquiridos.

Mas cabem algumas considerações. Em primeiro lugar, é preciso assumir que apenas a introdução de modificações não induzidas por seres humanos pode ser considerada nesse contexto; modificações aleatórias provocadas e supervisionadas por inventores, por exemplo, são legítimos momentos de replicação. É necessário, ainda, que a modificação seja observada e corretamente replicada em uma próxima geração de artefatos ou técnicas, fazendo sentido, somente nesse caso, a argumentação de Kronenfeldner acerca da influência humana sobre a herança do caractere adquirido. Por fim, imprescindível recordar que essa espécie de evento tende a ocorrer apenas com tecnologias menos complexas, uma vez que mudanças aleatórias não supervisionadas dificilmente geram efeitos consideráveis (para que possam ser notados) e aparentemente desejáveis (para que alguém queira replicá-los) em um artefato ou técnica mais complexos, tais como automóveis e técnicas laboratoriais; ainda mais por serem poucos os que poderiam replicar as modificações adquiridas em futuras gerações daquela tecnologia.

Dentro do pequeno universo de casos que se encaixam nas exigências expostas nos parágrafos anteriores, no entanto, reconheço que há uma espécie de herança dos caracteres adquiridos. Mas até que ponto isso distancia a evolução tecnológica da evolução biológica? Acredito que o impacto desse “lamarckismo residual” seja mínimo. Em primeiro, porque a própria biologia conta com algo bem parecido... De fato, há situações que parecem não se enquadrar num darwinismo estrito. Hull cita alguns exemplos interessantes:

¹⁴ Mas é preciso notar que muitas das vezes esses eventos não preservam uma tecnologia antecessora. Reações químicas, por exemplo, produzem compostos com propriedades radicalmente distintas dos reagentes, sendo mais apropriado tratar o evento como a criação de um novo artefato (como um corante), do que a modificação de compostos pré-existentes.

“Under certain conditions, somatic cells change into germ cells and produce new organisms, as in the case of vegetative reproduction. In such cases, changes in somatic cells might produce changes in the germ plasma. With the discovery of chromosomes, DNA, etc., the relevant distinctions had to be drawn and redrawn. For example, modifications in the body of a paramecium can be transmitted to later generations during fission independently of the organism's hereditary material” (HULL, 1984, p. xli).

Ao descrever os avanços em pesquisas sobre o sistema imunológico, Hull volta ao mesmo ponto. Tratando de seu possível caráter não darwinista, afirma que “finally, and most importantly, Gorezynski and Stelee claimed that they had actually succeeded in transmitting immunological tolerance in mice from one generation to another” (HULL, 1984, p. liii). São exemplos que demonstram a existência de fenômenos aparentemente lamarckistas também na biologia.

É possível argumentar, entretanto, que essa herança ligada ao sistema imunológico, e mesmo à divisão celular do paramécio, pode ser classificada como epigenética, isto é, independente de genes; e, ainda, que a negação da herança dos caracteres adquiridos só vale para o material genético, não dizendo respeito a outros sistemas de herança. Kronenfeldner afirma, nesse sentido, que:

“Thus, what has been excluded from the darwinian paradigm through the central dogma of molecular genetics is the *genetic* inheritance of acquired characteristics, and not epigenetic inheritance. (...) It does not prove that the central dogma is wrong; it merely proves that genes are not the sole hereditary material” (KRONFELDNER, 2006, p. 496).

É uma consideração questionável. Weismann não tinha a menor idéia da existência do que hoje se entende por genética e, portanto, não tinha em mente uma restrição como essa para sua separação entre germe e soma; ele realmente pretendia negar qualquer espécie de herança de caracteres adquiridos. Mas a argumentação passa a ser mais aceitável se se foca apenas o neo-darwinismo, que conjugou ao darwinismo os estudos de inspiração mendeliana. Se a observação de Maria Kronenfeldner está correta, no entanto, todo o extenso debate sobre a herança de caracteres adquiridos em

sistemas de herança não-genéticos, inclusive o que conduzo aqui, não tem muita razão de ser: herança de caracteres adquiridos passa a ser algo trivial quando a transmissão do material hereditário não é genética. Em outras palavras, além da desanalogia óbvia (e trivial) decorrente do fato de não haver genes na evolução tecnológica, não haveria qualquer outra dessemelhança entre os dois sistemas relacionada à herança de caracteres adquiridos.

Esvazia ainda mais o sentido da discussão o fato de que a herança dos caracteres adquiridos não é incompatível com um processo de seleção. Muito pelo contrário. Dawkins examina a questão e faz ver que a existência de caracteres adquiridos adaptativos e não-adaptativos traz a necessidade de um mecanismo darwinista para que haja evolução:

“Lamarckian inheritance will move in adaptive directions only if some mechanism – selection – exists for distinguishing those acquired characters that are improvements from those that are not. Only the improvements should be imprinted to the germ line. (...) The relevance of this would-be Lamarckian evolution is that there it has to be a deep Darwinian underpinning even if there is a Lamarckian surface structure: a Darwinian choice of which potentially acquirable characters shall in fact be acquired and inherited” (DAWKINS, 1998, p. 20-21).

Tudo leva a crer, portanto, que a difundida suspeita de que um modelo de evolução cultural teria natureza lamarckista em virtude da presença de herança de caracteres adquiridos é bastante infundada. Como foi demonstrado nesta seção, é possível encarar apenas um número bastante restrito de casos reais como herança de caracteres adquiridos por tecnologias; a herança não-genética de caracteres adquiridos também existe na biologia; e mesmo nos casos em que essa espécie de herança ocorre, a persistência dos caracteres adquiridos e herdados dependerá fundamentalmente de um processo de seleção estritamente darwinista. Pelo exposto, nota-se que não há, em relação a esse primeiro traço lamarckista, uma desanalogia fundamental entre evolução tecnológica e biológica.

3.2.2.2. Teleologia

Um outro possível traço lamarckista na evolução tecnológica seria a existência de alguma teleologia orientando o processo evolutivo. Segundo Daniel McShea:

“Lamarck (1809) believed that simple organisms arise spontaneously and that their lineages transform over time in the direction of increasing complexity. Driving these transformations are invisible fluids, present initially in the environment and kept in a constant motion by the sun’s energy. Somehow these fluids become bottled up inside organism, and once there they act internally” (MCSHEA, 1998, p. 628)

Haveria, portanto, uma espécie de meta, tendência ou direção subjacente ao processo evolutivo. A crença em uma evolução teleológica, seja ela biológica ou tecnológica, está intrinsecamente ligada à idéia de progresso; essa última é fruto das agudas mudanças sociais ocorridas durante os séculos XVIII e XIX em virtude dos avanços da economia e, especialmente, da tecnologia. De acordo com Ruse:

“Progress is an idea of the eighteenth-century enlightenment encouraged by advances in science and technology, people became increasingly convinced that virtually unlimited improvement in human knowledge and welfare is possible, if only we work long enough and hard enough. (...) In the world of organisms, where people were already used to thinking of everything as a part of an ordered Chain of Being, from the simplest to the most complex, progress was taken to mean evolution: a natural process of development, from the most primitive life form, the ‘monad’, right up to the most complex and sophisticated and best, human beings, our own species” (RUSE, 1989, p. 589).

A teleologia em processos evolutivos pode ser resumida na idéia de que haveria um direcionamento; em outras palavras, o processo evolutivo produziria naturalmente seres melhores, em algum sentido, do que seus predecessores. A discussão é sobremaneira interessante, especialmente em virtude da forte ligação entre tecnologia e progresso no senso comum, mas é possível afirmar de antemão que não se encontrarão aí quaisquer desanalogias entre evolução tecnológica e biológica, já que também se travam fortes contendas em biologia sobre o mesmo tema.

O fato é que a evolução darwinista, qualquer que seja seu objeto, abre espaço para a defesa de uma noção de progresso; apesar de a adaptação ter sempre valor local,

há vários pesquisadores que defendem a existência de uma tendência natural para o acréscimo de eficiência, complexidade ou tamanho em decorrência do processo evolutivo. Ruse (1998, p. 616) levanta alguns critérios com que se pretende medir o progresso absoluto na evolução biológica, citando a complexidade, tamanho e longevidade, todos os critérios com evidentes embaraços práticos. Em relação ao acréscimo de complexidade, Daniel McShea (1998, p. 642) recorda a sua incompatibilidade com casos como o dos mamíferos que retornaram à vida aquática, passando a ter uma estrutura vertebral mais simples. Em relação ao crescimento do tamanho como símbolo de progresso e aumento de complexidade, Ruse (1998, p. 618) argumenta que, por esse critério, os dinossauros seriam mais complexos que os seres humanos, afirmativa extremamente questionável. Em relação à longevidade individual ou de uma espécie, como evitar a comparação da longevidade da espécie humana com a existência realmente longeva de árvores e suas espécies?

No caso da tecnologia, os mesmos obstáculos se interpõem no caminho de uma teoria do progresso absoluto. A eficiência de um martelo e de um computador, por exemplo, é incomensurável; a complexidade e o tamanho de artefatos e técnicas costuma diminuir em muitos casos, como no caso dos automóveis, que estão ficando menores e com motores menos potentes, ou dos utensílios domésticos, cada vez menos numerosos e de uso mais intuitivo; a longevidade de um artefato simples como uma faca de boa qualidade é muito maior do que a de artefatos complexos como um frágil telefone celular. Em resumo, a eleição de um critério para mensuração de progresso absoluto é problemática também no universo tecnológico.

A solução é investir em uma noção mais fraca de progresso, conhecida como progresso comparativo. Progresso comparativo é o avanço relativo de certas espécies em contraposição a outras, algo como um saldo positivo da competição inerente à evolução darwinista. O conceito tem plena aplicação na evolução tecnológica, sendo, inclusive, inspirado em fenômenos do mundo tecnológico:

“Comparative progress is a Darwinian notion, centring on selection. (...) Much attention has been paid recently to one particular form, the so-called arms race, in which organisms compete and evolve, throwing up methods of attack and defence in a way analogous to human weapon development” (RUSE, 1998, p. 610).

Essa é, como mencionei, uma versão fraca de progresso, não sendo possível identificá-la como uma forma de teleologia do processo evolutivo. O progresso comparativo na evolução não aponta uma direção pré-determinada; apenas ressalta as melhorias comparativas entre espécies que surgem em razão da seleção natural, sem integrá-las em uma escala absoluta de progresso. Além disso, é uma noção comum à biologia e à tecnologia, não podendo se encarada como uma desanalogia.

3.2.2.3. Instrucionismo

Passo agora à análise do instrucionismo, última e mais complexa versão do lamarckismo. O conceito foi explanado de forma simplificada quando de sua apresentação em seção anterior, uma vez que o objetivo era apenas o cotejamento com as idéias originais de Lamarck. É o momento de explorá-lo em seus detalhes e determinar com a maior exatidão sua possível manifestação na evolução tecnológica.

Para que se possa compreender plenamente o conceito de instrucionismo, é imprescindível examinar a origem, desacoplada do ambiente, de variações na evolução biológica. Os dois mecanismos básicos da introdução de variação em biologia são a mutação e a recombinação (RIDLEY, 2006, P. 117), sendo que o primeiro processo envolve mudança em molécula de DNA (em razão de um erro de cópia no momento da replicação do código genético) e o segundo envolve intercâmbio de DNA entre pares de cromossomos (em razão de sobrecruzamento de cromossomos durante a replicação do código genético). Dizer que a mutação e a recombinação atuam de forma desacoplada do ambiente é afirmar que não há uma tendência para o surgimento de variações adaptativas, isto é, a variação não atende às pressões seletivas em atuação. De acordo com Ridley:

“Uma propriedade básica do darwinismo determina que a direção da evolução, especialmente da evolução adaptativa, está dissociada da direção da variação. Ao ser criado um novo genótipo recombinante ou mutante, não há qualquer tendência de ele surgir no sentido de uma melhora adaptativa” (RIDLEY, 2006, p. 119).

Essa mesma assertiva pode ser exposta de maneira ainda mais clara e robusta se se utiliza uma linguagem estatística para demonstrar que se quer afastar qualquer hipótese de influência de fatores ambientais envolvidos na seleção na determinação da variação, por mais que tal influência não venha a ser determinante. Kronenfeldner afirma com segurança que o darwinismo contemporâneo “not only excludes an instructive influence of environment. It also excludes the environment from having *any* influence on the *chance* that a new variant is adaptive. If the selective environment has absolutely no influence on the occurrence of adaptive features, variation is *statistically not biased towards adaptivity*” (KRONENFELDNER, 2007, p. 498).

Farei ver que os enunciados de Ridley e Kronenfeldner devem ser relativizados ou, ao menos, expressos com maior exatidão. Interpretadas sem cautela, considerações como essas correntemente conduzem a falsas conclusões. A mais comum de todas é a percepção infundada de que a variação biológica ocorre aleatoriamente, por força do puro acaso. Os próprios biólogos fomentam essa espécie de confusão ao utilizarem conceitos com pouco cuidado. Futuyama, por exemplo, afirma que “As mutações ocorrem ao acaso” (FUTUYMA, 2002, p.80). A sentença isolada (como muitas vezes é citada) leva a crer que todas as mutações possíveis têm a mesma probabilidade de ocorrer, surgindo como numa espécie de jogo de azar. Na continuação das suas considerações, Futuyama diz justamente o oposto:

“As mutações ocorrem ao acaso. Isto não quer dizer que todos os locos mutam à mesma taxa, nem que todas as mutações imagináveis sejam igualmente prováveis. Nem quer dizer que as mutações independem de efeitos do ambiente; substâncias mutagênicas no ambiente aumentam a taxa de mutação. A mutação acontece ao acaso, no sentido de que a probabilidade de ocorrência de uma dada mutação não é afetada pela utilidade que a mutação possa vir a ter” (FUTUYMA, 2002, p.80).

Melhor seria dizer que as mutações não surgem por força de sua utilidade adaptativa ou que são *cegas* às pressões seletivas, sem envolver a confusa expressão *ao acaso*. Descuidos como esses fizeram com que autores adotassem, mesmo que circunstancialmente, a visão de que a geração de variação em biologia seria aleatória¹⁵,

¹⁵ Paulo Abrantes (ABRANTES, 2004, p. 40) cita, por exemplo, Ruse e Cassini; Ziman (ZIMAN, 2000, p. 7) também confunde variação randômica e cega em certas ocasiões. Em geral, são os críticos da aplicação do darwinismo à cultura que sustentam esse entendimento, ingavelmente equivocado.

turvando um pouco o debate sobre a estruturação de modelos evolutivos darwinistas para itens culturais. É preciso ter em mente, portanto, que o desacoplamento (ou a ausência de instrucionismo) não implica variações aleatórias, mas variações que não surgem para satisfazer, em qualquer medida, as pressões seletivas do ambiente.

Feitos esses esclarecimentos básicos, passo ao caso da tecnologia. As alegações são, como se pode intuir, no sentido de que modelos de evolução cultural, incluídos os que dizem respeito à tecnologia, seriam lamarckistas em virtude da existência de um acoplamento entre o ambiente seletivo e a geração de variação nos itens culturais. Haveria, assim, uma instrução do ambiente quanto à variação adaptativa. Esse acoplamento seria fruto da intencionalidade dos inovadores responsáveis pela produção de novos itens culturais (no caso específico deste trabalho, os tecnólogos) e ainda pela racionalidade dos que os adotam:

“The factors responsible for the generation of conceptual variants can also function in their selection. People in general and scientists in particular are problem solvers. They think up new ideas *in order* to solve problems. Sociocultural evolution is not a matter of chance variation and natural selection but of purposive variation and rational selection” (HULL, 1984, p. lx – lxi).

Kronenfeldner, expondo conceitos e hipóteses propostos por Richerson e Boyd, desenvolve melhor as idéias expostas por Hull no excerto acima citado:

“Boyd and Richerson call the process of problem solving or learning 'guided variation' and present it as creating a 'Lamarckian effect' in cultural evolution. (...) They assume that, after an individual has solved a problem, the output is 'usually favorable'. The new item that is then fed into the cultural transmission process is already directed. (...) Guidance through cognitive guiding criteria leads, first of all, to *directedness at a cognitive level*, and, second, as a consequence, to *directedness at the populational level of culture*” (KRONENFELDNER, 2007, p. 508 – 509)

Haveria, portanto, dois “instrucionismos” na evolução cultural: um ligado à intencionalidade e inteligência dos inovadores – que conseguem determinar a variação com mais probabilidade de ser adaptativa – e outro à racionalidade dos que adotam a

variante cultural – capazes de perceber a vantagem inerente àquela nova variante. As duas observações padecem de falta de consistência, pelas razões a seguir expostas.

Analisarei primeiramente a hipótese de que a seleção racional levaria a um espraiamento *direcionado* das novas variantes culturais. É preciso ressaltar que o tema não é de grande relevância para esta pesquisa, já que diz respeito a modelos de evolução cultural em que os itens culturais são, como os genes, *carregados* e *transmitidos* pelos seres humanos – um modelo, portanto, em que os seres biológicos capazes de desenvolver cultura estão no centro da evolução, e não os próprios itens culturais. Já foi explicitado diversas vezes que o modelo evolutivo analisado nesta dissertação tem outra natureza; no caso, são os itens tecnológicos que evoluem, ocupando papel análogo ao dos organismos na evolução biológica. Apesar disso, será útil para o debate posterior esclarecer algumas das questões envolvidas na hipótese de transmissão direcionada.

A discussão não tomará muito tempo, pois as premissas da hipótese são frágeis. A primeira delas é a de que a introdução de novas variantes culturais se dá por meio de *solução de problemas*. Admito que é o caso da tecnologia, objeto deste estudo, mas estender a assertiva para *todos* os itens culturais é claramente inadequado. Que problema tenta resolver o compositor de uma música, o autor de um poema, o fundador de uma religião, o criador de uma modalidade de esporte, o pioneiro de uma rota turística etc.? Nenhum. Para esses itens culturais – praticamente todos os que não estão ligados à ciência e à tecnologia – a hipótese perde toda sua vitalidade, uma vez que a segunda premissa, de que o saldo da resolução de um problema é usualmente favorável a quem o resolve, depende da confirmação da primeira premissa. Se não há resolução de problemas envolvida, não há qualquer garantia de saldo favorável para o inovador, obviamente.

Em relação aos itens culturais que efetivamente surgem por meio da resolução de problemas, a hipótese de transmissão direcionada também está equivocada. Inicialmente, vale dizer que a resolução de problemas científicos abstratos e sem efeito prático imediato não costuma trazer favorecimentos concretos aos que os solucionaram¹⁶, cabendo também retirá-los da esfera de abrangência da hipótese.

¹⁶ Por vezes, acontece o contrário. Giordano Bruno e Galileu Galilei são bons exemplos nesse sentido.

Restam os itens culturais ligados à resolução de problemas tecnológicos e à parcela dos problemas científicos com relevância para o desenvolvimento de novas tecnologias. No entanto, tampouco esses se submetem plenamente à transmissão direcionada. Isso porque a percepção da vantajosidade de uma nova variante tecnológica é altamente relativa: os possíveis usuários adotarão posições díspares, mesmo que haja muitos indícios de sucesso por parte dos que *carregam* a nova variante. O que os defensores da transmissão direcionada não conseguem perceber é que a seleção de variantes tecnológicas não é uma escolha racional baseada na mensuração objetiva de eficiência por parte dos usuários. A decisão de adotar uma nova tecnologia, como vimos no capítulo 2, envolve critérios estéticos, políticos, religiosos, morais etc. e uma percepção não linear de eficiência – inclusive por não haver apenas uma solução válida para um dado problema.

De forma que todas as premissas da transmissão direcionada (inovação cultural como mera solução de problemas, vantajosidade garantida das soluções e seleção racional baseada na mensuração objetiva de eficiência) estão equivocadas; forçoso concluir que a própria hipótese deve ser descartada.

Passo, assim, para análise da versão de instrucionismo que realmente tem relevância para o modelo de evolução tecnológica aqui estudado, aquela que diz respeito ao acoplamento tecnologia-ambiente por meio da intencionalidade e inteligência dos inovadores culturais e, especificamente, dos tecnólogos. Para possibilitar a discussão qualificada do assunto, no entanto, é preciso conhecer melhor os detalhes do argumento instrucionista, uma vez que a mera afirmação de que os inovadores são inteligentes e possuem a intenção de produzir variações adaptativas não explica como a partir daí pode se ter uma efetiva instrução do ambiente. Todos os inovadores são instruídos da mesma maneira e na mesma intensidade? Porque algumas variações têm sucesso e outras não? Seria a diferença de inteligência ou de força da intenção inovadora? Lewens, acertadamente, afirma que:

“...to offer ‘genius’ as an explanation for creative success is really to offer no explanation at all. The goal of understanding creativity is to explain how it is that some of us who want to produce wonderfully engineered artifacts or perfect crafted music are unable to carry out these desires, while a few people are. To label

these few with the power of ‘creative genius’ is simply to rename the problem” (LEWENS, 2005, p. 160).

Enveredar pelo caminho do “gênio criativo”, que seria capaz de captar as instruções ambientais, não é frutífero. O inventor bem sucedido figuraria como um homem especial (o inventor heróico do Séc. XIX), capaz de definir qual seria a melhor variação a introduzir, por exemplo, num artefato a partir das instruções que colhe (não se sabe ao certo como) no ambiente circundante – ele efetivamente *sabe* que a variante terá sucesso; o inventor mal-sucedido, por sua vez, não seria capaz de perceber essas mesmas instruções ambientais e, então, falharia. Note-se que o bom inventor é presciente da aptidão de sua inovação. Lewens ressalta que essa não é uma explicação aceitável: a existência de gênios prescientes é que exige uma boa explicação. Além disso, a tese não se encaixa aos fatos, já que não há inventores infalíveis (e outros sempre fracassados) e invenções plenamente adaptadas.

A verdade é que a existência de um instrucionismo radical, com a indicação da melhor variação pelo ambiente, é descartada pelos críticos dos modelos de evolução cultural e tecnológica. Suas alegações são, pelo contrário, mais bem fundamentadas. O argumento principal é de que a busca consciente pela solução de um problema faz com que se restrinja fortemente o número de possíveis variações, em razão dos conhecimentos que o inovador possui acerca das circunstâncias ambientais em que será selecionada a variante gerada. O acoplamento (e, portanto, a instrução) se dá por meio do uso de conceitos e métodos de resolução de problemas previamente conhecidos. Como afirma Thagard,

“[t]here is no prescience, [...], since nothing guarantees that the structures activated will lead to a solution to the current or future problems. But variation is clearly not blind either, since formation of concept and rules that may be useful in solving a problem is more likely to occur during the attempt to solve that problem” (THAGARD apud KRONENFELDNER, 2007, p. 509).

Essa é a mesma posição de Toulmin, segundo Abrantes:

“Toulmin ressalta que o darwinismo, ao defender que o processo de variação é cego, rejeita a ortogênese, ou seja, a tese de que as mutações dar-se-iam em direções que garantem a adaptação. A

evolução científica, contudo, seria de um outro tipo, no qual a geração de variações conceituais não seria cega, mas sim direcionada por métodos (que são cristalizações de conhecimento acumulado) e restringida pela necessidade de resolver certos problemas” (ABRANTES, 2004, p. 39).

A influência de conceitos e métodos previamente obtidos pelo inovador se daria pela ativação específica dos conhecimentos úteis para resolução daquele problema. O mesmo conteúdo estaria presente na seleção do novo item cultural, pois os conhecimentos ativados também serviriam de base para a seleção das variantes geradas¹⁷. Kronenfeldner expõe a idéia com clareza:

“In short, critics like Ruse or Thagard state that cognitive variation is biased in the sense that *variants that are useful are more likely to occur, because they are introduced with a purpose.* (...) Through the orientations towards a certain problem, only specific knowledge gets activated. These activated knowledge structures the search space for solutions and triggers certain ideas and not others. Moreover, it is the same cluster of knowledge that influences the production of the trial-solution and the selection of the trial solution. Therefore, the factors responsible for the selections of variants are *coupled* with the factors that produce the variants. This even holds for truly creative insights” (KRONENFELDNER, 2007, p. 509).

É uma argumentação sólida, há de se reconhecer. O acoplamento não é mais um conhecimento total e presciente da natureza por parte de alguns gênios criativos, e sim um desvio estatístico para a geração de variação adaptativa em decorrência de métodos e conceitos disponíveis a todos os inovadores. Em outras palavras, o ambiente não indica a melhor variação, mas as informações que os agentes possuem sobre esse mesmo ambiente e sobre a própria forma de resolução de problemas indicam as variações que provavelmente terão mais sucesso na seleção.

Os defensores da aplicação de modelos evolutivos *darwinistas* à cultura, à ciência ou à tecnologia, têm duas grandes respostas para a crítica instrucionista. A primeira delas é fazer ver que a aquisição dos conhecimentos e a formação dos métodos

¹⁷ Aqui, mesmo que a inovação não seja estritamente a tentativa de resolução de um problema, como no caso da composição de um música ou de um poema, o argumento permanece válido. Isso porque mesmo para as artes, esportes e diversões há métodos de procedimento e há conhecimento dos inovadores sobre o gosto de seu público.

que restringem a variação dos itens culturais ocorrem por meio de um legítimo processo darwinista – e mesmo que a própria restrição é um processo interno de tentativa e erro. A segunda é demonstrar que a restrição de variações por força de informação acerca do ambiente (adquirida por mecanismos darwinistas) também existe na evolução biológica. Hull apresenta, sem tomar partido, as duas frentes da contra-argumentação darwinista:

“Of course, genetic variation is not ‘chance’ in an indeterministic sense. All mutations are caused by some physical process or other. In addition the structure of an organism’s genome strongly constrains the mutations that are possible. The viability of the resulting organism adds further constraints. The only contingency that the term is designed to preclude is that an organism might tend to get those mutations it is going to need in the future. Genes are not clairvoyant. Occasional claims to the contrary, neither are people. To the extent that we understand natural processes, we can predict the future, but that is all. When evolutionary epistemologists like Campbell claim that sociocultural evolution is a matter of blind variation, they are concerned only to deny any human ability to foresee the future. Even the most talented scientist is not prescient, especially at the frontiers of knowledge. Although there is much more to how we learn from experience than simple trial and error, at the cutting edge of science the process of discovery approaches these extreme” (HULL, 1984, p.lxi).

O primeiro elemento da contra-argumentação darwinista é mais conhecido por epistemologia evolutiva. Baseada fundamentalmente nas obras de Karl Popper e Donald Campbell, a epistemologia evolutiva se assenta na proposição de que o conhecimento é obtido por meio de um processo *selecionista*. Haveria uma etapa de geração *cega* de pensamentos-tentativos, uma outra etapa em que esses seriam selecionados e, por fim, uma etapa em que os bem-sucedidos seriam replicados, havendo a retenção das variações positivamente selecionadas. Por óbvio, a assunção de que a geração de hipóteses seria um processo cego, isto é, não tendente ao sucesso, causa polêmica; há uma impressão generalizada de que os inovadores culturais tendem a produzir variantes plausíveis de serem positivamente selecionadas. Os defensores da epistemologia evolutiva tentam demonstrar que essa aparente tendência para o sucesso só pode ser explicada pelo acúmulo de processos seletivos prévios. De acordo com Abrantes:

“Para se explicar a aprendizagem de comportamentos novos e complexos sem se cometer petição de princípio, é preciso levar em conta dois sub-processos desacoplados: gerar e testar. (...) Caso o gerador apresente um grau de clarividência, de conhecimento, de criatividade, de intencionalidade, de inteligência – gerando somente candidatos plausíveis, justificados, por exemplo, comportamentos ou idéias ao mesmo tempo novas e adequadas – isso deve ser explicado por processos seletivos ocorridos previamente” (ABRANTES, 2004, p. 18 – 19).

Esses processos seletivos prévios restringem as possíveis inovações ao cristalizar um corpo de conhecimentos bem-sucedidos que *canalizam* a geração de variações por meio de processos seletivos internos. Os conhecimentos obtidos em seleções prévias – contidos em “modelos, teorias e instrumentos de registro” (ABRANTES, 2004, p. 44) – funcionam, portanto, como um ambiente interno de seleção que reproduz os parâmetros do ambiente externo: os pensamentos-tentativos negativamente selecionados são prematuramente extirpados.

Essa capacidade de armazenar informações sobre o ambiente é possuída por apenas algumas criaturas e, em seu estágio mais avançado (em que é possível fazer simulações com essas informações), apenas por seres humanos. É uma característica, ademais, adquirida no correr da evolução biológica, em razão do refinamento do sistema cognitivo dos organismos. O filósofo Daniel Dennett (1998, p. 391 e 394) chama de *criaturas popperianas* aquelas que conseguem armazenar informações ambientais e de *criaturas gregorianas* aquelas que também conseguem internalizar instrumentos para simular cenários com tais informações. De acordo com Abrantes:

“Essas criaturas são capazes de armazenar informação do meio ambiente (físico e biológico). Essa informação é utilizada para pré-selecionar (controlar) as disposições comportamentais da criatura. A informação funciona, portanto, como um meio ambiente seletivo interno. (...) Popper também antecipou o que Dennett chama de ‘criaturas gregorianas’, que incorporam instrumentos (desenvolvidos por elas próprias) ao seu meio ambiente interno, com destaque para a linguagem. Desse modo, as criaturas gregorianas passam a ser capazes de manipular as suas representações do meio ambiente externo (e.g. fazendo simulações ou encadeando longos raciocínios)” (ABRANTES, 2004, p. 20 e 31).

É necessário compreender, entretanto, que esse ambiente seletivo interno está longe de conter informações completas ou exatas sobre o ambiente externo e que também não acompanha automaticamente as mudanças no ambiente externo. Muito pelo contrário, os agentes inovadores (tecnólogos, cientistas, músicos, legisladores) têm uma representação parcial, inexata e desatualizada do ambiente externo, especialmente quando enfrentam um problema realmente novo. A seleção interna, portanto, é plenamente incapaz de apontar a variação ideal a se gerar, servindo como um mecanismo de restrição dos pensamentos-tentativos flagrantemente mal-adaptativos. No entanto, “para além desses processos restringidos (...) tem que [se] buscar cegamente a solução para o novo problema” (ABRANTES, 2004, p. 44).

Não se pode contestar que os conhecimentos prévios dos inovadores não os conduzem a um resultado comum; fosse assim, não haveria tamanha variedade de itens culturais em competição – especialmente no caso da tecnologia. É claro que a quantidade de variações plausíveis e o grau de influência do conhecimento prévio vai variar de acordo com a natureza do item cultural de que se está tratando; o fato de a grande maioria dos críticos da aplicação do darwinismo à cultura focarem excessivamente na ciência (e não na tecnologia, música, moral etc.) os faz superestimar o papel do conhecimento prévio na geração de novidade. A atividade dos tecnólogos, do interesse deste trabalho, é inegavelmente diversa da atividade dos cientistas, sendo necessário reconhecer que o conhecimento tecnológico não pode ser reduzido a conhecimento científico aplicado. Segundo Alberto Cupani:

“Las precisiones anteriores corresponden a la circunstancia de que la tecnología es una actividad dirigida a la *producción* de algo nuevo y no al descubrimiento de algo existente. (...) Además, al ser una actividad productiva, la tecnología enfrenta problemas que no afectan al científico básico, como los relativos a la factibilidad y la eficiencia de los inventos, a la relación costo-beneficio etc., para los que la ciencia no ofrece soluciones listas” (CUPANI, 2006, p. 356).

Diferentemente da ciência, ainda, na tecnologia (como no caso dos outros itens culturais) não há apenas uma resposta certa para um dado problema. Há uma pluralidade de caminhos que fazem chegar a um resultado semelhante. Tomo o caso da poluição gerada por veículos automotores movidos a combustíveis fósseis, um dos temas que

mais desperta atenção no momento. As respostas tecnológicas são extremamente diversas: automóveis com tecnologia bi-combustível para uso de gasolina e etanol, automóveis elétricos, automóveis equipados com células de hidrogênio, automóveis com placas de alimentação solar, automóveis adaptados para uso de biodiesel, modernização dos meios de transporte público, modernização e difusão do uso de bicicletas etc. E cada uma dessas vertentes tecnológicas se subdivide em uma série de arranjos plausíveis. Em outras palavras, há uma multiplicidade de respostas possíveis para cada problema tecnológico e o conhecimento prévio, inclusive o de ordem científica, serve especialmente para apontar alguns caminhos que devem ser evitados.

Prova disso é a enorme quantidade de “lixo tecnológico” produzido pelas pesquisas. Como vimos no cap. 2, para que se chegue a um fármaco comercializável, por exemplo, são testados algo em torno de 10.000 compostos químicos durante anos a fio, com custos de milhões de dólares e sem a garantia de um resultado bem-sucedido. Vimos também que apenas metade das inovações *patenteadas* tem alguma aplicação comercial, o que nem quer dizer que tenham *sucesso* comercial. Abrantes, baseando-se na posição de Cziko sobre o tema, alerta para a grande quantidade de fracassos tanto na tecnologia quanto na ciência, ressaltando que esses erros não chegam ao conhecimento do público leigo:

“Cziko chama atenção, além disso, para um fato inegável: o grande número de fracassos que ocorrem tanto no trabalho científico quanto no tecnológico. Sabemos que os erros dos cientistas são, em geral, escamoteados por uma historiografia da ciência presentista que só registra o que é considerado acerto do ponto de vista do estágio atual do conhecimento. Tal historiografia, diz Cziko, tende a reforçar a visão de que a atividade científica é 'dirigida', envolve previdência, instrução, e não um processo 'doloroso' de tentativa e erro” (ABRANTES, 2004, p. 46).

Outro dado que demonstra a importância apenas relativa da restrição de variação operada pelo ambiente seletivo interno (formado pelo conhecimento prévio) no sucesso das variantes geradas é ressaltado por Cziko, que afirma ser particularmente interessante:

“the finding that the proportion of produced variations that are successful does not increase as an individual gains experience in his or her field. Rather, individuals appear to be most creative around the age of 40, which is when they produce the greatest number of variations” (CZIKO, 2001, p. 27).

Em outras palavras, o acúmulo de conhecimento prévio por meio da experiência e da aprendizagem não é garantia de maior sucesso. Aliás, em casos que o ambiente externo muda consideravelmente, agentes inovadores com conhecimento prévio desatualizado podem gerar um excesso de variações mal-sucedidas.

A despeito de tudo o que foi exposto aqui, um crítico da aplicação do darwinismo à cultura poderia sustentar a seguinte linha de raciocínio: não importa se o conhecimento prévio foi adquirido por um processo seletivo, se a supressão de pensamentos-tentativos também se dá por um processo seletivo interno e ainda se sua importância é apenas relativa; *o que conta é que há um mecanismo de supressão de variação e esse mecanismo cria uma tendência para adaptatividade*. Diante dessa observação, necessário desenrolar a segunda parte da argumentação darwinista, que diz respeito à restrição de variações na evolução biológica.

Se o desacoplamento entre organismo e ambiente fosse tão profundo como fazem crer alguns biólogos e filósofos da biologia, todas as variações possíveis seriam igualmente prováveis; e, se assim fosse, a estabilidade fenotípica das espécies seria extremamente reduzida. Uma das conseqüências óbvias seria um grande número de variantes inviáveis. Bem ao contrário, sabe-se que os fenótipos têm um alto grau de estabilidade, chamada de homeostase ontogenética, graças à *canalização* de sua formatação básica. Segundo Futuyama:

“A *homeostase ontogenética* é a capacidade do genótipo de um indivíduo produzir um fenótipo apropriado, bem formado e adaptado em face às perturbações que podem ocorrer durante o processo ontogenético. O desenvolvimento de um fenótipo normal é canalizado ao longo de caminhos apropriados e resiste a desvios” (FUTUYMA, 2002, p.224).

A canalização nada mais é do que um eficiente mecanismo de restrição de variações, que reprime variações de caracteres essenciais da morfologia de uma espécie.

O próprio conceito de canalização surgiu a partir de observações empíricas do grau de variação de caracteres fenotípicos, como ressalta Futuyma:

“Algumas características, como o peso do corpo em animais ou a forma do crescimento em plantas variaram mais que outras, tais como o número de vértebras num mamífero ou a estrutura de uma membrana celular. As características menos variáveis são ditas mais altamente *canalizadas ou tamponadas ontogeneticamente* num conjunto mais restrito de canais de desenvolvimento” (FUTUYMA, 2002, p. 56).

Mas como funciona a canalização na biologia evolutiva? Se assemelha de alguma forma à canalização verificada na geração de variantes tecnológicas? Não há dúvidas de que os dois processos se assemelham fortemente. Algumas das chamadas restrições do desenvolvimento se devem à atuação de princípios físicos e químicos que impedem o surgimento de variações num organismo qualquer, tais como os limites físicos e químicos restringem certas variações em tecnologias; outras decorrem da inviabilidade da variante produzida em virtude de ruptura da estrutura básica do organismo, como pode ocorrer com variantes tecnológicas que desrespeitem princípios básicos de engenharia; mas a grande maioria das restrições do desenvolvimento decorre de uma espécie de aprendizado evolutivo do organismo, que cristaliza um fenótipo razoavelmente bem sucedido em face das pressões ambientais:

“Algumas restrições do desenvolvimento podem surgir a partir de princípios físicos ou químicos que simplesmente impedem a origem de certas variações. (...) Outro tipo de restrição do desenvolvimento descreve variações que podem surgir, mas com tal ruptura da função do organismo, que são invariavelmente negativamente selecionadas. (...) *Sem dúvida, a maioria das restrições do desenvolvimento não é inerente a princípios físicos ou à ação gênica, mas é produto da evolução e, dessa forma, é historicamente contingente e táxon-específica.*” (FUTUYMA, 2002, p. 460 – destaquei).

De forma que as restrições do desenvolvimento canalizam os caracteres fenotípicos a partir de informações obtidas em contato com o ambiente – uma vez que as restrições são produtos diretos da atuação da seleção natural sobre a espécie. A similaridade desse processo com a restrição de variação em itens culturais, como a

tecnologia, é inegável; também não se pode questionar que *a canalização cria uma tendência em direção à adaptatividade, uma vez que variações deletérias são suprimidas*. Uma vez mais, fica descartada a existência de uma dessemelhança radical entre biologia e tecnologia.

Mas ainda pode ser levantado um último argumento, no sentido de que haveria uma diferença de intensidade entre a restrição de variações na evolução biológica e na evolução de itens culturais. Mas até que ponto essa diferença de intensidade na restrição de variações permite que se classifique como instrucionista ou lamarckista um determinado processo evolutivo? Mais: será que isso condena ao fracasso a estruturação de modelos evolutivos para itens culturais, tais quais o modelo de evolução tecnológica? Estou convencido de que as duas perguntas merecem não como resposta. Os mecanismos de supressão de variação, a despeito do seu grau de refinamento, são úteis apenas para reduzir o incomensurável universo de possíveis variações; mas, uma vez que estão longe de apontar a melhor variação, ainda deixam em aberto uma imensa gama de caminhos variacionais igualmente plausíveis. E o sucesso dessas variações no ambiente externo sem dúvida vai depender de um processo de seleção e da posterior retenção dos caracteres adaptativos. Nas palavras de Kronenfeldner:

“Directed variation due to coupling is compatible with a variational pattern of change, as long as it leads to some variation. (...) In principle, there is no reason why it should be impossible for a variational model to allow for an instructive influence of the environment, as long as it is not the *only* source of novelty, or as long as it does not work systematically on each individual in the same way” (KRONENFELDNER, 2007, p. 499).

Como se pode extrair do excerto acima citado, o fator essencial para que um processo possa ser enquadrado como evolutivo, no sentido darwinista do termo, é a existência de um padrão variacional de modificações. A teoria apresentada por Lamarck há exatos 200 anos¹⁸ era baseada num padrão transformacional de mudança, em que as linhagens das espécies se modificavam como um todo coerente em uma nova forma mais complexa, de maneira que “não se ramificavam nem se extinguíam” (RIDLEY, 2006, p. 31).

¹⁸ Por curiosa coincidência, mesmo ano de nascimento de Charles Darwin.

No padrão variacional, pelo contrário, a população de uma espécie exibe uma grande diversidade de caracteres e grupos podem se ramificar em diferentes trajetórias evolutivas ou mesmo se extinguir. Segundo Kronenfeldner:

“What is most important is that a Darwinian explanation of evolutionary change requires that populations exhibit variation. (...) Variation in Darwinian evolution means, first, that individuals in a population differ from one another, second, that the differences can add up during evolution and, third, that they can do this because of a *sorting process*” (KRONENFELDNER, 2006, p. 497).

Enfim, uma vez que os mecanismos de restrição de variações não sejam suficientemente poderosos para fazer com que um padrão originalmente variacional de mudanças passe a ser um padrão transformacional, o processo evolutivo em comento é de natureza inegavelmente darwinista. A evolução tecnológica se encaixa perfeitamente nesse contexto, não havendo razão para enquadrá-la como lamarckista ou instrucionista; aliás, foi a abundância de evidências do caráter variacional do processo de inovação tecnológica, baseado na competição de técnicas e artefatos, que levou uma série de estudiosos e pesquisadores a declará-lo como evolutivo. E é justamente esse padrão variacional (gradual e não presciente) que é ressaltado na estrutura básica do modelo de evolução tecnológica exposta no cap. 2 e que será explorado no estudo de caso que constitui a segunda parte desta dissertação.

Parte 2 – No Labirinto dos Motores: A Evolução das Tecnologias do Álcool-Motor

CAPÍTULO 1 – NO LABIRINTO DOS MOTORES: ESTUDO DE CASO SOBRE AS TECNOLOGIAS DO ÁLCOOL-MOTOR

Quem porventura possuir um vago conhecimento da história das tecnologias do álcool-motor¹⁹ no Brasil provavelmente estranhará o fato de terem sido escolhidas como objeto deste estudo de caso. Afinal, o desenvolvimento do carro a álcool – e das tecnologias conexas – parece ser uma evidência de que a inovação, longe de seguir um padrão evolutivo, é fruto dos esforços diretos para a satisfação das necessidades humanas. Comprovaria, em outras palavras, a popular idéia de que a necessidade é a “mãe” da invenção.

Essa impressão ancora-se na versão mais difundida do surgimento do carro a álcool, essencialmente ligada aos sucessos e revezes do Pró-Álcool, programa energético governamental criado em meados da década de 70 do século passado e cancelado no início da década de 90. De acordo com essa versão, as tecnologias do álcool-motor teriam surgido justamente para suprir a necessidade de uma fonte energética alternativa ao petróleo, cujos preços alcançaram níveis elevadíssimos por conta dos choques do petróleo. Em breve resumo, a história teria se desenrolado assim: 1) os dois choques do petróleo elevaram radicalmente o preço do barril de petróleo; 2) o Brasil havia contraído uma considerável dívida externa e os gastos com petróleo passavam a ser mais pesados para os cofres públicos, já que dissipavam divisas e pioravam a configuração da balança comercial; 3) para atenuar a crise, o Brasil instituiu o Pró-Álcool e conseguiu desenvolver tecnologias que aproveitassem o poder calorífico do etanol, que já era produzido em considerável escala a partir da cana de açúcar.

Como se pode ver, os fatos acima narrados se encaixam no seguinte esquema: necessidade – esforço – inovação. Diante disso, porque insistir nas tecnologias do álcool-motor para ilustrar um caso de *evolução* tecnológica, uma vez que seu desenvolvimento nada parece ter do caráter pouco previsível e tortuoso de uma trajetória evolutiva? A verdade é que a real história das tecnologias do álcool-motor em nada se aproxima da versão popular, que parece forjada para se amoldar perfeitamente à

¹⁹ Utilizarei três expressões para designar o objeto do estudo de caso: *álcool-motor*, *álcool* e *etanol*. São sinônimos perfeitos e estiveram na moda em momento diferentes. A expressão álcool-motor foi usada nos primeiros tempos da história que relatarei; álcool, simplesmente, passou a ser utilizado após a popularização do combustível no final da década de 70 do Séc. XX; o nome etanol, por fim, ganhou notoriedade recentemente, em virtude da internacionalização do combustível, uma vez que os americanos o chamam de *ethanol*.

crença de senso comum de que a necessidade é a mãe da invenção. A efetiva trajetória das técnicas e artefatos ligados ao carro a álcool é bem mais complexa do que se pode pensar.

De fato, os esforços de pesquisa e desenvolvimento das tecnologias que iriam possibilitar o *boom* do carro a álcool no Brasil em meados da década de oitenta datam de bem antes dos choques do petróleo e da instituição do Pró-Álcool. Antes de adentrar nos detalhes dessa história evolutiva, convém ressaltar como organizei este relato. Em primeiro, alerto que o foco será no desenvolvimento das tecnologias *brasileiras* do álcool-motor. Elas não são as únicas. Outros países também fizeram uso do etanol como combustível para veículos automotivos e, portanto, desenvolveram tecnologias próprias para isso. Seria bastante proveitoso se se pudesse dar cabo das histórias evolutivas de tecnologias do álcool-motor ao redor do mundo, mas isso não é factível: não haveria tempo, espaço e material para pesquisa. De toda forma, o caso brasileiro já é inteiramente satisfatório para esta dissertação.

O estudo de caso está estruturado em dois blocos. Este primeiro bloco consistirá num relato das principais etapas e acontecimentos da história das tecnologias do álcool-motor, não havendo ainda a preocupação de encaixar os contornos da narrativa em uma moldura evolutiva. Trata-se de um imprescindível detalhamento historiográfico do desenvolvimento das tecnologias em foco, que fornecerá o substrato material sobre que se aplicará o modelo evolutivo. Compreende o período que vai da invenção dos primeiros automóveis, ainda no final do Século XIX, até a criação do sistema *flex fuel*, que ocorreu há poucos anos. O segundo bloco consiste na organização de todo o material historiográfico dentro da moldura do modelo de evolução da tecnologia. Para tanto, trabalharei com capítulos específicos para cada etapa básica do processo seletivo: variação, seleção e replicação. A divisão pretende tornar mais intuitiva e didática tanto a exposição puramente histórica quanto o seu posterior encaixe no modelo evolutivo, já que a junção das duas etapas em uma apenas traria inevitável confusão para o texto e dificultaria a compreensão do leitor.

1.1. Sistema de propulsão dos primeiros automóveis

A esmagadora maioria das pessoas simplesmente desconhece os detalhes do surgimento de tal ou qual tecnologia, por mais que seja parte essencial do seu cotidiano.

No mais das vezes, simplesmente se assume que aquele artefato ou técnica sempre foi, desde o tempo de sua invenção, razoavelmente similar ao que é hoje, apenas com equivalentes arcaicos de seus componentes atuais. O automóvel não escapa desse fenômeno de conformação do passado. Quando alguém imagina um carro antigo, pensa quase que imediatamente num Ford Model T, *coupé*, com motor de combustão interna à gasolina, tração dianteira, sistema de câmbio similar ao moderno, retrovisores laterais etc. Quem conhece um pouco mais da história do automóvel, no entanto, sabe que o Model T surgiu muito depois dos primeiros carros, que sua primeira versão era sem cobertura – portanto não era *coupé*, que não era movido apenas à gasolina, tinha tração traseira, sistema de câmbio planetário operado apenas por pedal e não possuía retrovisores laterais.

Pretendo demonstrar a falsidade dessa conformação *a posteriori* da história de uma tecnologia a seu padrão atual em relação aos sistemas de propulsão dos primeiros veículos²⁰. Como já se disse no exemplo do Ford Model T, há uma crença de senso comum de que os carros sempre foram movidos por meio de motores de combustão interna abastecidos a gasolina. Veículos propelidos de outras maneiras, como o carro elétrico e o carro a álcool, só teriam surgido bem depois, em razão de altas no preço do petróleo ou de preocupações com o ambiente. Nada mais falso. A época dos primeiros veículos, pelo contrário, foi marcada por uma acirrada competição entre sistemas de propulsão. Os competidores eram o sistema de propulsão a vapor, o sistema elétrico e o motor de combustão interna. A futura predominância dos motores de combustão não era previsível na virada do século XX: no ano de 1900 havia, nos EUA, 1.681 automóveis movidos a vapor, 1.575 carros elétricos e 936 veículos equipados com motor de combustão interna (BASALLA, 2002, p.198). Só a partir de 1905 é que o motor de combustão interna passou a dominar o mercado americano de automóveis (MOWERY & ROSENBERG, 2005, p.63).

O sistema de propulsão por combustão interna era, já no início do Séc. XX, completamente baseado no motor de 4 tempos (ou ciclos), cuja versão mais aproximada

²⁰ Essa conformação ao passado pode ser comparada ao que Abrantes (2002) chama de presentismo na historiografia da ciência. Presentismo seria a tendência, clara na obra de alguns historiadores da ciência, de construir seus relatos englobando apenas as circunstâncias passadas que se relacionam com o atual estágio do conhecimento científico. Da mesma forma, boa parte da história da tecnologia simplesmente ignora os milhares de experimentos e invenções que não parecem guardar algum parentesco com as técnicas e artefatos de hoje.

dos motores modernos foi concebida pelo alemão Nikolaus August Otto na década de 60 do Século XIX. Os primeiros motores do Ciclo Otto – como são comumente chamados – não foram desenhados especificamente para o uso da gasolina. Pelo contrário, sabe-se que o próprio Otto utilizava álcool em seus testes e que o etanol rivalizava com a gasolina como fonte de energia dos carros europeus (MENEZES, 1980, p. 11; NATALE NETTO, 2007, p.49 e 54; SOUZA, 1980, p. 9). Os primeiros motores eram, a bem da verdade, indiferenciados quanto ao tipo de combustível que se iria utilizar. O próprio Ford Model T, aqui citado, funcionava bem tanto com gasolina quanto com etanol²¹. Os carros movidos exclusivamente a gasolina se tornaram predominantes apenas com o decurso do tempo. Fica claro, portanto, que o carro a álcool não é de forma alguma uma invenção brasileira da década de 70 do século passado. Permanece, no entanto, uma pergunta básica: porque o álcool perdeu a disputa com a gasolina e praticamente saiu de cena nos primeiros anos do automóvel?

Não tentarei responder essa pergunta de maneira preliminar aqui, já que pretendo retomá-la, junto com outras da mesma natureza, ao final deste estudo de caso. Pelo bem da exatidão, entretanto, ressalto desde já que o álcool nunca chegou a sair completamente de cena. Continuou sempre como alternativa à gasolina em épocas de escassez de petróleo e também como composto a ser adicionado à mesma para fins de enriquecimento do combustível (MENEZES, 1980, p. 12). Seu papel, é preciso reconhecer, passou a ser subsidiário ao da gasolina, havendo apenas breves exceções periódicas a essa regra geral.

A trajetória das tecnologias do álcool-motor no Brasil é quase tão antiga e provavelmente bem mais complexa do que as observadas em países da Europa e nos EUA. Deixo a visão global do desenvolvimento de tecnologias ligadas ao carro a álcool, a que voltarei mais tarde, e foco agora no cenário nacional.

1.2. O surgimento do álcool-motor no Brasil: idéias da República Velha

Ainda antes do final do Séc. XIX, já haviam chegado ao Brasil alguns poucos automóveis. O número de veículos só passou a ser significativo, como no resto do mundo, após as primeiras décadas do Séc. XX. Pode-se, no entanto, demarcar um

²¹ Essa informação foi colhida no sítio virtual da *Ford Motors* (www.ford.com).

momento preciso para o surgimento da agenda do álcool-motor no país; esse seria o ano de realização da Exposição Internacional de Aparelho a Álcool e do I Congresso das Aplicações Industriais do Álcool, isto é, 1903 (MENEZES, 1980, p. 11; NATALE NETTO, 2007, p.50). A entidade responsável pelos dois eventos, que ocorreram simultaneamente, foi a extinta Sociedade Nacional de Agricultura – SNA. O impacto da Exposição e do Congresso fortaleceu as investidas políticas da SNA e dos produtores de Álcool, fazendo nascer a pressão pelas primeiras medidas governamentais em favor do álcool-motor, tais como promoção perante o público e isenção de impostos. As medidas governamentais, entretanto, viriam apenas em 1919, quando a frota de veículos começava a se tornar numericamente relevante. E não se tratavam de iniciativas do governo federal, mas do Estado de Pernambuco, que decretou, à época, o etanol como “o combustível nacional” (NATALE NETTO, 2007, p.61).

Ressalte-se que em Pernambuco e Alagoas, estados canavieiros, o uso do álcool como combustível já era uma realidade, mesmo antes de haverem subsídios técnicos para essa aplicação. Mas as pesquisas tecnológicas também começaram cedo no Nordeste. Aníbal Matos e Júlio Rodrigues, professores do Curso de Química Industrial do Recife, criaram no início da década de 20 do século passado uma mistura carburante de álcool e éter a que denominaram Motogás; outros pesquisadores autônomos criaram misturas concorrentes, como a chamada Nortina, de Guilherme Geisser, a Nacionalina, de Baptista de Sousa, e a Gasolina Nacional, de Moura Accioli (NATALE NETTO, 2007, p.71).

Nessa mesma época – início da década de 20 do século passado – o álcool-motor ia ganhando notoriedade nas províncias do sul do país, especialmente por meio de competições automobilísticas promovidas pelos recém fundados Touring Club do Brasil e Automóvel Club do Brasil (PENIDO, 1980, p. 45). O tema espalhou-se e, ainda nos estertores do governo do Presidente Epitácio Pessoa, foi criada a Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (Decreto n. 15.209, de 29 de dezembro de 1921), cujas atribuições básicas incluíam a pesquisa de carburantes nacionais, em outras palavras, de aplicações para o álcool-motor (NATALE NETTO, 2007, p.76). A Estação seria o primeiro instituto de pesquisa voltado ao desenvolvimento de tecnologias para o uso do álcool como combustível, realizando inúmeros testes com motores adaptados e com misturas carburantes a base de etanol.

Outros pesquisadores desenvolviam trabalhos paralelos ao da Estação, como, por exemplo, na Estação Experimental de Plantas Sacarinas e Oleaginosas de Piracicaba, que também desenvolveu intenso estudo sobre misturas de álcool, gasolina, éter e benzol (MENEZES, 1980, p.13). Havia ainda o trabalho de pesquisadores ligados à iniciativa privada, que continuaram a desenvolver novas misturas para comercialização no Nordeste. Surgiram a Azulina, a Motorina, a Nog, o Álcool-Motor Catende e a famosa Usga, essa última desenvolvida por Franz Schmidt, engenheiro alemão residente no Brasil (NATALE NETTO, 2007, p.86-87).

Apesar de toda essa efervescência no estudo de adaptação de motores e misturas combustíveis com base alcoólica, o etanol ainda era um competidor distante da gasolina, com presença marcante apenas em alguns poucos estados do Nordeste do país. Essa situação começou a mudar, por diversos motivos, durante o primeiro governo de Getúlio Vargas.

1.3. Vargas e a guerra: escassez, lobbies e leis

Dois eventos que ocorreram às vésperas da Revolução de 30 viriam a ter um grande impacto no desenvolvimento das tecnologias do álcool-motor. O primeiro deles foi a lenta proliferação da lavoura de cana-de-açúcar no sudeste do país, em especial no estado de São Paulo. A produção de álcool e açúcar, outrora quase exclusividade dos estados do Nordeste do país, passaria a ter um caráter de atividade econômica nacional, unificando *lobbies* de usineiros de vários estados. O segundo evento pré-revolucionário foi a crise econômica de 1929, cujo epicentro foram os EUA, mas que atingiu praticamente todos os países do mundo. Em relação a este estudo, vale dizer que a crise tornou as divisas escassas e, portanto, mais onerosa às contas públicas a aquisição da gasolina. Ambos os fatos foram cruciais para a posição governamental favorável ao etanol que iria perdurar nos anos de poder Getúlio Vargas.

Poucos meses após ter se tornado presidente, Vargas editou o Decreto n. 17.717, de 2 de fevereiro de 1931, que determinava a adição de 5% de álcool a toda gasolina consumida no país (MENEZES, 1980, p. 12; NATALE NETTO, 2007, p.100). Outras duas medidas de grande importância tomadas por Vargas no início de sua gestão foram a criação, no ano de 1933, do Instituto Nacional de Tecnologia, a partir do arcabouço já

existente da Estação de Combustíveis Experimentais, e a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA.

O Instituto Nacional de Tecnologia herdou as atribuições de pesquisa da antiga Estação Experimental e desde seu início concentrou-se no desenvolvimento de tecnologias ligadas ao etanol. Dentre seus pesquisadores, destaca-se o engenheiro Eduardo Sabino de Oliveira, que é até hoje considerado um dos grandes desenvolvedores das tecnologias do álcool-motor no Brasil. Sabino chegou a realizar, no Instituto Nacional de Tecnologia, mais de 6.800 testes de laboratório e de 3.000 provas de campo com motores alimentados a álcool, trabalho documentado na sua obra clássica *Álcool-Motor e Motores a Explosão* (MENEZES, 1980, p. 12-13; NATALE NETTO, 2007, p.83). Já o IAA seria uma repartição voltada à fiscalização, visando a garantir o cumprimento das normas editadas pelo governo para regular a produção de álcool (e açúcar) e da sua adição à gasolina.

Da eclosão da Revolução de 30 até o advento da II Guerra Mundial, o *lobbie* do álcool-motor foi se tornando cada vez mais forte. As iniciativas iam desde a promoção de corridas com carros a álcool até a edição de decretos estaduais aumentando a proporção de álcool nas misturas combustíveis locais. A própria recomendação do governo central foi sendo alterada, tendo chegado a determinar a mistura de 50% de álcool na gasolina (PENIDO, 1980, p. 46); o governo também chegou a custear a adaptação de mais de 3.000 motores para o uso de proporções ainda maiores de álcool-motor na mistura combustível (NATALE NETTO, 2007, p.123).

A II Guerra estourou em 1939 e o Brasil manteve-se neutro até o início de 1942, quando acabou declarando guerra aos países do Eixo (Alemanha, Itália e Japão). Antes disso, todavia, efeitos do conflito já se faziam sentir no país. O que nos interessa especialmente é a generalizada escassez de gasolina, reservada quase que integralmente às máquinas de guerra. Em virtude disso, há um aprofundamento nos debates sobre a adoção do álcool-motor como combustível substituto e estímulos ao desenvolvimento de tecnologias ligadas a sua produção e uso nos motores.

Em 21 de novembro de 1942, aconteceu no Rio de Janeiro o I Congresso Nacional de Carburantes, organizado pelo Touring Club do Brasil para estimular o debate técnico e econômico sobre a questão dos combustíveis no país. As questões ligadas ao álcool-motor acabaram dominando quase toda a agenda do evento, tendo sido

revelados diversos detalhes interessantes acerca das tecnologias ligadas ao etanol. A exposição do pesquisador francês Frederico Schwers chamou a atenção para pesquisas com motores realizadas na França, com o patrocínio do *Comité Scientifique du Carburant National*; a delegação do Estado de Minas Gerais apresentou um interessante estudo que visava a comprovar a superioridade técnica da produção de etanol a partir da mandioca, que seria mais econômica e energeticamente eficiente que a cana-de-açúcar; o pesquisador Antenor Novaes, químico da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, discutiu os avanços no desenvolvimento e adaptação de motores para o uso do etanol e apresentou seus próprios experimentos nessa área; outro engenheiro da Politécnica do Rio de Janeiro, Odir Dias da Costa, expôs os resultados de suas experiências com a adaptação de motores desenhados originalmente para o uso da gasolina; esses e outros trabalhos de pesquisa tecnológica estão documentados nos Anais do I Congresso de Carburantes do Brasil (1944, p. 123; 143; 166; 225; 235; 257).

Com a proximidade do final da guerra, toda essa efervescência tecnológica, econômica e política em torno do etanol iria acabar subitamente. O termo do conflito fez os preços do petróleo e de seus derivados caírem a patamares bastante reduzidos e a indústria automobilística não estava disposta a produzir veículos com motores próprios para o uso do álcool-motor. Além disso, Getúlio Vargas foi gradualmente perdendo poder, até deixar a presidência em 1945; os seus decretos ficaram desprestigiados e foram sendo paulatinamente descumpridos ou revogados, o que significou o final da adição compulsória de álcool à gasolina (NATALE NETTO, 2007, p.143). A própria produção do álcool caiu em 40% (PENIDO, 1980, p. 46), provavelmente por causa da alta da demanda de açúcar no pós-guerra. Daí em diante, as discussões sobre o álcool-motor foram perdendo força e mesmo os estudos técnicos e as experimentações acabaram rareando, ficando a cargo de pesquisadores isolados e sem incentivo governamental. Pouco mais de vinte anos depois, as tecnologias do álcool voltariam aos laboratórios e à pauta dos grandes debates políticos e econômicos.

1.4. O Choque do Petróleo e a gestação do Pró-Álcool

O acontecimento que veio resgatar o álcool-motor do seu ostracismo tecnológico foi o primeiro choque do petróleo. Aqui cabe uma pequena explanação sobre o choque e suas conseqüências na economia brasileira.

O primeiro grande choque aconteceu no ano de 1973. A Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP, composta em sua maioria por países árabes, resolveu aumentar consideravelmente o preço do barril de petróleo para retaliar os EUA por seu apoio a Israel na Guerra do Yom Kippur. Nesse primeiro momento, o valor do barril subiu em 300%. Obviamente, o preço da gasolina também aumentou vertiginosamente e, além dos altos valores que os consumidores finais teriam de pagar, a aquisição de sua matéria prima passou a ter um altíssimo custo em divisas, num momento em que as reservas de dólar do Brasil se encontravam em patamares preocupantes. Em resumo, a gasolina passou a custar muito caro para os consumidores e mesmo para o país.

É nesse contexto que se começa a pensar num grande plano para mudar a matriz energética dos veículos do país da gasolina para o álcool. Por feliz coincidência, ainda antes do primeiro choque, o governo federal, controlado pelos militares, já havia concebido o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar – Planalsucar. O programa foi implementado exatamente no ano de 1971 e, por mais que tivesse foco no açúcar, acabou otimizando toda a produção canavieira, especialmente no que diz respeito ao cultivo de melhores variedades da cana-de-açúcar (NATALE NETTO, 2007, p.154).

Logo após o primeiro Choque, o Ministério da Indústria e do Comércio – MIC, por meio de sua Secretaria de Tecnologia Industrial – STI e do Centro Técnico Aeroespacial – CTA, retomou o desenvolvimento das tecnologias do álcool-motor. Quem comandava a equipe técnica do CTA era o engenheiro Urbano Ernesto Stumpf, que veio a ser conhecido como o pai do carro a álcool. No entanto, o Pró-Álcool só veio a surgir formalmente em 1976, no governo de Ernesto Geisel.

1.5. O Pró-Álcool e suas fases

O Pró-Álcool foi criado pelo Decreto n. 76.593, de 14 de novembro de 1975. Desde a retomada das pesquisas sobre o álcool motor pelo CTA até a data de edição do Decreto n. 76.593/75 já haviam sido realizadas milhares de horas de testes com veículos propelidos exclusivamente por etanol (NATALE NETTO, 2007, p.170).

O Pró-Álcool, em seu início, começou repetindo a estratégia do Governo Vargas de estipular porcentagens crescentes de adição de etanol à gasolina, mas também injetou recursos na lavoura canavieira e nas usinas de produção do álcool. Apesar disso, o

programa só veio a decolar a partir de 1979, quando, depois do advento do segundo choque do petróleo, resolveu-se ampliar o programa e investir em veículos movidos exclusivamente a álcool. Nesse momento de decolagem do Pró-Álcool, houve disputas por subsídios entre agricultores que apostavam em diferentes matérias primas para o álcool, uma vez que o mesmo pode ser extraído da cana-de-açúcar, da mandioca, da beterraba, do milho, do arroz, do eucalipto etc. (MENEZES, 1980, p. 44; PENIDO, 1980, p. 46). Apesar de ter sido amplamente divulgada a opção governamental pela diversificação da matéria prima, sabe-se que o programa baseou-se expressivamente no álcool de cana-de-açúcar, que era a cultura com maior nível de produção e que tinha também o *lobbie* mais atuante.

Deu-se início, também nesse momento de concretização do Pró-Álcool, a um grande esforço de conversão de motores para o uso do etanol e de produção de motores próprios para o uso do álcool. A conversão de motores era orientada pelas quarenta unidades de Centros de Apoio Tecnológico – CAT's espalhados pelo país e realizada por milhares de oficinas conveniadas. Já a produção de motores próprios para o uso do etanol resultou de acordo entre as grandes empresas do ramo automobilístico e o governo, tendo se orientado pelos avanços tecnológicos obtidos pela equipe de Stumpf no CTA (NATALE NETTO, 2007, p.225-226).

De 1979 a 1986, o Pró-Álcool obteve um estrondoso sucesso, com o crescimento exponencial da produção de etanol e da difusão das tecnologias próprias do álcool-motor. Para ilustrar essa última afirmação, basta informar que a porcentagem de produção de veículos de passageiros movidos exclusivamente a álcool alcançou 92,6% no ano de 1983 e que se considerava o crescimento dessa proporção um movimento “irreversível” (ANAIS DO I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, 1983, p. 68). A idéia, aliás, era ampliar o escopo do programa, substituindo o diesel pelo álcool-motor. Para que o etanol pudesse ser utilizado em motores do Ciclo Diesel, de estrutura e funcionamento diferentes dos motores do Ciclo Otto, era necessário uma série de inovações tecnológicas. E havia vários trabalhos de pesquisa e desenvolvimento nesse sentido (ANAIS DO I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, 1983, p. 136-146; NATALE NETTO, 2007, p.227; PENIDO, 1980, p. 241-267).

Apesar dos bons resultados obtidos pelo programa em termos de economia de divisas, geração de empregos e conservação ambiental, o Pró-Álcool acabou sofrendo um vertiginoso declínio a partir do ano de 1989. O motivo maior do fracasso do Pró-Álcool interessa sobremaneira a esta pesquisa, uma vez que se trata da gradual rejeição das tecnologias do álcool-motor pelos consumidores de veículos.

Em verdade, o fator que impulsionava as pesquisas de desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento do etanol era o elevado patamar de vendas de carros movidos exclusivamente a álcool. Como já se disse, o percentual de fabricação desse tipo de veículos chegou a mais de 90% de todo o número de carros de passeio produzidos no país em 1986. No mandato do ex-presidente Fernando Collor, somente pouco mais de 5 anos depois, essa proporção caiu para algo em torno 10%, indo para 1% no mandato do ex-presidente Fernando Henrique Cardoso (NATALE NETTO, 2007, p.227). Quais as razões dessa rejeição ao carro a álcool?

É possível dividi-las em três. A primeira é relativa aos preços do etanol; a segunda à oferta de combustível; e a terceira é ligada a pequenos inconvenientes no funcionamento do carro a álcool. Quanto aos preços, o fato é que, após o impacto dos choques do petróleo, o valor da gasolina foi caindo a patamares competitivos, enquanto o do álcool-motor começava a ficar cada vez mais elevado, em virtude de um crescimento de demanda bem acima do crescimento da oferta. Em relação à oferta de etanol, fator intimamente ligado ao preço final do combustível, tem-se que as oscilações no preço do açúcar influenciavam fortemente a produção do álcool, gerando indesejáveis flutuações de preço e criando a possibilidade de uma crise de abastecimento, o que realmente veio a ocorrer no ano de 1989 (CORREIA, 2007, pg. 5). Por fim, o consenso popular acerca dos inconvenientes do carro a álcool parece ter sido alimentado pelos dois fatores listados acima, uma vez que foram superados com o passar dos anos. Os problemas mais conhecidos e citados são a dificuldades enfrentadas na partida a frio, a corrosão de peças do motor e o baixo rendimento do combustível (ÚNICA, 2002, pg. 8).

A conjunção desses fatores, especialmente após a crise de abastecimento de 1989, levou à rápida rejeição das tecnologias do álcool-motor. Essas, que inicialmente pareciam avançadas, convenientes e estabelecidas, repentinamente passaram a ser consideradas obsoletas, problemáticas e com rumo ao desaparecimento. Com o

consumo de carros a álcool indo à mingua e, por conseguinte, com a redução drástica da venda do álcool-motor, o Pró-Álcool foi perdendo sua força: os incentivos econômicos ao etanol foram se tornando exíguos e os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias foram rareando. Durante a década de 90 do século passado, o Pró-Álcool continuou de maneira precária, até ser praticamente extinto no início do segundo mandato do ex-presidente Fernando Henrique Cardoso.

1.6. O retorno do álcool-motor: a tecnologia *flex-fuel* e o ambiente

Quando Aldebert de Queiroz, presidente da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores no ano de 1983, apresentou sua comunicação no I Simpósio Nacional sobre Álcool Combustível, não relutou em taxar de irreversível a tendência de aumento de produção e consumo de automóveis abastecidos exclusivamente pelo álcool-motor (ANAIS DO I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, 1983, p. 68). Como se sabe, o conferencista estava redondamente enganado.

À época da *débâcle* do Pró-Álcool, que ocorreu a partir do ano de 1989, muitos devem ter vaticinado a irreversibilidade da derrocada do etanol e de suas tecnologias. Esses também estavam plenamente equivocados. Com efeito, o álcool-motor retornou triunfantemente após uma década de esquecimento. Houve três fatores determinantes para essa recuperação do etanol e de suas tecnologias: a contínua elevação do preço do petróleo, a tecnologia *flex-fuel* e a intensificação da agenda ambiental.

O aumento paulatino nos preços do petróleo e, por conseguinte, da gasolina, já estava fazendo com que houvesse uma leve retomada na venda de automóveis alimentados a álcool (CORREIA, 2007, pg. 5). A grande reviravolta na tendência de baixas vendas do álcool-motor ocorreu, no entanto, apenas a partir da introdução do sistema *flex-fuel*, que permite que o veículo seja abastecido com etanol ou gasolina em proporções arbitrárias. A tecnologia *flex-fuel* livrou os consumidores do medo de uma nova crise de abastecimento ou de alta repentina dos preços do etanol, tendo se difundido rapidamente. No ano de 2006, quase 80% dos veículos de passeio vendidos no país eram bicombustíveis (CORREIA, 2007, pg. 5).

O sistema *flex-fuel* começou a ser desenvolvido no início da década de 80 do século passado nos EUA, mas só chegou a ter aplicação industrial de sucesso no início

do Séc. XXI no Brasil (CORREIA, 2007, pg. 5). A tecnologia consiste na permanente mensuração da mistura combustível utilizada pelo automóvel por meio de uma sonda (chamada sonda *lambda*) e uma série de mecanismos que adaptam o funcionamento do motor de acordo com as características de cada mistura, alterando a taxa de entrada do combustível, o tempo da faísca etc. A mensuração da riqueza da mistura já se assentou em um sensor físico especializado de alto custo, mas hoje é realizada pelos sensores ordinários presentes em qualquer carro, orientados por um *software* especializado (DAMASCENO & MONTARI, 2004, pg. 2).

O surgimento dos automóveis *flex* tem valorizado sobremaneira o etanol e as tecnologias ligadas a sua produção e aproveitamento, uma vez que a importância da agenda ambiental cresce em todo o mundo. Um dos consensos globais é de que a taxa de emissão de carbono na atmosfera tem de cair rápida e drasticamente. E está comprovado que o etanol libera consideravelmente menos carbono do que combustíveis derivados do petróleo. Sabe-se disso há décadas (PENIDO, 1980, p. 228-229), mas o fato de o etanol ser menos danoso à natureza que a gasolina somente foi considerado relevante há poucos anos. Diversos países estão adotando políticas de substituição da gasolina pelo álcool-motor e, conseqüentemente, vão passando a utilizar as tecnologias relacionadas e a investir em seu desenvolvimento.

As tecnologias do álcool-motor invariavelmente continuarão se difundindo e se ramificando? Não. Tudo que se viu até aqui desencoraja vaticínios simplistas como esse. As previsões sobre tecnologias têm de ser bem mais refinadas para captar os tantos caminhos e descaminhos que certa empresa tecnológica pode tomar. Acredito que o modelo de evolução tecnológica pode cumprir um papel valioso nesse sentido.

1.7. Epílogo: o dispositivo Chambrin

Antes de encerrar a exposição histórica sobre o álcool-motor e suas tecnologias, cabe tratar de um capítulo curioso e pouco conhecido até mesmo pelo público especializado.

Nos meados da década de 70 do século passado, um engenheiro francês chamado Jean Chambrin veio ao Brasil a convite de um grande produtor de álcool. Chambrin alegava ter desenvolvido uma adaptação para que um motor comum funcionasse a base de uma mistura paritária de água e etanol. A conversão dos motores

originalmente desenhados para o uso da gasolina seria feita por meio de um dispositivo que o francês afirmava ter inventado. Chambrin asseverava, ainda, que os motores adaptados para o uso da mistura água-etanol apresentavam altíssimo rendimento e bom desempenho (NATALE NETTO, 2007, p.193). Se a invenção de Chambrin realmente funcionasse, haveria um grande impacto no setor de combustíveis, já que o custo da mistura seria baixíssimo e o problema de rendimento dos motores a álcool estaria resolvido.

A inovação, no entanto, nunca chegou a ser seriamente testada. Os centros de pesquisa brasileiros, como o CTA, contestaram a idoneidade do pesquisador e não se envolveram na avaliação do dispositivo. Os testes realizados pelo próprio Chambrin, patrocinados por empresários nordestinos, ficavam sempre sob suspeita de manipulação. Enfim, não se quis chegar a uma conclusão séria acerca da validade ou não de seu dispositivo conversor²² (NATALE NETTO, 2007, p.194).

O dispositivo Chambrin poderia ter transformado toda a linha de desenvolvimento tecnológico gestada no Pró-Álcool. É incerto se o invento realmente funcionaria, mas o que interessa é o fato de ter sido ignorado à época de seu surgimento. Mais adiante, farei uma breve análise do caso do dispositivo Chambrin sob a ótica do modelo de evolução tecnológica.

²² Atualmente há uma série de páginas na rede mundial de computadores que tratam do dispositivo Chambrin, alardeando seu caráter revolucionário e sua supressão intencional – por exemplo, WWW.econologie.com/par-jean-pierre-chambrin-articles-1501.html e www.befreetech.com/energysupression.htm.

CAPÍTULO 2 – VARIAÇÃO

Passo a encaixar os fatos históricos acima expostos na moldura evolutiva. Começo por demonstrar a existência de variação no universo das tecnologias relacionadas ao álcool-motor. Para melhor visualização da variação, é essencial individualizar as principais técnicas e artefatos ligados ao fabrico e aplicação do etanol pela indústria automotiva.

2.1. Principais técnicas e artefatos

2.1.1. O álcool-motor, misturas combustíveis e suas técnicas de produção

Um interessante ponto para discussão diz respeito ao status tecnológico do próprio etanol: por mais que se trate de uma substância natural, também pode ser tomado como uma espécie de artefato tecnológico. Em primeiro, sabe-se que certas apresentações do etanol são obtidas exclusivamente de maneira artificial (é o caso do álcool anidro) e que mesmo a sua forma mais comum – o álcool hidratado – só pode ser obtida a graus desejáveis de pureza por meio de processos químicos deliberados.

Deixando à parte discussões sobre a natureza tecnológica do próprio álcool, a sua produção consiste numa refinada técnica, a qual exige a presença de uma série de artefatos auxiliares (que configuram todo o complexo produtivo denominado destilaria) e que tem se desenvolvido desde centenas de anos. Como o álcool pode ser extraído de uma série de matérias primas, como se verá, há significativas diferenças nas técnicas para sua produção.

Artefatos de importância fundamental para este estudo, e que seguramente passariam despercebidos por um leitor mais desatento, são as misturas combustíveis. Sabe-se que durante toda a história do álcool-motor foram testadas diversas misturas à base de etanol, a este se adicionando gasolina, metanol, éter e outras substâncias, em cada caso. Cada uma dessas misturas requer técnicas de produção distintas e tem características básicas diversas, como poder calorífico, corrosividade, rendimento etc.

2.1.2. Motores especializados, motores adaptados e peças especiais

Desde que Otto construiu o primeiro motor de quatro tempos, ainda no Séc. XIX, houve uma gradativa diversificação na estrutura desses artefatos no que diz respeito ao número de cilindros, à taxa de compressão da mistura, à quantidade de admissão de combustível etc. A grande maioria dessas diferenciações se devia a aproveitamentos diferentes da gasolina: alguns veículos eram projetados para serem mais potentes, outros mais velozes, outros mais econômicos e daí em diante.

Mas também foram desenvolvidos motores do Ciclo Otto específicos para o uso do etanol, puro ou em mistura. Em certas épocas predominaram as adaptações de motores inicialmente projetados para o uso da gasolina; em outras, notadamente durante o auge do Pró-Álcool, motores específicos para o uso do álcool-motor passaram a dominar o mercado. Esses são, provavelmente, os artefatos de maior importância na história do etanol combustível.

Ressalte-se que o motor é um artefato extremamente complexo, composto de vários artefatos menores, tais como o pistão, as velas, o eixo, as válvulas etc. É o funcionamento orquestrado de todos esses artefatos que possibilita seu funcionamento. Motores modernos são regidos por *softwares* que controlam taxa de ingresso de combustível, o tempo da faísca das velas e até a taxa de compressão dos pistões.

Para que um veículo possa ser satisfatoriamente alimentado com álcool, no entanto, não basta a presença de um motor adaptado ou mesmo originalmente desenvolvido para esse fim. Devido ao alto grau de corrosividade do etanol, é preciso modificar todas as peças que entram em contato com o combustível, como o tanque-combustível e as mangueiras de combustível. O material utilizado na confecção dessas peças deveria ser imune à ação corrosiva do etanol. Tentativas de revestimento das peças usadas nos carros próprios para a gasolina são feitas desde a Era Vargas, mas o problema persistiu mesmo nos tempos do Pró-Álcool.

2.1.3. Sistemas de ignição e sistema *flex fuel*

Quem já teve um carro a álcool sabe que um dos seus grandes problemas era a difícil partida a frio. Devido ao baixo poder calorífico do etanol, havia uma considerável dificuldade para ligar o automóvel pela manhã, quando o motor está frio e a temperatura ambiente também não é elevada.

As primeiras pesquisas acerca do uso do álcool-motor em veículos automotivos já tentavam solucionar tal problema. Alguns apostavam no uso de misturas à base de etanol, mas com maior poder calorífico. Outros insistiam num ingresso maior de combustível nos pistões no momento da partida e aí entravam os sistemas de ignição. O mais famoso deles foi o chamado *afogador*, do qual havia várias versões de acordo com o modelo de carro.

O problema da partida a frio só veio a ser solucionado com a popularização de um novo sistema de ignição: a injeção eletrônica, que controlava o ingresso de combustível no momento da ignição. Mesmo com a injeção, no entanto, ainda poderia haver dificuldade nos dias particularmente frios. Por isso os carros equipados com o sistema *flex* têm sistema de ignição diferenciada, com um pequeno reservatório de gasolina próximo ao motor, o qual fornece combustível para auxiliar na partida, de acordo com as orientações de um *software*.

O sistema *flex* é o mais recente dos artefatos ligados ao uso do álcool-motor e consiste na mensuração constante da concentração de oxigênio em mistura combustível de etanol e gasolina, para daí determinar a participação de cada uma dessas substâncias na mistura. Essa informação é processada por um *software* e enviada aos componentes eletrônicos do motor, que alteram seu funcionamento de acordo com o tipo de mistura detectada, tornando possível o abastecimento do veículo com misturas de álcool e gasolina em qualquer proporção.

2.2. Principais variantes

Na primeira parte desta trabalho, especificamente nos capítulos 2 e 3, demonstrei ser o ponto central de um modelo evolutivo a competição entre variantes de um mesmo substrato. No caso, variantes de técnicas e artefatos ligados ao álcool-motor. Nesta seção apontarei algumas das mais importantes variantes que estiveram em confronto direto durante a secular história do etanol e de suas tecnologias.

Antes de adentrar em técnicas e artefatos específicos, é preciso ressaltar que as tecnologias do álcool-motor, como um todo, sempre estiveram em franca competição com as tecnologias relacionadas a outros combustíveis ou sistemas de propulsão. Como já se disse, no início do Séc. XX os automóveis movidos por combustão interna rivalizavam com os movidos a eletricidade e vapor. Dentro da categoria *combustão*

interna já havia a contraposição entre etanol, gasolina e diesel. Houve ainda outros combustíveis competidores, como o gasogênio, durante a segunda grande guerra (NATALE NETTO, 2007, p. XX), e o gás natural veicular, surgido já no final da segunda metade do Séc. XX.

No âmbito dessa competição mais generalizada entre sistemas de propulsão e tipos de combustíveis, confrontam-se desde a eficiência das técnicas de produção até o desempenho de artefatos específicos, tais como o motor (potência, desempenho) e os sistemas de ignição. É necessário, entretanto, demonstrar uma competição ainda mais específica, envolvendo apenas variantes de técnicas e artefatos ligados ao álcool-motor. Vamos, portanto, às seções seguintes.

2.2.1. Da cana, da beterraba, do milho, da mandioca, da batata, do sorgo ou da celulose: a matéria-prima ideal

O etanol pode ser extraído de uma série de matérias-primas, apesar de ser comum que se pense quase que exclusivamente na cana-de-açúcar no Brasil. A predominante para a fabricação do álcool na Europa foi, por muito tempo, a beterraba. Nos EUA, até nossos dias, o milho continua sendo a fonte predominante para a produção do combustível.

No Brasil, a cana-de-açúcar sempre foi a matéria-prima predominante para a obtenção do álcool. A despeito disso, sempre houve quem o produzisse por meio de outros vegetais, como a mandioca, a batata, o sorgo sacarino e a celulose (MENEZES, 1980, p.39; NATALE NETTO, 2007, p.115; PENIDO, 1980, p.71). Qual seria a razão da dominância da cana-de-açúcar frente às demais variedades de matéria-prima? Antes de tentar responder essa questão, é preciso fazer notar que se trata de uma disputa de técnicas de produção. Cada um dos vegetais de que se pode extrair etanol exige uma técnica de produção agrícola e de obtenção do álcool particular. Trata-se, portanto, de uma competição entre tecnologias de produção do álcool.

Então, por que a cana-de-açúcar? Uma teoria que defendesse a autonomia da dinâmica tecnológica apostaria que o álcool é a alternativa mais eficiente. Isso é bem questionável. Há, atualmente, certo consenso de que a extração do etanol da celulose

provavelmente é mais eficiente do que o atual processo de uso do melaço da cana²³. A celulose pode ser obtida facilmente, aliás, da própria cana-de-açúcar, como também de uma série de outros vegetais. Mas porque essa alternativa não foi desenvolvida antes? Falta de interesse da sociedade, diria outra teoria que apostasse na construção social das tecnologias. A assertiva não parece proceder, já que houve uma deliberada pressão política para que o processo de extração do álcool a partir da celulose fosse o foco do Pró-álcool (NATALE NETTO, 2007, p. 205-208). A desconfiança em relação à maior eficiência da obtenção de álcool a partir do melaço da cana torna-se ainda maior quando se lê interessante estudo apresentado no I Congresso Nacional de Carburantes que pretende demonstrar a maior eficiência da produção do etanol a partir da mandioca, comparando-a com a produção por meio da cana-de-açúcar (I CONGRESSO NACIONAL DE CARBURANTES, 1944, p.166).

A verdade é que o uso da cana-de-açúcar como fonte primária para obtenção do etanol é um exemplo de canalização. Essa cultura servia de base para a produção de álcool no Brasil muito antes da existência de carros e motores de combustão e a respectiva técnica de obtenção do produto final passou por séculos de evolução tecnológica. Não se trata de reconhecer uma primazia simplesmente ligada à eficiência da técnica, mas de reconhecer a sua maior adaptação a todos os contornos dos ambientes de seleção. Esses fatores, no caso da cana-de-açúcar, eram de ordem política (o *lobby* dos produtores de cana sempre foi fortíssimo); de ordem econômico-logística (só a cultura da cana poderia garantir um volume considerável de produção de álcool); e mesmo de ordem estritamente tecnológica (as melhores variantes de cana, das técnicas de seu plantio e do arranjo industrial das destilarias foram secularmente selecionadas).

Enfim, a cana-de-açúcar não venceu por ser *absolutamente* mais eficiente ou por uma deliberada construção de agentes sociais. Venceu porque anos de evolução lhe garantiram uma maior adaptação aos meios seletivos.

2.2.2. Destilarias anexas ou autônomas?

Uma interessante competição tecnológica, também ligada à técnica de produção do álcool-motor, foi o embate entre as destilarias anexas e destilarias autônomas, que

²³ A revista *Technology Review*, publicação do *Massachusetts Institute of Technology*, tem abordado o tema com particular frequência.

ocorreu durante os primeiros anos do Pró-Álcool. As destilarias anexas são aquelas que fazem parte de uma unidade industrial também capaz de produzir açúcar e as autônomas são aquelas voltadas exclusivamente para a produção do etanol.

Durante a primeira fase do Pró-Álcool, os dois arranjos produtivos competiram pela destinação de incentivos econômicos do governo e havia forte pressão para que tais incentivos se dirigissem mais robustamente para as destilarias autônomas. As destilarias anexas, entretanto, acabaram recebendo o mesmo tratamento na política governamental (MENEZES, 1980, p.213). Hoje se sabe que essa decisão não favoreceu o arranjo industrial mais eficiente, já que a produção de álcool pelas destilarias anexas é fortemente influenciada pelo preço do açúcar no mercado internacional, tornando volátil a quantidade de litros a ser produzida em cada período do ano. A alta do preço do açúcar foi o fator determinante para a crise de abastecimento de etanol em 1989, que imprimiu ao Pró-Álcool uma trajetória descendente. Mais uma vez prevaleceu, portanto, a técnica mais adaptada, e não a mais eficiente ou avançada.

2.2.3. Motores e misturas combustíveis

A história das tecnologias do álcool tem como protagonista o motor, mais importante de todos os artefatos que compõem um veículo. De início, o motor competiu com outros sistemas de propulsão, mas sempre houve uma competição entre motores. Dos vários motores inventados no final do Séc. XIX, sobreviveram à disputa o de Otto e o de Diesel. O motor do Ciclo Otto nasceu com a possibilidade de uso de mais de um tipo de combustível, mas cada um deles percorreu um caminho evolutivo diferente no sentido de um aproveitamento mais eficiente da energia. Durante a saga do álcool no Brasil, foram inventados e testados uma série de motores do Ciclo Otto. Alguns para serem movidos somente com etanol e outros para otimizar o uso de misturas. Alguns eram meras adaptações de artefatos originalmente fabricados para o uso de gasolina e outros já haviam sido fabricados para o consumo do álcool. Uma variante interessante do motor a álcool é o já citado dispositivo Chambrin, que pretensamente possibilitaria que um motor desenhado originalmente para o consumo de gasolina funcionasse à base de uma mistura paritária de água e etanol. Em resumo, motores próprios para etanol competiam com motores próprios para misturas e ambos competiam com motores próprios para gasolina.

Ao final do Pró-Álcool, estava se chegando a um veículo com motor do Ciclo Diesel que fosse alimentado a álcool (ANAIS DO I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, 1985, p.140). Esse caminho de pesquisa e desenvolvimento, que poderia parecer fracassado para muitos em virtude do fim do Pró-Álcool, é base da tecnologia nacional do Biodiesel, que vem chamando a atenção de pesquisadores do mundo inteiro. Logo, motores movidos a biodiesel competirão com motores movidos a Diesel e, provavelmente, diferentes versões suas também disputarão pela primazia no mercado.

Outra das grandes disputas na história das tecnologias do álcool-motor se deu entre duas de suas próprias espécies: o álcool anidro e o hidratado. Cada uma das versões é obtida por meio de uma técnica industrial específica e sua utilização também é diferenciada. O álcool hidratado deve ser utilizado puro e o álcool anidro serve de base para misturas. A depender do caminho que tenha trilhado a evolução das tecnologias de aplicação do álcool-motor, no sentido de funcionarem a base de etanol puro ou de misturas, haverá a preponderância de um tipo sobre o outro. Como a trajetória dessas tecnologias é evolutiva, não há como determinar de antemão quais das espécies irá prevalecer.

Mas não há apenas a competição entre os dois tipos de apresentação do etanol, como também uma grande disputa entre misturas à base da versão anidra. Como já mencionei, no Brasil havia a Usga, a Nortina, a Azulina, a Motorgás, o álcool-motor Catende etc. (NATALE NETTO, 2007, p.71). Havia misturas similares também em outros países, como na França, Itália, Alemanha, Bélgica etc. (MENEZES, 1980, p.11).

2.2.4. Soluções Tecnológicas para a Partida a Frio e o sistema *flex fuel*

As dificuldades enfrentadas na partida a frio pelos veículos movidos a álcool já fazem parte do anedotário nacional. À época do Pró-Álcool, era comum que os proprietários de veículos passassem o início da manhã “esquentando” o motor de seus carros, dando a partida inicial com o auxílio do afogador. A verdade é que o baixo poder calorífico do álcool dificulta a partida quando o motor está frio, o que ocorre após o decurso de algumas horas com o carro desligado. O problema costuma ocorrer especialmente pela manhã, já que a maioria dos condutores não utiliza seus veículos à noite.

O afogador foi a tecnologia pioneira para combater o problema; tratava-se de um instrumento que injetava uma quantidade maior de combustível nos êmbolos do motor para facilitar a partida. Mas mesmo com o seu uso a partida continuava problemática. Era preciso aquecer o carro, e por vezes “empurrá-lo”, para que realmente entrasse em funcionamento. Quando a injeção eletrônica substituiu o carburador – artefato que levava o combustível ao motor de forma não seletiva – o afogador entrou em lenta extinção, já que o sistema eletrônico passou a calcular a quantidade ideal de combustível nos êmbolos para a partida do carro de acordo com a temperatura do motor. O sistema de injeção é composto de sensores e atuadores que, dentre outras funções, monitoram a quantidade ótima de ingresso de combustível no motor.

Mas o problema ainda não estava resolvido. Por mais que se injetasse uma quantidade ótima de álcool nos êmbolos, persistia certa dificuldade para ligar o carro em ambientes especialmente frios. O sistema *flex fuel*, que permite que o veículo consuma alternadamente, ou em mistura, álcool e gasolina, possibilitou um novo arranjo. Os veículos agora dispõem de um pequeno reservatório com gasolina, que é usada para partida quando os sensores do sistema eletrônico identificam que o motor está em baixa temperatura.

A solução dada pela injeção eletrônica é um aperfeiçoamento da solução já presente no uso do afogador: mais ingresso de combustível nos êmbolos do motor. Trata-se apenas de um avanço na forma de cálculo de ingresso desse combustível, avanço esse, aliás, que estava em estrita dependência da coevolução²⁴ de tecnologias da eletrônica. A solução latente no sistema *flex* se aproveita do arcabouço de sensores e atuadores do sistema de injeção eletrônica, acoplando a isso sua possibilidade de uso de mais de um combustível.

Por sua vez, o sistema *flex fuel* – que possibilita que um mesmo motor possa funcionar com álcool, gasolina e misturas arbitrárias dos dois combustíveis – é uma tecnologia de considerável complexidade. A primeira circunstância interessante no contexto de sua evolução é o fato do sistema ter se desenvolvido a partir da estrutura já presente no sistema de injeção eletrônica. Com efeito, o sistema *flex* se assenta sobre a estrutura de sensores do sistema de injeção eletrônica, utilizando-a para realizar a

²⁴ Mark Ridley (2006, p. 702) define coevolução como “Evolução em duas ou mais espécies, em que as mudanças evolutivas de cada espécie influenciam a evolução da outra espécie”.

análise da mistura combustível que está sendo utilizada. Mas algumas variantes do sistema *flex* possuíam uma sonda física própria para desempenhar essa tarefa. Essas variantes desapareceram do mercado em virtude de seu alto custo.

As primeiras versões do sistema *flex* só operavam com um tipo de combustível por vez, não aceitando misturas arbitrárias. Novas variantes, com *softwares* de detecção de mistura mais avançados, levaram essas primeiras versões ao quase completo esquecimento. Outro ponto importante da tecnologia bicomustível é que todo o veículo, e não só o motor, deve estar preparado para receber as diferentes substâncias. As peças que entram em contato com o combustível, por exemplo, devem ser resistentes a ações deletérias do álcool e da gasolina, como corrosão e acúmulo de impurezas. Em outras palavras, uma série de artefatos precisa estar adaptada ao uso de ambos combustíveis e de sua mistura.

2.2.5. Espécies e indivíduos

Tratei, nos tópicos precedentes, de variantes de técnicas e artefatos. Demonstrei, por exemplo, que a base do sistema *flex* é a estrutura de sensores de uma tecnologia pré-existente, a injeção eletrônica; que a própria injeção eletrônica é um aperfeiçoamento da injeção mecânica outrora realizada pelo carburador; que os motores a álcool e gasolina modernos têm uma ascendência comum etc. De forma que abordei a variação individual em espécies tecnológicas. Em boa parte dos casos enumerei as variações brevemente. Como é essencial para o modelo evolutivo frisar esse aspecto da dinâmica tecnológica, trago ainda alguns exemplos.

Sistemas de injeção eletrônica são produzidos por uma série de grandes empresas, dentre elas a Bosch, a Magnetti Marelli, a Siemens, a Delphi, a Mitsubishi etc. Só a Bosch produz atualmente quatro sistemas de injeção diferentes – Le-Jetronic, Motronic, Mono Motronic e Motronic ME 7 – cada um deles com características e preços diversos.²⁵ Os sistemas de injeção podem ser, por exemplo, analógicos ou digitais. Quanto ao número de válvulas injetoras, podem ter somente uma válvula injetora de combustível ou várias válvulas injetoras. Sistemas com várias válvulas podem ter alimentação não seqüencial – todas válvulas injetam a um só tempo; semi-seqüencial – certas válvulas injetam no mesmo instante que outras; seqüencial – cada

²⁵ Informações obtidas no sítio eletrônico WWW.bosch.com.br.

válvula injeta em momento diverso. A conjunção dessas e de outras características vai diferenciando os vários modelos de sistema de injeção eletrônica, todos em franca competição pela predominância tecnológica.

Acontece o mesmo com os motores. Praticamente todas as grandes fábricas de veículos têm linhas próprias de motores e procuram diferenciar seus produtos daqueles oferecidos pelas concorrentes. Os motores variam de acordo com o tipo de combustível utilizado, o volume de admissão de combustível, a quantidade de cilindros, a pressão nos cilindros etc. Só a empresa Ford lançou, de 1908 até nossos dias, *mais de 70* modelos diferentes de motor. A General Motors, por sua vez, *bem mais de uma centena*.

Dados como esses demonstram com clareza a existência de uma acirrada competição entre variantes de uma mesma espécie de artefato ou técnica, elemento tão importante para um modelo evolutivo.

CAPÍTULO 3 – SELEÇÃO

A etapa essencial para que um processo seja considerado evolutivo é a seleção de variantes em um determinado ambiente. Neste capítulo, trato dos diferentes ambientes e dos critérios de seleção mais relevantes para o modelo de evolução tecnológica. A trajetória evolutiva de uma nova técnica ou artefato compreende, é preciso ressaltar, mais de um tipo de ambiente seletivo, cada um com suas pressões seletivas peculiares.

3.1. Unidades de pesquisa e unidades empresariais

Os ambientes seletivos externos primários são os laboratórios de unidades de pesquisa do governo, de empresas e mesmo de pesquisadores independentes, que muitas vezes desempenham um papel fundamental na dinâmica da inovação tecnológica. Na história das tecnologias do álcool-motor, destacam-se as pesquisas realizadas pela Estação Experimental de Combustíveis e Minérios, pelo Instituto Nacional de Tecnologia, pelo Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA, pelo Centro Técnico Aeroespacial – CTA, pelas antigas Escolas Politécnicas e pelas universidades públicas.

Vale lembrar, ainda, que, no atual arranjo sócio-econômico, boa parte das inovações é uma iniciativa comercial de empresas em busca de lucro. A iniciativa privada não apenas mantém atividades de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, como também é responsável pela sua formatação estética, pela sua apresentação comercial, pela sua popularização etc. Na trajetória das tecnologias do etanol se destacam as usinas sucroalcooleiras, as destilarias autônomas, a Petrobrás e as grandes montadoras de veículos.

3.2. Competições desportivas

Algumas tecnologias são testadas em um interessante ambiente: as competições desportivas. É possível citar vários artefatos e técnicas mais simples que o são, tais como tênis e roupas especiais, técnicas de preparo físico, óculos especiais etc. E há outros mais refinados: bicicletas, barcos, balões, armas de fogo etc.

O meu interesse por esse ambiente seletivo se dá justamente porque as tecnologias do álcool-motor freqüentaram assiduamente algumas pistas de corrida no Séc. XX. Destacam-se aqui as iniciativas do Touring Club do Brasil e do Automóvel Club do Brasil, que estimularam boa parte das competições em que estiveram presentes carros movidos a etanol.

3.3. Governo e tribunais

Alguns ambientes seletivos por que passam as novas tecnologias não são facilmente visualizáveis. É fácil pensar nos laboratórios ou no mercado consumidor, mas o leitor pode vir a se perguntar o que faz nesta lista o tópico *governo e tribunais*. As relações entre tecnologias e a sociedade, no entanto, vai bem além de uma análise de viabilidade técnica ou de eficiência econômica de uma nova técnica ou artefato. Boa parte das novas tecnologias depende, em certa medida, da tolerância ou incentivo do poder político local ou mesmo da anuência do judiciário. É o caso, aliás, da grande maioria das tecnologias tidas por fundamentais no mundo contemporâneo, como a telefonia, a internet, as técnicas médicas etc.

Nesses ambientes, os critérios de seleção são bem diferentes daqueles que se encontram nos ambientes ligados à pesquisa ou ao consumo. Na história do etanol, governos desempenharam um papel fundamental, tanto os estaduais quanto o federal, desde a república velha. Sem falar no papel que desempenharam as decisões tomadas por governos de outros países, com a *Prohibition* (Lei Seca) do governo americano, que fez desaparecer o mercado de etanol naquele país.

3.4. Mercado consumidor

De todos os ambientes seletivos de tecnologias, o mercado consumidor é o mais fácil de imaginar. A competição entre técnicas e artefatos pela preferência dos consumidores é algo explícito e reconhecido por todos. Mesmo que o volume de tecnologias em jogo e a intensidade da competição variem de acordo com o nível de regulamentação de cada mercado, sempre haverá uma taxa mínima de inovação e competitividade. As diversas tecnologias relacionadas ao álcool-motor têm diferentes mercados relevantes. O mercado de combustíveis é altamente regulamentado, mas os

mercados de automóveis e de produção sucroalcooleira não tanto, decorrendo daí consideráveis distinções entre eles.

3.5. A mente humana e os seletores internos

Antes de ser testada nos laboratórios do governo e das empresas, de ser avaliada em competições desportivas, subsidiada pelo governo, julgada pelos tribunais ou lançada ao mercado, uma tecnologia tem de ser selecionada no mais primário dos ambientes: a mente humana.

O fato é que – como foi explicitado nos capítulos 2 e 3 da primeira parte desta dissertação – os seres humanos são capazes de armazenar informação acerca do ambiente externo em suas mentes, criando uma espécie de ambiente seletivo interno (ABRANTES, 2004b, p. 29). Esse ambiente interno pré-seleciona as disposições cognitivas, aumentando a sua adaptatividade. No caso da inovação tecnológica, é lícito dizer que esse ambiente internalizado serve para pré-selecionar inventos que pareçam ter mais chances de sucesso nos ambientes externos.

3.6 Fatores de seleção

No tópico anterior, citei uma série de ambientes seletivos relevantes para a dinâmica da evolução tecnológica. Em cada um desses ambientes operam fatores de seleção diversos, e as tecnologias mais adaptadas em um deles podem não manter essa mesma condição nos outros. Nesta seção, irei tratar brevemente dos mais importantes fatores de seleção presentes na evolução das tecnologias do álcool-motor.

3.6.1. Fatores técnicos

Fatores de seleção técnicos predominam em ambientes seletivos como os centros de pesquisa institucionais e as divisões de pesquisa de grandes empresas. As tecnologias mais adaptadas, de acordo com critérios técnicos de seleção, seriam aquelas que melhor desempenhassem as funções que lhe são imputadas, a despeito de serem politicamente indesejáveis, antieconômicas, imorais etc. A tecnologia de produção agrícola por meio de grãos transgênicos, por exemplo, é incontestavelmente mais eficiente que suas concorrentes, mesmo sendo contestável jurídica e moralmente.

No caso do etanol, critérios de seleção de natureza predominantemente técnicos orientavam a seleção dos artefatos e técnicas produzidos nos laboratórios das Politécnicas, do CTA, do IAA, da Estação Experimental, do Instituto Nacional de Tecnologia, de grandes empresas do setor automobilístico que atuaram no Pró-Álcool e das empresas de eletrônica que desenvolveram sistemas como a injeção eletrônica e o sistema *flex* etc.

3.6.2. Políticos e jurídicos

Por *políticos* quero referir-me aos fatores de seleção relacionados com a atuação de instituições estatais, como o Congresso ou o Executivo Federal, de grupos de pressão específicos, como os ruralistas e industriais; e mesmo com a ideologia política de uma época. *Jurídicos* seriam aqueles fatores de seleção diretamente ligados a determinações legais e questões judiciais. Fatores de seleção de natureza política ou jurídica podem desempenhar um papel subalterno na história evolutiva de algumas tecnologias, mas na de algumas, especialmente as de maior impacto social, sua importância é incontestável. É o caso das tecnologias do álcool-motor, em cuja história sempre foi marcante a presença de relevantes forças políticas.

Apesar de as atividades de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias do álcool-motor se terem iniciado ainda na República Velha, regime de caráter nitidamente liberal, foi sob a égide de regimes de ideologia nacionalista que suas técnicas e artefatos foram privilegiados. O primeiro governo de Vargas e o período militar puseram em evidência os produtos desenvolvidos por pesquisadores como Sabino de Oliveira e Urbano Stumpf. Do início do século passado até seu fim, uma série de atos legais foram editados para promover o consumo de etanol, para criar institutos de pesquisa ou mesmo para subsidiar a produção de matéria-prima agrícola. Normas como as contidas nos Decretos n. 15.209, de 29 de dezembro de 1921 e n. 17.717, de 2 de fevereiro de 1931, ambos de Vargas, e no Decreto n. 76.593, de 14 de novembro de 1975, de autoria de Geisel, estimulavam a seleção de tecnologias relacionadas ao álcool-motor.

Vale ressaltar, ainda, que a replicação diferencial de algumas das variedades de tecnologias em competição no âmbito da produção do etanol, como a produção a partir da cana e a predominância das destilarias anexas, foi causada pela presença de pressões seletivas ligadas a força política de produtores rurais e de usineiros.

Atualmente, ideologias políticas de cunho ambientalista têm contribuído para uma maior aptidão das tecnologias do álcool-motor, que passaram a ser consideradas tecnologias “limpas”, uma vez que promovem o consumo de energia renovável.

3.6.3. Econômicos

Fatores econômicos estão presentes em quase todos os ambientes seletivos relevantes, especialmente pelo fato de vigorar no Brasil um sistema de mercado. A maior parte do esforço de inovação tecnológica parece justamente visar ao lucro, sendo natural que características como a viabilidade comercial de uma técnica ou artefato seja algo importante no ambiente mental do inventor, nos laboratórios, nas instituições governamentais de fomento etc.

Na história das tecnologias do álcool-motor esse foi um fator de seleção crucial, já que a competitividade do etanol enquanto combustível está sempre na dependência do preço do petróleo (já que seu principal competidor é a gasolina) e do preço do açúcar (uma vez que a produção desse outro subproduto da cana-de-açúcar pode fazer cair a produção de álcool, diminuindo a oferta de combustível com conseqüente aumento dos preços ao consumidor).

3.6.4. Propaganda e estética

Fatores de seleção relacionados com a apresentação comercial e a aparência de certa técnica ou artefato podem ter grave influência em sua aptidão, especialmente no caso de tecnologias cosméticas ou relacionadas com lazer. No caso da história evolutiva das tecnologias do etanol, embora não se possa afirmar que tenham tido influência decisiva, fatores de seleção de natureza publicitária e estética desempenharam um papel relevante.

O álcool-motor sempre foi tratado como “combustível nacional”, o que fazia com que as tecnologias relacionadas com sua utilização tivessem uma boa imagem perante o público consumidor. Apesar disso, as falhas do Pró-Álcool acabaram manchando a reputação de tecnologias do álcool-motor, que passaram a ser consideradas “ultrapassadas” por uma parte da população na década de 90 do século

passado, como demonstra interessante pesquisa de opinião realizada no ano 2000 (UNICA, 2000).

Desde o início do século, as tecnologias do álcool-motor estão sendo propagandeadas como “limpas”, uma vez que os veículos movidos a etanol emitem menos resíduos poluentes que os movidos a gasolina e também por se tratar de um combustível de fonte renovável. Há uma série de questionamentos acerca dos reais benefícios que um consumo mais elevado de etanol traria para o ambiente, mas a fama ecológica das tecnologias do álcool-motor é uma característica incontestavelmente adaptativa no ambiente hodierno.

3.6.5. Combinação de fatores nos ambientes seletivos

Tratados em separado, como nos tópicos acima, os fatores de seleção parecem absolutos em sua esfera, capazes de determinar sozinhos se uma nova tecnologia vai se replicar experimental e comercialmente. Mas em um modelo evolutivo as coisas não acontecem bem assim: as pressões seletivas se entrelaçam em uma complexa trama. Em um mesmo ambiente, algumas pressões seletivas são complementares, outras se opõem ou são determinantes apenas para a definição de caracteres específicos da tecnologia em foco.

Há um exemplo claro na história das tecnologias do álcool-motor: à época áurea do Pró-Álcool, primeira metade da década de 80 do século passado, o preço do petróleo estava em patamares modestos, o preço do etanol aumentava, o *lobby* dos produtores de açúcar estava cada vez mais poderoso, os subsídios econômicos concedidos aos produtores de cana-de-açúcar e proprietários de destilarias estavam em seu auge, o discurso nacionalista caía em desuso, a eficiência da tecnologia empregada nos carros a álcool era contestada pela sociedade, o governo e as empresas investiam na pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas e artefatos ligadas ao etanol etc. Em outras palavras, a quantidade, a natureza e a direção das pressões seletivas relevantes apresentavam enorme diversidade.

Dentre as pressões seletivas acima referidas, umas têm relação direta com alguma outra. O preço estável do petróleo, a alta de preços do etanol e a ampliação dos subsídios econômicos concedidos pelo governo são pressões seletivas de natureza econômica; as duas primeiras são complementares, mas a última delas se opõe às

demais. O vetor originado da composição entre as diversas pressões seletivas presentes em um dado ambiente é que determina quais variações de técnicas e artefatos são as mais adaptativas.

CAPITULO 4 – REPLICAÇÃO

Identificada a presença de variação e seleção na trajetória das tecnologias do álcool-motor, resta tratar da replicação dos entes selecionados, momento em que ocorre a retenção dos caracteres que os tornam mais aptos. Como demonstrei na primeira parte deste estudo, na evolução tecnológica é possível distinguir a replicação inovativa e a replicação industrial. A primeira ocorre quando a tecnologia é replicada com variação e a segunda quando ela é replicada sem introdução de quaisquer mudanças. Ambas, entretanto, são sinais de sucesso evolutivo.

Há uma série de eventos que comprovam a replicação diferencial das tecnologias do álcool-motor em ambientes favoráveis e a conseqüente retenção dos caracteres relevantes para seu sucesso. Mas começo com um exemplo mais geral. Logo no início deste estudo de caso, informei que no ano de 1900 havia, nos EUA, 1.681 automóveis movidos a vapor, 1.575 carros elétricos e 936 veículos equipados com motor de combustão interna (BASALLA, 2002, p.198). Em um contexto de crescente participação do petróleo no mercado de energia e liderança americana da produção de veículos, o motor de combustão interna passou a ter uma replicação diferencial; em 1905, como afirmei no primeiro capítulo, ultrapassou as outras tecnologias de propulsão em número de veículos. Com o passar do tempo, os artefatos competidores tiveram replicação cada vez menor e o carro movido a vapor se extinguiu completamente; o carro elétrico, por sua vez, manteve uma taxa de replicação quase insignificante, até o advento das preocupações ambientais e a sucedânea modificação no ambiente seletivo.

Outro bom exemplo de replicação diferencial é a trajetória dos próprios tipos de motores de combustão interna. Os primeiros motores de combustão interna do Ciclo Otto eram movidos tanto com álcool quanto com gasolina. Como afirmei, nas suas primeiras versões, o lendário Ford Model T, primeiro carro produzido em série, era de fato um bicombustível. Mas replicação diferencial levou a uma diferenciação extrema, produzindo uma especiação.

Passo a um caso imaginário: um país que conte com petróleo em abundância e onde a produção e uso do álcool hidratado sejam legalmente controlados. De início, os motores seriam indiferenciados em relação ao uso de etanol ou gasolina. Mas o baixo custo da gasolina e o controle da produção de etanol fariam com que os consumidores

tivessem preferência absoluta pelo uso da primeira. Imagine-se agora que um tecnólogo adaptasse o modelo de motor para um melhor aproveitamento da gasolina e que tivesse, porém, menor aproveitamento do álcool. Por pequeno que fosse esse diferencial de aproveitamento, o uso predominante da gasolina faria, após um certo tempo, que a maioria ou todos os motores passassem a ter essa pequena adaptação em seu funcionamento. Um outro tecnólogo, poucos anos depois do surgimento do primeiro motor adaptado poderia introduzir uma nova mudança que aumentasse esse aproveitamento diferencial novamente em favor da gasolina. E daí por diante. É possível que muitas das novas adaptações introduzidas não se apresentassem efetivamente vantajosas no sentido de um melhor aproveitamento da gasolina e fossem, portanto, descartadas. Mas isso não prejudicaria o movimento geral, uma vez que as inovações bem-sucedidas se iriam incorporando gradativamente nos modelos de motor fabricados pelas empresas. No médio ou longo prazo, praticamente todos os motores daquele país estariam adaptados para o consumo da gasolina, mas não para o de álcool.

Penso agora em um outro país, só que com pouco petróleo e com larga produção de etanol. Nesse segundo país, o movimento evolutivo vai ocorrer em sentido exatamente oposto, já que o vetor resultante da soma das pressões seletivas seleciona positivamente inovações que promovam o melhor uso do álcool. O que ocorreu, no caso, foi de fato uma especiação, já que o motor ancestral era indiferenciado em relação ao combustível e a replicação diferencial em ambientes distintos criou duas novas espécies de motor, uma que só pode ser movida à gasolina e outra a álcool. Só a título de curiosidade, os países que escolhi não são tão imaginários assim. São, respectivamente, os EUA e o Brasil no decorrer do Séc. XX.

No âmbito das tecnologias brasileiras do álcool-motor, a replicação experimental e reprodutiva em ambientes favoráveis é patente. Como mencionei anteriormente, a porcentagem de produção de veículos de passageiros movidos exclusivamente a álcool alcançou 92,6% no ano de 1983 e havia uma série de pesquisas em curso, como as que buscavam tornar possível o uso de etanol em motores do Ciclo Diesel. Nessa época, o preço do combustível estava competitivo, havia forte incentivo político para a produção de motores a álcool, as tecnologias do álcool-motor eram encaradas com orgulho nacionalista pelos consumidores, dentro outros fatores de seleção favoráveis. Quando o ambiente mudou drasticamente – em virtude do aumento de preços do etanol e da

deterioração da imagem das tecnologias correlatas perante o consumidor – a proporção da produção de carros novos movidos a álcool caiu para algo em torno 10% do total, indo para 1% alguns anos depois, quando até os fatores de seleção políticos deixaram de ser favoráveis. Mas as tecnologias do álcool-motor retornaram triunfantemente após uma década de esquecimento, uma vez que o ambiente foi gradualmente se tornando menos hostil por conta da contínua elevação do preço do petróleo, da tecnologia *flex-fuel* e da intensificação da agenda ambiental. Torno a repetir que, no ano de 2006, quase 80% dos veículos de passeio vendidos no país podiam consumir álcool (CORREIA, 2007, pg. 5), havendo também forte replicação inovativa das tecnologias bicombustíveis.

Em suma, a análise da trajetória evolutiva das técnicas e artefatos relacionados ao álcool-motor demonstra que as tecnologias selecionadas replicam-se diferencialmente, de maneira inovativa e industrial. É essa replicação que permite a retenção dos caracteres adaptativos possuídos por tais tecnologias.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO DO ESTUDO DE CASO: A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DO ÁLCOOL-MOTOR

Quando Otto concebeu seu motor de quatro tempos – o ancestral tecnológico dos motores de combustão interna hoje utilizados nos veículos de passeio – não havia grita geral por uma nova forma de locomoção para pequenos grupos, muito menos por uma nova tecnologia propulsora que viesse a substituir os maquinários a vapor. O carro, aliás, foi artigo de divertimento por muito anos após sua concepção, permanecendo como bem supérfluo até a década de 1920 do Século XX (BASALLA, 1998, p.197). Pode se afirmar, ainda, que não havia qualquer necessidade premente que determinasse o uso de gasolina ao invés de etanol nos motores. Tanto que os dois combustíveis predominaram em países diversos e em diferentes momentos históricos.

Para entender a trajetória das tecnologias relacionadas a cada um dos combustíveis, é inútil vasculhar o surgimento de grandes necessidades tecnológicas relacionadas a sua adoção. Também não parece ser vantajosa a procura por invenções revolucionárias. A história do motor de combustão interna, ao menos, desencoraja esse tipo de pesquisa. Melhor investigar os fatores sutis que tornaram o uso da gasolina ou do etanol mais vantajoso que o de combustíveis concorrentes em certos ambientes e tempos históricos. A compilação de pequenos movimentos de inovação tecnológica, em harmonia com fatores de seleção, promete revelar de maneira mais esclarecedora a trajetória do surgimento e estabelecimento de uma determinada tecnologia. Foi o que se tentou fazer neste estudo de caso, aplicando, para tanto, o modelo de evolução tecnológica apresentado na primeira parte da dissertação ao caso das tecnologias do álcool-motor. Acredito sinceramente que foram alcançados os objetivos então propostos: demonstrar o funcionamento do processo de inovação tecnológica por meio de uma ótica evolutiva.

CONCLUSÃO

A conclusão de uma dissertação é o fechamento de um ciclo de estudos percorrido em pouco mais de dois anos, sendo natural que o pesquisador tenha alcançado boas respostas para grande parte dos problemas que se propôs a investigar. Felizmente – e infelizmente para alguns – a finalização de um trabalho acadêmico sempre presenteia seu autor com uma série de novos problemas, originados diretamente dos que foram solucionados.

É exatamente nessa situação em que me encontro ao escrever esta conclusão: na fronteira que separa o território das respostas recentes do território das novas perguntas. Em termos concretos, acredito que obtive sucesso em esclarecer e aperfeiçoar as analogias básicas do modelo de evolução tecnológica; na análise e desconfirmação das alegadas desanalogias entre dinâmica tecnológica e evolução biológica; e, por fim, na aplicação do modelo ao caso real das tecnologias do álcool-motor. Mas tenho a plena certeza de que é necessário, no futuro, resolver novas questões relacionadas ao objeto deste trabalho.

Quais os impactos do modelo para as tantas disciplinas que estudam a tecnologia? Qual o grau de sua compatibilidade com os conhecimentos já estabelecidos sobre o fenômeno tecnológico? Quais são as possíveis influências do modelo nas reflexões da filosofia da tecnologia? Essas e muitas outras perguntas pedem esclarecimento em estudos posteriores. Uma questão específica, no entanto, tem de ter uma solução esboçada ainda neste documento, mesmo que de maneira resumida. Trata-se da pergunta acerca da utilidade do modelo de evolução tecnológica. Seria um luxo acadêmico, sem maior relevância prática, ou pode ser efetivamente vantajoso?

O estudo de caso fornece bons caminhos para enfrentar essa dúvida. Escrutinando-o, percebe-se que o modelo possibilita uma espécie de reconstrução teórica dos fatos históricos envolvidos em uma trajetória tecnológica particular, encaixando-os com naturalidade numa moldura evolutiva. Uma vez incorporada ao modelo, a trajetória tecnológica pode ser compreendida com alto grau de clareza, sendo possível listar extensas vantagens da operação: 1) a visualização da complexificação gradual da técnica ou artefato; 2) a identificação de todas as variações da tecnologia em estudo, evitando o inconveniente desprezo das mal-sucedidas; 3) a análise objetiva do

sucesso de uma inovação, por meio de sua taxa de replicação; 4) avaliação clara das influências de “gênios individuais” na dinâmica tecnológica; 5) identificação e sopesamento das forças que agem na determinação da trajetória evolutiva de uma tecnologia, evitando exageros de pesquisadores de ciências sociais específicas; 6) junção das análises estanques das ciências sociais em um único quadro teórico.

Um leitor atento, porém, faria notar que, a despeito das tantas vantagens da aplicação do modelo a trajetórias de técnicas e artefatos, ainda é preciso recorrer às ciências sociais que tradicionalmente estudam o fenômeno tecnológico. Com efeito, para que se possa coletar os fatos relacionados a uma trajetória tecnológica, será preciso recorrer à história da tecnologia; para que se compreendam as pressões econômicas em um determinado ambiente, será necessária análise da ciência econômica; o mesmo vale para todos outros fatores de seleção (como a política, a moral, a estética) e as ciências que as estudam (como a ciência política, a sociologia e o *design*).

Mas isso já era esperado. Nunca se propôs que o modelo substituísse outras disciplinas que têm a tecnologia como objeto de estudo, e sim que organizasse o conhecimento delas advindo. O mesmo se dá, aliás, no campo da evolução biológica, que nunca pretendeu substituir a taxonomia, a anatomia, a fisiologia, a bioquímica, a paleontologia e tantas outras disciplinas similares. Dessa forma, Lewens conclui que “while biological explanations might have recourse to anatomy, physiology or ecology, techno-evolutionary explanations will have recourse to the traditional human sciences of psychology, sociology, anthropology, and economics” (LEWENS, 2004, p. 157). O fato é que o modelo evolutivo vem para dar sentido harmônico e coeso a toda essa vasta gama de informação originada de investigações independentes. Aqui, vale relembrar a frase mais citada sobre a biologia evolutiva: “Nada em biologia faz sentido, a não ser à luz da evolução”, afirmava Theodosius Dobzhansky.

Fosse apenas isso, já estaria bastante satisfeito com as potencialidades do modelo de evolução tecnológica. Mas acredito que ele pode ter um papel ainda mais relevante; um papel, aliás, de natureza tecnológica. A preeminência do fenômeno tecnológico na vida das pessoas, das empresas e das nações tem tornado cada vez mais cara e perigosa a quase completa falta de previsibilidade em relação as trajetórias futuras de técnicas e artefatos. Alimentos transgênicos, clonagem, nanotecnologia e robótica são apenas alguns exemplos de tecnologias que podem ter um impacto

extremamente positivo ou negativo, a depender de eventos ocorridos durante as muitas etapas de seu caminho evolutivo. O modelo de evolução tecnológica possibilita uma nova espécie de estudos de previsão tecnológica.

Atualmente, as previsões sobre tecnologia se detêm na análise de possíveis efeitos da adoção de uma determinada e de falhas de funcionamento. De acordo com Abrantes e Cezar, “o que se pretende abranger sob a noção ampla de previsões tecnológicas são as antecipações sobre o funcionamento, falhas e efeitos de ferramentas mecânicas e sociais – previsões essas, feitas com a participação de um conhecimento tecnológico” (ABRANTES & CEZAR, 2003, p. 246). O modelo de evolução tecnológica abre as portas para um outro tipo de previsão tecnológica, focada na antecipação de possíveis trajetórias evolutivas de certas técnicas e artefatos mais relevantes. É claro que o modelo não fornecerá previsões exatas, e sim diversos cenários moldados a partir da simulação de diferentes ambientes (e suas pressões seletivas).

Essa previsão tecnológica de larga escala, por assim dizer, é extremamente útil para sociedades que pretendam influenciar de alguma maneira a dinâmica tecnológica. Nesse sentido, é plausível afirmar que o modelo de evolução tecnológica pode tornar-se um instrumento útil para a elaboração de uma política tecnológica que não seja voltada apenas para a produção de *mais* inovação, mas que tenha algum impacto na escolha de *quais* tecnologias serão adotadas e na determinação das condições ótimas que favoreçam sua implantação. Nada mais que uma complexa seleção artificial, análoga àquela que os melhoristas e criadores de plantas e animais vêm fazendo há anos.

Em resumo, o modelo de evolução tecnológica possui três grandes vocações: 1) a compreensão de trajetórias tecnológicas particulares, por meio do encaixe dos fatos históricos na moldura evolutiva; 2) a elaboração de previsões tecnológicas de larga escala, a partir da simulação de cenários com diferentes pressões seletivas em ação; 3) a informação acerca das mais eficientes formas de se influenciar a dinâmica tecnológica.

Cada uma dessas vocações tem de ser cuidadosamente estudada, para que se apontem as limitações e as virtudes do modelo, uma vez que estão, como já afirmei, somente esboçadas nesta conclusão. Para os objetivos deste trabalho, no entanto, bastam as breves considerações tecidas acima; o mais além, tão precioso, reservo para os estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

I CONGRESSO NACIONAL DE CARBURANTES. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1944.

ABRANTES, P. Kuhn e a noção de exemplar. *Principia*, Florianópolis, v. 2, n. 1, pp. 61-102, 1998.

_____. Analogical reasoning and modeling in the sciences. *Foundations of Science*, Bélgica, v. 4, n. 3, pp. 237-270, 1999.

_____. Problemas Metodológicos em Historiografia da Ciência. In Waldomiro, J. (ed.). *Epistemologia e Ensino de Ciências*. Salvador: Arcadia/UCSAL, 2002, pp. 51-91.

_____. Razonamiento analógico y modelado en las ciencias. In Duarte, A.; Rabossi, E. (org.). *Psicología cognitiva y filosofía de la mente: pensamiento, representación y conciencia*. Buenos Aires: Alianza, 2003, pp. 55-98.

_____. Models and the dynamics of theories. *Philosophos*, Goiânia, v. 9, n. 2, pp. 225-270, 2004.

_____. O Programa de uma Epistemologia Evolutiva. *Revista de Filosofia*, Curitiba, v. 16, n. 18, pp. 11-55, 2004b.

_____. *Modelagem e Simulação. In Mimeo*.

ABRANTES, Paulo.; CEZAR, Frederico. G. Princípio da Precaução: considerações epistemológicas sobre o Princípio e sobre sua Interação com o Processo de Análise de Risco. *Cadernos de Ciências e Tecnologia*, Embrapa-Brasília, v. 20, n. 2, pp. 225-262, 2003.

ANAIS DO I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL. Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1985.

BASALLA, George. *The Evolution of Technology*. Cambridge: University Press, 1988.

CAMPBELL, Donald T. *From Evolutionary Epistemology Via Selection: Theory to a Sociology of Scientific Validity*. 1995.

CORREIA, Luiz Eduardo. The reemergence of ethanol fuel in Brazil. *Oxford Energy Forum*, Issue 68, 2007.

COSTA, Newton da; FRENCH, Steven. Models, Theories, and Structures: Thirty Years On. *Philosophy of Science*, n. 67 (Proceedings), pp. S116-S127, 2000.

CUPANI, Alberto. La Peculiaridad del conocimiento tecnológico. *Scientiae Studia*, vol. 4, n. 3, pp. 353-371, 2006.

CZIKO, Gary. Universal Selection Theory and the Complementarity of Different Types of Blind Variation and Selective Retention. In Heyes, C.; Hull, D. (org.). *Selection Theory and Social Construction*. Albany: State University of New York Press, 2001, pp. 15-34.

DAWKINS, Richards. Universal Darwinism. In Hull, D; Ruse, M. (org.). *The Philosophy of Biology*. New York/Oxford: Oxford University Press, 1998, pp. 15-37.

DENNETT, Daniel C. *A Perigosa Idéia de Darwin: A Evolução e os Significados da Vida*. Rio de Janeiro: Rocco, 1998.

DIAMOND, Jared. *Armas, Germes e Aço*. Rio de Janeiro: Record, 2007.

DUTRA, Luís Henrique de Araújo. A ciência e o conhecimento humanos como construção de modelos. *In mimeo*.

FLECK, James. Artefact – Activity: The Coevolution of Artefacts, Knowledge, and Organization in Technological Innovation. In Ziman, J. (org.). *Technological Innovation as an evolutionary process*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, pp. 248-266.

FUTUYMA, Douglas. *Biologia Evolutiva*. Ribeirão Preto: FUNPEC-RP, 2002.

GIERE, Ronald. Using Models to Represent Reality. In Magani, L.; Nersessian, N.J.; Thagard, P. (org.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999, pp. 41-57.

HESSE, Mary. Models and Analogies. In Newton-Smith, W. H. (ed.). *A Companion to the Philosophy of Science*. Malden: Blackwell Publishers, 2000, pp. 299-307.

HULL, David. *Lamarck among the Anglos: An Introduction to Lamarck's Zoological Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press, 1984, pp. xl-lxvi.

JABLONKA, E. Lamarckian Inheritance Systems in Biology: A Source of Metaphors and Models in Technological Evolution. In Ziman, J. (org.). *Technological Innovation as an evolutionary process*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, pp. 27-40.

KRONENFELDNER, Maria. Is Cultural Evolution Lamarckian?. *Biology and Philosophy*, n. 22, pp. 493-512, 2007.

LEWENS, Tim. *Organisms and Artifacts*. Cambridge: The MIT Press, 2004.

MAYR, Ernst. *Biologia, Ciência Única*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MCSHEA, Daniel. Complexity and Evolution: What Everybody Knows. In Hull, D; Ruse, M. (org.). *The Philosophy of Biology*. New York/Oxford: Oxford University Press, 1998, pp. 625-649.

MENEZES, Tobias José Barreto de. *Etanol, o combustível do Brasil*. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 1980.

MITCHAM, Carl. Philosophy of Technology. In Durbin, P. (org.). *Guide of the Culture of Science, Technology and Medicine*. New York: The Free Press, 1980, pp. 282-363.

MOKYR, J. Evolutionary phenomena in technological change. In Ziman, J. (org.). *Technological Innovation as an evolutionary process*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, pp. 52-65.

MONTANARI, Gino; DAMASCENO, Fernando. *SFS – Software Flexfuel Sensor*. Publicado no sítio eletrônico da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva – AEA (<http://www.aea.org.br/docs/ArtigosPublicacao/SFS2.pdf>), 2004.

MOWERY, David.; ROSENBERG, Nathan. *Trajetórias da Inovação*. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

NATALE NETTO, João. *A saga do álcool*. Osasco: Novo Século Editora, 2007.

NELSON, Richard R. Universal Darwinism and Evolutionary Social Science. In *Biology and Philosophy*, n. 22, pp. 73-94, 2007.

NELSON, Richard; WINTER, Sidney. *Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica*. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

PENIDO FILHO, Paulo. *O álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores*. São Paulo: Nobel, 1980.

PETROSKI, Henry. *A Evolução das Coisas Úteis*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2007.

PITT, Joseph. *Thinking About Technology*. New York: Seven Bridges Press, 2000.

RIDLEY, Mark. *Evolução*. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006.

ROSENBERG, Nathan. *Por Dentro da Caixa-Preta*. Campinas: Editora UNICAMP, 2006.

ROYSTON, Roberts. *Descobertas Acidentais em Ciências*. Campinas: Papyrus, 1995.

RUSE, Michael. Evolution and Progress. In Hull, D; Ruse, M. (org.). *The Philosophy of Biology*. New York/Oxford: Oxford University Press, 1998, pp. 610-624.

SOBER, Elliott. *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. Cambridge: The MIT Press, 1994.

STANFORD ENCICLOPEDIA OF PHILOSOPHY. URL: <http://plato.stanford.edu/>

UNICA, União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. *A imagem percebida do carro a álcool e o multicomcombustível como um passo à frente*. São Paulo: Ibope Solution, 2002.

ZIMAN, John. Introduction: Selectionist Reasoning as a Toll of Thought. In Wheeler, M.; Ziman, J. Boden, M.(ed.). *The Evolution of Cultural Entities*. Oxford: Oxford University Press, 2002, pp. 1-8.

ZIMAN, John. (org.). *Technological Innovation as an Evolutionary Process*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000.