

A POSSÍVEL CONTRIBUIÇÃO DA AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA PARA OS PROGRAMAS DE BIOENERGIA

Harry Rothman

André Furtado

3.1 Introdução

CHEGAMOS AO FIM DE UM MILÊNIO surpreendente, ao longo do qual a população humana cresceu 20 vezes, de 300 milhões para 6 bilhões de habitantes. No decorrer desse milênio, o crescimento da exploração de energia foi quase imensurável. Nos primeiros 800 anos, tivemos acesso a relativamente poucas fontes de energia e a quantidade de energia gerada foi insignificante, de acordo com os padrões atuais, mas quase toda a partir de fontes renováveis. Desde então, o crescimento do capitalismo industrial deu vida a taxas de crescimento exponenciais, a imensos mercados energéticos e a enormes avanços tecnológicos relativos a fontes de energia, sua conversão e progressão; primeiramente o carvão mineral e o vapor, em seguida o petróleo, a eletricidade, a energia nuclear e assim por diante. Tamanho foi o crescimento que, nos EUA, no século XX, a energia necessária para manter a economia do país funcionando cresceu mil vezes (Lapp, 1973). No século XX, a energia liberada por nossa tecnologia e usada por nossas forças produtivas de modo geral, deu origem a um nível de riqueza sem precedentes, cujos benefícios se estenderam, mesmo que de forma desigual, pela sociedade e por todo o mundo. Esses benefícios eram tão fascinantes que o preço a que foram obtidos passou despercebido ou foi ignorado durante muito tempo. Quase contra a nossa vontade, esse preço se impôs e nos forçou a considerá-lo. Como a maior parte do crescimento se deu devido ao uso de combustíveis fósseis, a poluição localizada

e os danos resultantes da extração desses combustíveis foram os primeiros impactos a serem notados. Em seguida, expressou-se a preocupação com um eventual esgotamento das reservas de combustíveis fósseis (Meadows et al., 1972). Entretanto, parecia sempre haver uma solução tecnológica para esses problemas — uma solução seria, por exemplo, a energia nuclear; a ingenuidade do ser humano era inexaurível e, assim, o crescimento poderia continuar imbatível, como havia acontecido nos últimos mil anos. Essa crença confortadora dominou o pensamento político (Simon e Kahn, 1984) até que as mudanças climáticas antropogênicas começaram a tomar dimensões cada vez mais visíveis, nos últimos 15 anos. Os governantes abriram os olhos e a palavra sustentabilidade entrou para o vocabulário político (Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1974).

No milênio que se inicia, nossos insustentáveis paradigmas tecnológicos são um grande ponto de interrogação. Como podemos fazer a transição para o desenvolvimento de tecnologias e economias sustentáveis que possam satisfazer às nossas necessidades hoje e, ao mesmo tempo, garantir um sustentáculo ecológico para o futuro? Felizmente temos conhecimento de tecnologias energéticas mais benéficas, como a bioenergia, a energia solar e eólica, que podem constituir a base de um paradigma energético alternativo. É claro que somente o conhecimento dessas tecnologias não garantirá sua ampla aceitação e predominância. Temos que encontrar formas e meios de demonstrar suas vantagens sobre as práticas atuais e desenvolver políticas adequadas. Não podemos evitar os “dilemas tecnológicos”, como, por exemplo, o de que progresso sempre tem um preço. Ele traz vantagens e desvantagens. Portanto, devemos tentar estruturar nosso pensamento político de modo que esse dilema tecnológico seja reconhecido e incorporado no nosso pensamento. Essa é uma parte do conceito de avaliação tecnológica (AT). A outra parte é uma questão democrática mais ampla, que diz respeito à igualdade social, levando-se em conta qualquer custo e benefício.

3.2 A origem da avaliação tecnológica

O CONCEITO DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA foi definido por Huddle (Medford, 1973) como “[...] a busca intencional, oportuna e interativa das consequências imprevisíveis de uma inovação derivada da ciência aplicada ou

do desenvolvimento empírico, identificando as partes afetadas, avaliando os impactos sociais, ambientais e culturais, considerando as alternativas tecnológicas viáveis e revelando oportunidades implícitas com o propósito de proporcionar um gerenciamento mais efetivo para atingir as metas sociais”. Hetman (1973), no clássico estudo realizado para a OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico), também aderiu a essa definição, argumentando que “ela (AT) é objetiva e neutra e visa enriquecer as informações pertinentes à tomada de decisões gerenciais. Tantos os efeitos indiretos positivos quanto os negativos são investigados, uma vez que perder uma boa oportunidade de obter benefícios pode ser prejudicial para a sociedade da mesma forma como enfrentar um perigo inesperado” (p. 57).

A AT foi institucionalizada nos EUA com a criação da Secretaria de Avaliação Tecnológica do Congresso Americano (sigla em inglês OTA — Office of Technology Assessment), em 1972, quando culminavam as lutas políticas e as várias correntes nos estudos das políticas tecnológicas. Nas duas décadas que sucederam a Segunda Guerra Mundial, houve um enorme desenvolvimento tecnológico: o motor a jato, a computação, a energia nuclear, produtos agroquímicos orgânico-sintéticos, para mencionar apenas alguns. O dia-a-dia das pessoas nunca mais seria o mesmo. Quando a Fourth Economic Longwave (Freeman, 1985) se pôs a caminho, vimos a economia baseada no consumismo se desenvolver primeiro nos EUA e, em seguida, na Europa Ocidental e no Japão. Em uma escala mundial, presenciou-se o fim do colonialismo e o início do esforço para universalizar o industrialismo e a modernização. A Guerra Fria e uma exaltada e incessante corrida tecnológica também predominaram. Conseqüentemente, o desenvolvimento, a modernização e a transferência de tecnologia foram maculados pela luta entre as superpotências. O Programa Aliança para o Progresso na América Latina, por exemplo, foi uma resposta dos EUA à Revolução Cubana de 1959.

Os avanços ocorreram não somente no aparato tecnológico como também nos instrumentos gerenciais. As técnicas prospectivas e de planejamento desenvolvidas durante a Segunda Guerra Mundial começaram a ser aplicadas e expandiram-se em uma escala muito maior, principalmente dentro dos institutos de pesquisa e organizações especialmente criados para dinamizar a P&D e as inovações, em particular no campo da tecnologia bélica e da inteligência militar. Os avanços científicos e tecnológicos eram

vistos pelos responsáveis pela criação de políticas governamentais como elementos vitais da Guerra Fria, ao mesmo tempo fortalecendo a capacidade de competição das economias nacionais por meio do aumento da taxa de inovação. As políticas relativas à ciência e tecnologia passaram a desempenhar um papel mais importante para os governos e isso foi reconhecido internacionalmente por organizações como a OCDE.

O avanço tecnológico trouxe muitos novos problemas, que, por sua vez, tinham que ser solucionados. Nos anos 60, havia uma deterioração da “qualidade de vida” no Primeiro Mundo, percebida pelo público em geral, apesar da melhoria dos padrões de vida. Havia muitas tendências por trás dessa anomalia. Entre elas, juntamente com as reações políticas e sociais correlatas, destacam-se:

- 1) defeitos nos bens de consumo, como carros, que deram origem ao movimento de defesa do consumidor, por exemplo, a atuação de Ralph Nader nos EUA (Nader, 1965);

- 2) a crescente conscientização dos efeitos da poluição, personificada no livro *Silent springs* de Rachel Carson (Carson, 1962), que teve como resultado os vários protestos amplamente difundidos e a criação do movimento ambientalista moderno;

- 3) as mudanças culturais e as formas de trabalho, que alteraram a rotina dos países industrializados. Entre elas, destacam-se a conquista de maior liberdade sexual e a ascensão do feminismo e dos movimentos em defesa dos direitos civis (Roszak, 1968);

- 4) os testes de armas nucleares, que produziram uma precipitação radioativa disseminada e uma incessante corrida nuclear. Conseqüentemente, criou-se uma campanha antinuclear mundial, contra os possíveis efeitos catastróficos (Katz, 1986);

- 5) programas de desenvolvimento tecnológico de alto custo, financiados pelo Estado, como por exemplo, programas de energia nuclear e espaciais, que instigaram o ceticismo da classe política e exigiram maior credibilidade (Commoner, 1966).

O iconoclástico ano de 1968, que gerou tanta insatisfação social, pode ser visto agora como o primeiro sopro de uma nova sociedade reflexiva, o surgimento gradual, ainda que desigual, de uma nova consciência, que Beck (1992) chamou de “sociedade do risco”.

Nos Estados Unidos, esses desdobramentos ajudaram a incluir, de forma definitiva, a regulação da tecnologia na agenda política em meados dos anos 60. Entre as conseqüências, está a criação do National Environmental Policy Act (NEPA), em 1969, e da Secretaria de Avaliação Tecnológica (OTA), em 1972. O NEPA, entre outras providências, tornava obrigatória a declaração de impacto ambiental de qualquer programa federal. A lei que criou a OTA definiu que, “no maior âmbito possível, as conseqüências das aplicações tecnológicas deveriam ser previstas, compreendidas e consideradas na determinação das políticas públicas relativas aos problemas nacionais existentes e emergentes”. Durante sua existência, a OTA realizou mais de 500 avaliações, das quais algumas abordaram, como será explicado adiante, a biomassa energética e as questões a ela concernentes (U. S. Congress OTA, 1996). Em setembro de 1995, o reacionário Congresso Republicano extinguiu a OTA. Ironicamente, àquela altura, a OTA já servia como modelo para as agências de AT em todo o mundo. Pelo menos dez países integrantes da União Européia mantêm atualmente algum tipo de instituição que realiza AT e muitas agências nacionais e internacionais, que freqüentemente tratam de questões relacionadas ao meio ambiente e à saúde, também realizam avaliações tecnológicas, sem necessariamente usar essa nomenclatura.

3.3 Questões metodológicas

A AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA IMPLICA vários pressupostos fundamentais (Rothman, 1978). O primeiro deles é o de que é preferível uma abordagem holística dos programas tecnológicos a uma abordagem fragmentada. Outro pressuposto é o de que toda mudança técnica irá causar uma segunda, terceira e outras n mudanças, nas esferas ambiental, econômica e cultural; a maioria dessas mudanças não será considerada por seus iniciadores e pode vir a ter uma importância maior do que a que originalmente se pretendeu. A avaliação tecnológica reconhece que a aplicação de novos conhecimentos revela novas áreas de ignorância. Também presume que podemos delinear meios de prever essas áreas e seu grau de risco. Ela tem uma dimensão democrática, uma vez que implica o direito de saber e ser informado e, por fim, tem uma função política/gerencial.

Institucionalizada na OTA, a AT era caracterizada, durante os primeiros anos de sua formação, por debates metodológicos. Foram criados muitos esquemas (Porte et al., 1980), embora a diferença entre eles não fosse tão significativa como proclamavam seus autores. Implícita, na maioria das discussões, estava a visão ingênua de que os “fatos” de qualquer conjuntura poderiam ser expostos objetivamente e podiam falar por si próprios. Alguns dos primeiros entusiastas pareciam acreditar que os analistas imparciais e a análise científica poderiam predominar sobre os interesses envolvidos e que essa análise poderia ser a base de um consenso social. A ingenuidade desse posicionamento levou alguns críticos a desprezar a AT como uma nova “retórica tecnocrata” (Wynne, 1975). Mesmo com tais impropriedades, que serão discutidas mais tarde, a AT oferece idéias inovadoras e valiosas para proteger a sociedade e o meio ambiente e, além disso, os esforços continuam a desenvolvê-la em uma abordagem política implícita ao papel socioeconômico da tecnologia.

O pensamento fundamental por trás da AT pode ser visto por meio do exame da estrutura (Figura 3.1), sugerida por Coates (1998, p. 41). O leitor deveria evitar uma interpretação linear da estrutura, que se destina a representar, mesmo que de forma grosseira, um processo dinâmico e interligado. Consultando os quadros, podemos observar como o pensamento da AT expande o *modus operandi* tradicional da engenharia e dos negócios, descrito nos quadros 1 a 3.

Esquemas semelhantes foram encontrados em outros trabalhos. Braun (1998), por exemplo, incorpora vários estágios de Coates para elaborar uma estrutura de cinco fases, que ele sintetiza como escopo, tecnologia, impactos (positivos e negativos) e política (STIP). Basicamente o objetivo é descrever: a tecnologia em seu contexto mais amplo, incluindo alternativas; a sociedade e o meio ambiente; os investidores, beneficiários e perdedores; a natureza e os tipos de impacto; e os problemas e escolha de políticas. Há vários resultados possíveis de uma avaliação e alguns são resumidos na Tabela 3.1 (Coates, 1998).

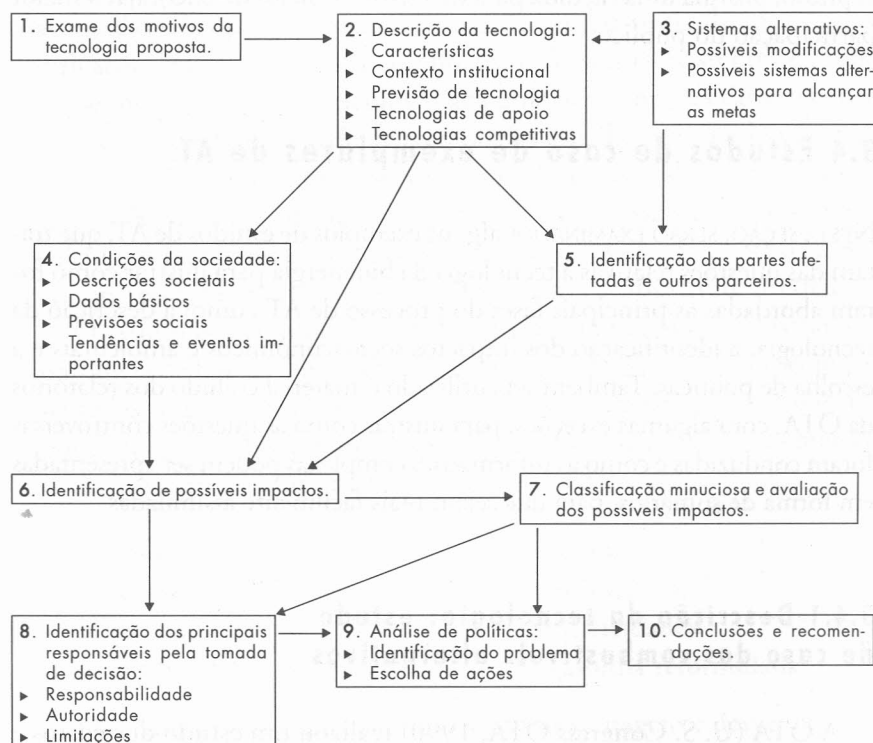
No âmbito da avaliação, há várias técnicas que podem ser usadas para gerar as informações e análises necessárias. A escolha depende da natureza do problema e da preferência dos analistas. Algumas técnicas prospectivas foram desenvolvidas nos institutos e organizações de pesquisas, mencionados acima; outras surgiram de disciplinas acadêmicas, como, por exemplo, a análise de custo e benefício desenvolvida na teoria econômica

Tabela 3.1 — Possíveis objetivos da avaliação tecnológica

- ▶ Modificar projetos para reduzir os aspectos negativos e/ou aumentar os benefícios.
- ▶ Identificar as necessidades de regulação ou outras formas de controle.
- ▶ Estimular a P&D para esclarecer dúvidas, definir os riscos com mais segurança, evitar os efeitos negativos previstos e identificar novos benefícios.
- ▶ Definir um programa de supervisão para uma tecnologia operacionalizada.
- ▶ Identificar métodos alternativos para atingir as metas da tecnologia.
- ▶ Identificar as mudanças institucionais necessárias.
- ▶ Fornecer informações confiáveis a todas as partes interessadas.
- ▶ Protelar o projeto.
- ▶ Fornecer estratégias de implementação parciais ou complementares.
- ▶ Evitar que a tecnologia seja desenvolvida ou utilizada.

Fonte: Coates (1998).

Figura 3.1 — Esquema da avaliação tecnológica



Fonte: Coates (1998).

do bem-estar; e outras, ainda, no contexto da elaboração de políticas, como, por exemplo, as pesquisas de opinião pública. Porter et al. (1980) apresentou uma discussão formal e abrangente das diretrizes de seleção das técnicas analíticas. Entre as técnicas relacionadas estão os livres debates, extrapolação de tendências, pesquisas de opinião pública, painéis e comitês de especialistas, cenários, catalogação, árvores de relevância, matrizes de impacto cruzado, modelos de simulação, análises de custo e benefício e relatórios de impactos ambientais. Algumas dessas técnicas, como, por exemplo, os modelos sofisticados descritos nos livros didáticos e nos estudos metodológicos, parecem ser extremamente complexas, dispendiosas e consomem muito tempo. Mesmo que possam trazer resultados importantes para a maioria dos estudos, não atendem aos objetivos práticos visados. O método Delphi (Office of Science and Technology, 1996) e os estudos de cenários (Coates et al., 1997), geralmente combinados, parecem estar entre as técnicas mais comuns atualmente em uso. Outra corrente metodológica, que será abordada na última seção deste capítulo, postula uma medida para desenvolver meios de encorajar a maior participação do público.

3.4 Estudos de caso de exemplares de AT

NESTA SEÇÃO, SERÃO EXAMINADOS alguns exemplos de estudos de AT, que tratam das questões relativas à tecnologia da bioenergia para ilustrar como foram abordadas as principais fases do processo de AT como: a descrição da tecnologia, a identificação dos impactos socioeconômicos e ambientais e a escolha de políticas. Também será utilizado o material colhido dos relatórios da OTA, com algumas exceções, para ilustrar como as questões controversas foram conduzidas e como as informações complexas podem ser apresentadas em forma de sumários, para que sejam mais facilmente assimiladas.

3.4.1 Descrição da tecnologia: estudo de caso dos combustíveis alternativos

A OTA (U. S. Congress OTA, 1990) realizou um estudo dos custos e benefícios da introdução dos combustíveis alternativos na frota americana

de veículos de carga leve. Na avaliação foram consideradas três áreas das quais se pudessem obter benefícios:

- 1) controle de ozônio nas áreas urbanas;
- 2) aquecimento global;
- 3) segurança energética nacional.

Nesse estudo de caso, não houve uma preocupação com a apresentação de todos os detalhes desses agentes direcionadores de políticas. Entretanto, todos sabem que a produção e a combustão de combustíveis fósseis desempenham um importante papel na formação de três dos principais gases causadores do efeito estufa — dióxido de carbono, metano e óxido nítrico. Isto serve para ilustrar como seria vantajoso substituir os combustíveis fósseis por combustíveis alternativos que não produzam, ou que produzam quantidades reduzidas de gases agravadores do efeito estufa.

A análise realizada pela OTA examina quais tecnologias poderiam fazer com que isso fosse aplicável para a frota de veículos de carga leve. São aventadas três opções principais: o uso de combustíveis alternativos, modificações nas misturas dos combustíveis fósseis já existentes e modificações nos motores dos veículos. Cada uma dessas opções carrega consigo a necessidade de uma série de tecnologias que lhes servirá de suporte. A avaliação da OTA limitou-se ao exame do potencial dos combustíveis alternativos. As modificações nos combustíveis fósseis e nos motores dos veículos foram levadas em consideração, nesse estudo, somente na medida em que pudessem influenciar na adoção dos combustíveis alternativos.

O estudo dos combustíveis alternativos será usado para ilustrar a importância da fase de “descrição da tecnologia” da AT. Também serão apresentadas informações comparativas de suas vantagens e desvantagens e, por fim, serão apresentados alguns obstáculos a sua difusão no mercado.

As alternativas examinadas foram as seguintes:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1) gasolina; | 5) etanol; |
| 2) metanol; | 6) hidrogênio; |
| 3) gás natural; | 7) eletricidade; |
| 4) gás liquefeito de petróleo; | 8) gasolina reformulada. |

Os analistas tentaram comparar as várias vantagens e desvantagens do uso desses combustíveis. As análises não serão apresentadas detalhada-

mente. Seus resultados estão descritos de forma resumida na Tabela 3.2. A tabela deve ser lida cuidadosamente e os resultados não são, de maneira alguma, definitivos, uma vez que as comparações estão repletas de incertezas. Como todos os bons analistas, os autores dos relatórios da OTA definiram as principais fontes das incertezas confrontadas, quando faziam o cálculo dos custos e benefícios da introdução de um determinado combustível alternativo. São elas:

1) A evolução da tecnologia atual de combustíveis fósseis, tanto na produção de combustíveis quanto na utilização de veículos.

Tabela 3.2 — Os prós e os contras do uso de combustíveis alternativos

	Vantagens	Desvantagens
Metanol	▶ Combustível líquido conhecido. ▶ Fase de desenvolvimento do veículo relativamente avançada. ▶ Emissões orgânicas (precursores de ozônio) terão menos reatividade do que as emissões da gasolina. ▶ Menor emissão de poluentes tóxicos, com exceção do formaldeído. ▶ Eficiência do motor deve ser maior. ▶ Matéria-prima de gás natural abundante. ▶ Menos inflamável do que a gasolina. ▶ Pode ser produzido a partir de carvão mineral ou madeira (da mesma forma que a gasolina), embora a um custo mais alto. ▶ Veículo de transição <i>flexfuel</i> disponível.	▶ Faixa de rendimento de metade ou menos, ou tanques de combustíveis maiores. ▶ Provavelmente teria que ser importado. ▶ Emissões de formaldeído, um possível problema, principalmente em alta velocidade, exigem melhor controle. ▶ Mais tóxico que a gasolina. ▶ Metanol tem chamas invisíveis e é explosivo em tanques fechados. Custos provavelmente mais altos do que os da gasolina, principalmente durante o período de transição. ▶ Partida fria, um problema para o metanol. ▶ Problema de gases de efeito estufa se produzido a partir de carvão mineral.
Etanol	▶ Combustível líquido conhecido. ▶ Emissões orgânicas terão menos reatividade do que as emissões da gasolina (mas mais reativas que o metanol). ▶ Menor emissão de poluentes tóxicos. ▶ Eficiência do motor deve ser maior. ▶ Produzido a partir de fontes domésticas. ▶ Veículo de transição <i>flexfuel</i> disponível. ▶ Menor CO com gasohol (10%, mistura de etanol). ▶ Produção baseada em enzima a partir de madeira está sendo desenvolvida.	▶ Custo muito mais alto do que o da gasolina. ▶ Competição com combustível/alimentos em níveis de produção mais altos. ▶ Fornecimento limitado, especialmente se feito de milho. ▶ Faixa de rendimento de um terço ou menos, ou tanques de combustíveis maiores. ▶ Partida fria, um problema para o etanol.

	Vantagens	Desvantagens
Gás natural	▶ Embora importado, provável fonte norte-americana para fornecimento moderado (1 mmdb ou mais de gasolina substituída). ▶ Características de emissão excelentes, exceto pelo potencial mais alto de emissão de NO₂. ▶ Gás é abundante em todo o mundo. ▶ Pequena vantagem quanto ao efeito estufa. ▶ Pode ser produzido a partir de carvão mineral.	▶ Veículos dedicados têm necessidade de desenvolvimento. ▶ Deve ser criado sistema de distribuição de combustível no varejo. ▶ Rendimento limitado, tanques maiores são necessários, custos adicionais, espaço reduzido (gás liquefeito de petróleo [GLP] não tem rendimento tão limitado, comparável ao do etanol). ▶ Veículo <i>flexfuel</i> tem desempenho moderado e falta de espaço. ▶ Reabastecimento lento. ▶ Problema de gases de efeito estufa, se feito a partir de carvão mineral.
Elettricidade	▶ Combustível produzido domesticamente e amplamente disponível. ▶ Emissões mínimas. ▶ Capacidade de combustível disponível (para recarregamento noturno). ▶ Grande vantagem quanto ao efeito estufa, se suprido por energia nuclear ou solar. ▶ Grande variedade de matérias-primas em uso comercial regular.	▶ Alcance e potência muito limitados. ▶ Pesquisa e desenvolvimento necessários para melhoria das baterias. ▶ Abastecimento lento. ▶ Baterias pesadas, volumosas, custo alto de reposição. ▶ Dificil acondicionamento no espaço do veículo. ▶ Problema de descarte de bateria. ▶ Emissões para a geração de energia podem ser significativas.
Hidrogênio	▶ Excelentes características de emissão — mínimo de hidrocarbonetos. ▶ Produção doméstica. ▶ Grande vantagem quanto ao efeito estufa, se derivado da energia fotovoltaica. ▶ Possível uso de célula combustível.	▶ Rendimento muito limitado, armazenagem de combustível pesada e volumosa. ▶ Custo do veículo e custo total altos. ▶ Muita pesquisa e desenvolvimento necessários. ▶ Nova estrutura necessária.
Gasolina reformulada	▶ Nenhuma mudança na infra-estrutura, exceto refinarias. ▶ Provável redução de emissão, pequena a moderada. ▶ Modificações no motor não são necessárias. ▶ Pode ser usada em toda a frota e não somente em carros novos.	▶ Benefícios de emissão ainda altamente incertos. ▶ Custos incertos, mas serão significativos. ▶ Nenhuma vantagem quanto à emissão de gás de efeito estufa ou à segurança de energia.

2) Poucos sistemas alternativos foram além do estágio de laboratório ou de protótipo. Seu desempenho em situações reais e em larga escala era desconhecido (a OTA não conseguiu analisar a experiência brasileira com o etanol, que poderia ter indicado os custos das alterações das infra-estruturas).

3) A suscetibilidade dos cálculos às inúmeras e imprevisíveis alterações nas áreas correlatas de regulação, manufatura, *marketing* etc.

Levando em consideração essas incertezas, os analistas advertem que

as projeções dos custos e benefícios dos combustíveis alternativos dependem de uma série de pressupostos sobre o êxito das tecnologias, custos de capital, custos com matéria-prima, eficiência dos veículos, formas de transporte e vários outros pressupostos que são pontos indivisivos em uma gama de valores possíveis. A mudança dos pressupostos por outros valores também aceitáveis alterará, muitas vezes drasticamente, os resultados do cálculo de custos e benefícios (U. S. Congress OTA, 1990).

Essa advertência deve ser considerada em todos esses estudos.

O relatório indica que o maior obstáculo à difusão dos combustíveis alternativos é o uso arraigado da gasolina. Muito dinheiro foi e ainda é investido por indústrias poderosas e pelos consumidores nos sistemas de produção e conversão da gasolina. Além disso, existe um emaranhado de tecnologias de apoio e expectativas dos consumidores em torno dos sistemas convencionais de conversão e produção de combustíveis fósseis que não são facilmente incorporados aos combustíveis alternativos. É comum cometer-se o erro de visualizar uma tecnologia, digamos, de um determinado combustível, isoladamente, separada das infinitas interconexões que desenvolvem com outras tecnologias, instituições e protagonistas envolvidos. Economistas evolucionistas (Hodgson, 1994) tentaram abrir o que eles chamam de “caixa preta da tecnologia”, para revelar e compreender essas interconexões, usando conceitos como sistemas tecnológicos, sistemas nacionais de inovação, paradigmas tecnológicos e outros. A elaboração de um sistema tecnológico adequado poderia ser uma extensão da “fase de descrição da tecnologia”, que geralmente é apresentada de maneira mecânica. Carlson (1994) descreveu uma possível abordagem, que relaciona dez dimensões e características por meio das quais os sistemas tecnológicos podem ser descritos:

1) fase de desenvolvimento, em termos de ciclos de vida;

- 2) potencial;
- 3) competência do comprador;
- 4) colaboração entre comprador e fornecedor;
- 5) competência do fornecedor;
- 6) P&D industrial;
- 7) infra-estrutura acadêmica;
- 8) políticas governamentais;
- 9) instituições que atuem como pontes capazes de estabelecer e manter a interação com os atores no sistema;
- 10) defasagens/vulnerabilidades.

Também é possível classificar um sistema de acordo com os limites de nacionalidade, em vez de uma classificação técnica, como no conceito de sistemas nacionais de inovação. Mais adiante será descrito como a teoria de rede de atores está sendo usada por alguns sociólogos para entender como tais sistemas são criados, sobrevivem e são destruídos.

3.4.2 Impactos ambientais: estudo de caso da produção agrícola de bioenergia

Os problemas ambientais são examinados em vários capítulos deste livro. O capítulo 2, por exemplo, aborda as questões relacionadas às políticas ambientais, enquanto o capítulo 4 trata especificamente das externalidades e da sustentabilidade. O que se pretende nesse capítulo é demonstrar como a análise dos impactos ambientais foi incorporada a um estudo preparado pela OTA como contribuição ao debate nacional sobre os possíveis benefícios e impactos dos programas de plantações bioneréticas implementados nos EUA. Apesar do contexto americano, os princípios e resultados do estudo têm importância geral e podem ilustrar a filosofia da AT e abordar os impactos e as questões ambientais.

Primeiramente, será examinada sua estrutura analítica, que difere, em alguns aspectos, do modelo de metodologia da AT descrito anteriormente, na medida em que sua abrangência se restringe às questões ambientais. A estrutura é a seguinte:

- 1) Natureza e tipos de plantações energéticas. Os analistas estudaram somente os plantios florestais de curta rotação, porque consideraram

Tabela 3.3 — Impactos ambientais da agricultura

Água	▶ Uso da água (somente irrigação) pode ser incompatível com outros usos ou fazer com que o lençol freático mine. ▶ Lixiviação de sais e nutrientes nos cursos d'água ou no lençol freático (e escoamento das águas superficiais), que pode causar poluição dos reservatórios de água potável para animais e pessoas, proliferação de algas nos ribeirões e lagos, danos ao <i>habitat</i> aquático e surgimento de odores. ▶ Fluxo de sedimentos nos cursos d'água, causando o aumento de turbidez, obstrução dos ribeirões, enchimento de reservatórios, destruição do <i>habitat</i> aquático, aumento do potencial de enchentes. ▶ Fluxo de pesticidas nos cursos d'água e no lençol freático, potencial acúmulo na cadeia alimentar, causando impactos na água e na terra, como o enfraquecimento das cascas dos ovos dos pássaros. ▶ Poluição térmica dos ribeirões causada pelo desmatamento das matas ciliares, perda da proteção proporcionada pelas copas das árvores e, conseqüentemente, maior aquecimento solar.
Ar	▶ Poeira resultante do desmatamento e operação de máquinas e implementos agrícolas pesados. ▶ Pesticidas por meio de pulverização aérea ou como componente da poeira. ▶ Alteração da quantidade de pólen, impactos negativos à saúde humana. ▶ Emissões das máquinas agrícolas devidas à queima de combustível.
Terra	▶ Erosão e perda da camada superficial do solo, aragem, aumento do fluxo de água devido à baixa retenção, degradação da produtividade. ▶ Substituição dos usos alternativos da terra — plantas e animais selvagens, estética etc. ▶ Alteração da capacidade de retenção da água, aumento do potencial de enchentes. ▶ Acúmulo de resíduos de pesticidas no solo, danos potenciais às populações de microorganismos do solo. ▶ Aumento da salinidade do solo (principalmente devido à prática de irrigação na agricultura), degradação da produtividade do solo. ▶ Esgotamento dos nutrientes e da matéria orgânica do solo.
Outros	▶ Desenvolvimento de doenças nas espécies, devido às práticas de monocultura. ▶ Problemas de saúde e segurança ocupacional associados à operação de máquinas pesadas, ao contato com pesticidas e ao envolvimento com operações de pulverização.

Fonte: OTA (1990).

que o plantio de gramíneas é bem semelhante aos plantios convencionais e, por essa razão, ofereceria poucas novidades em termos de vantagens e desvantagens ambientais em comparação a estes últimos. Con-

sulte a Tabela 3.3 para obter um sumário dos impactos ambientais agrícolas;

- 2) impactos ambientais;
- 3) impactos econômicos rurais;
- 4) impactos no orçamento federal;
- 5) impactos na balança comercial;
- 6) impactos de segunda ordem;
- 7) necessidades de P&D;
- 8) sistemas de demonstração;
- 9) comercialização e infra-estrutura;
- 10) questões institucionais.

A avaliação estudou uma grande variedade de plantios energéticos desenvolvidos nos EUA, como, por exemplo, plantios florestais de curta rotação (choupo híbrido, alfarroba negra, bordo branco, liquidâmbar e eucalipto) e as gramíneas perenes (capim). Essas espécies oferecem vantagens sobre os plantios convencionais. Elas não exigem uma agricultura intensiva, usam mais eficientemente os fertilizantes ou outras aplicações e foram selecionadas por causa da alta produção de biomassa celulósica. Os analistas reconheceram que a variedade nos regimes de manejo exigida pelas diferentes espécies implica a diferenciação dos espectros dos impactos e ainda não existe uma compreensão científica e técnica suficientemente profunda de seus ecossistemas agrícolas. Contudo, os analistas puderam, por meio deste estudo, que é essencialmente teórico, apresentar questões ambientais abrangentes propostas pelo plantio de biomassa através de uma série de subsistemas ambientais, que incluem:

- 1) qualidade do solo: reciclagem de nutrientes biológicos, químicos e físicos e erosão do solo;
- 2) qualidade da água;
- 3) qualidade do ar;
- 4) *habitats*: agricultura, silvicultura, zonas ribeirinhas e várzeas, plantios energéticos e *habitat*;
- 5) gases de efeito estufa;
- 6) biomassa como um sumidouro de carbono;
- 7) práticas de colheita.

Tabela 3.4 — Impactos gerais da poluição da água

A *poluição da água*, resultante das práticas agrícolas ou outras atividades, pode causar vários impactos nos recursos hídricos e na vida aquática e selvagem.

O *aumento da sedimentação* nos ribeirões e outros cursos d'água, devido principalmente à erosão, pode destruir as áreas de alimentação e procriação dos peixes. Os riachos podem-se tornar mais largos e rasos causando elevação da temperatura e afetando a composição das espécies do riacho. Os *habitats* selvagens das regiões ribeirinhas alteram-se, geralmente reduzindo a biodiversidade das espécies.

Os *poluentes e nutrientes* associados aos sedimentos da erosão podem causar impactos negativos nos ambientes aquáticos. A concentração de substâncias tóxicas pode matar a vida aquática, enquanto os nutrientes escoados podem acelerar o crescimento da flora aquática. Isso pode agravar o problema da sedimentação e levar a uma eutrofização acelerada dos organismos da fauna e flora aquáticas.

Eutrofização é o processo que geralmente começa com o aumento da produção de algas e plantas. À medida que elas morrem e se sedimentam no fundo, os microorganismos que as degradam utilizam-se do oxigênio dissolvido. A sedimentação também contribui para o esgotamento do estoque de oxigênio, principalmente nos ribeirões e rios, por meio da redução da turbulência da água. Dessa forma, o ecossistema aquático altera-se dramaticamente.

O *fósforo e o nitrogênio* são os principais nutrientes reguladores do crescimento das plantas. O nitrogênio do solo muitas vezes sofre lixiviação ou é escoado para a água. O fósforo, por outro lado, sofre lixiviação no solo; assim, o escoamento de fósforo para a água é relativamente pequeno. Em condições normais, entretanto, o fósforo provavelmente é o fator limitador no crescimento da flora aquática. Uma vez que o fósforo, juntamente com potássio, cálcio, magnésio, enxofre e traços de outros elementos, é formado por material coloidal, ele é, portanto, abundante na água, recebendo uma grande quantidade de solo da erosão. Isso pode levar à eutrofização.

A *eutrofização natural* geralmente é um processo mais lento, mas a eutrofização provocada pelo homem pode ser extremamente rápida e produzir uma proliferação prejudicial de algas, matar a vida aquática por meio do esgotamento do oxigênio dissolvido e tornar a água imprópria para recreação. A reposição do estoque de oxigênio é uma medida dispendiosa, devido ao alto investimento em energia e equipamento.

Fonte: OTA (1993).

Uma vez que muitas dessas questões relativas aos impactos causados a esses sistemas ambientais são discutidas em outros capítulos, vamos limitar-nos às ilustrações dos sumários. A discussão dos impactos produzidos na qualidade da água que se dá no relatório aborda tanto os possíveis impactos negativos quanto positivos dos plantios energéticos de alta produtividade, em que a demanda pode ser maior do que 300 a 1.000 toneladas de água por tonelada de biomassa cultivada. É óbvio que, em algumas situações, se produzirão efeitos prejudiciais nos lençóis freáticos locais, um problema que, segundo os analistas, “pode apresentar desafios significativos” (U. S. Congress OTA, 1993, p. 137). Por outro lado, nas áreas pouco drenadas ou propensas a enchentes, os plantios energéticos podem ser úteis no manejo da água. De acordo com o relatório, é ne-

cessário que os administradores dos projetos de plantio energéticos estejam atentos às circunstâncias locais específicas e reconheçam as limitações da nossa base atual de conhecimentos. Por exemplo, ainda existem muitas incertezas a respeito do destino dos produtos químicos agrícolas que se infiltram no lençol freático ou nas águas superficiais. Algumas das preocupações e problemas em torno dos impactos na qualidade da água causados por produtos químicos e outros poluentes que escoam da terra são descritos na Tabela 3.4.

Aprendemos uma lição clara dessa avaliação da OTA: a AT envolve a identificação e o equacionamento das vantagens e desvantagens do processo. Assim, com o uso da energia da biomassa, espera-se minimizar o aquecimento global, o que seria extremamente benéfico, mas a monocultura do plantio energético pode levar à perda da biodiversidade, reconhecida por todos como um problema muito sério. É claro que não é um problema causado somente pelos plantios bioenergéticos. O desenvolvimento da agricultura geralmente produz impactos profundos e perturbadores nas espécies, causando seu declínio e extinção, bem como a explosão das pestes. Entre as mudanças implementadas nos sistemas agrícolas estabelecidos que podem causar impactos sobre a vida selvagem, destacam-se a mecanização acelerada, o maior uso de produtos agroquímicos e a remoção de cercas vivas para aumentar a área de plantio. Muitas vezes já se provou ser possível aliviar esses efeitos prejudiciais por meio do aperfeiçoamento das práticas de manejo agrícola, como os “mosaicos” e os “corredores” de vegetação natural, descritos no capítulo 2. Tais esquemas, infelizmente, ainda estão longe de ser amplamente conhecidos e praticados.

Parte das soluções para esse equacionamento das vantagens e desvantagens do plantio energético reside na compreensão mais profunda e ampla por parte do público do conceito de biodiversidade, que é mais complexo do que popularmente se imagina (consulte a Tabela 3.5). O que popularmente se entende por biodiversidade é o número e a variedade de formas vivas de um sistema. Tecnicamente, entretanto, a diversidade é medida em três níveis hierarquicamente colocados dentro da organização biológica: os níveis da genética, das espécies e dos ecossistemas. Até recentemente, as preocupações tendiam a se concentrar no nível das espécies. Entretanto, como demonstra o debate recente sobre a preservação das variedades dos plantios agrícolas tradicionais, existe agora alguma percepção do nível ge-

Tabela 3.5 — O que é diversidade biológica?

Diversidade biológica: refere-se à variedade e variabilidade de organismos vivos e os complexos ecológicos nos quais eles ocorrem. A diversidade pode ser definida como o número de diferentes itens e a sua frequência relativa. Na diversidade biológica, esses itens são organizados em muitos níveis, desde ecossistemas completos até as estruturas químicas que são a base molecular da hereditariedade. Assim, o termo abrange diferentes ecossistemas, espécies, genes e sua relativa abundância. Abrange também os modelos de comportamentos e as interações.

A diversidade varia dentro dos ecossistemas, espécies e níveis genéticos. Por exemplo:

- ▶ *Diversidade de ecossistemas*: uma paisagem intercalada com culturas agrícolas, pastos e florestas abriga maior diversidade do que uma paisagem em que grande parte das florestas são convertidas em pastos ou plantios agrícolas.
- ▶ *Diversidade de espécies*: uma extensão de área com 100 espécies de capim e arbustos perenes e sazonais abriga maior diversidade do que a mesma área onde, após uma pastagem intensa, a frequência de espécies de capim perenes tenha sido eliminada ou muito reduzida.
- ▶ *Diversidade genética*: espécies agrícolas economicamente vantajosas são desenvolvidas a partir de plantas selvagens, por meio da seleção das características genéticas apreciadas. Assim, as primeiras espécies de plantas selvagens contêm genes que não são encontrados nas espécies agrícolas de hoje. Um ambiente que contém tantas variedades domésticas de uma espécie, como o milho, por exemplo, e uma espécie selvagem abriga maior diversidade do que um ambiente onde as espécies selvagens foram eliminadas para dar lugar às espécies domésticas.

As preocupações com a perda da diversidade biológica até hoje foram definidas, quase exclusivamente em termos de extinção das espécies. Embora a extinção seja talvez o aspecto mais dramático do problema, não se resume de forma alguma no problema todo. Outros aspectos importantes são a consideração de espécies que exigem um *habitat* com condições ecológicas relativamente primitivas, espécies cujo deslocamento é facilmente evitado com alterações antropogênicas mínimas na paisagem, comunidades de espécies únicas, e muitos outros. Esses são apenas alguns dos aspectos da diversidade biológica que deveriam ser considerados. As maneiras de lidar com eles, no contexto do desconhecimento e ignorância de tudo o que envolve a diversidade biológica, estão sendo desenvolvidas. Abordagens “bem filtradas” tratam da possível perda de espécies individuais e as abordagens “mais genéricas” concentram-se na manutenção da integridade de todo o ecossistema. Os plantios energéticos podem ser uma ferramenta adicional no nível da paisagem regional para auxiliar essas estratégias.

Fonte: OTA (1993).

nético, enquanto a preocupação com o nível dos ecossistemas surgiu nas campanhas para a preservação das florestas tropicais.

Apesar das perdas que ocorreram e ainda ocorrem na biodiversidade, é possível perceber um certo otimismo que surge à luz de algumas correntes sociais contemporâneas que se contrapõem a essa situação. Entre essas correntes, podemos citar as seguintes:

1) o crescimento do número de associados às organizações para a preservação do meio ambiente e da vida selvagem (na Grã-Bretanha, o nú-

mero de associados à Royal Society for the Protection of Birds é muito maior do que o dos filiados a qualquer partido político), freqüentemente com alcance mundial, por exemplo, o boicote dos consumidores do Norte contra os produtos “não-orgânicos” do Sul;

2) uma nova conscientização, entre os cientistas e responsáveis pelo planejamento, da importância das tradições e conhecimentos que os habitantes nativos e fazendeiros têm dos animais e das plantas;

3) o aumento do número e da variedade das políticas e leis nacionais de conservação e de acordos globais.

Espera-se que, com essas mudanças na conscientização popular e, conseqüentemente, uma legislação mais rígida, aqueles que desenvolverão os futuros projetos de biomassa energética considerem a fundo os problemas da conservação e do *habitat* local.

Como já foi dito, o problema da biodiversidade não é simples de ser resolvido. As espécies não vivem isoladas, elas formam grupos complexos de relacionamentos de organismos vivos e meio ambiente físico, que geralmente não são reconhecidos por leigos. Esses grupos são estudados dentro do conceito de ecossistema, um princípio central da ecologia moderna (Dickinson e Murphy, 1998). Para ilustrar esse conceito, os autores da avaliação da OTA apresentaram um breve estudo denominado “O valor de uma árvore morta”. Para a maioria das pessoas, uma árvore morta é algo que não merece atenção senão pela sua utilidade ou pelo incômodo que causa. Longe de ser algo que necessariamente tem de ser eliminado ou removido, o estudo mostra que, ao contrário disso, uma árvore morta pode ter uma função muito valiosa para um ecossistema e deveria, por essa razão, muitas vezes ser deixada no seu lugar. O estudo demonstra como as pesquisas modernas indicam que as árvores mortas desempenham um papel-chave na ecologia e no desenvolvimento saudável das florestas, oferecendo ampla variedade de nichos ecológicos para muitas espécies de animais, plantas, fungos e bactérias e, depois de sua decomposição, servem também como adubo orgânico para o solo.

Finalmente, o relatório da OTA enfatiza os vários benefícios advindos dos plantios energéticos; alguns dos quais já foram relacionados acima ou discutidos em outros capítulos. Contudo, a análise feita no estudo reconhece que, no que diz respeito à vida selvagem, não existe um substituto para o *habitat* natural e, como já foi mencionado acima, é necessário um

equacionamento dos problemas relacionados à conservação e aos gases de efeito estufa. É necessário, argumentam os analistas da OTA, utilizar os princípios ecológicos na projeção dos sistemas de plantio energético. Para isso, os analistas redigiram uma série de diretrizes voltadas para a ecologia, relacionadas na Tabela 3.6. Estudando essas diretrizes, não há como não ficarmos impressionados com nossa ignorância geral e a necessidade de mais pesquisas, principalmente experimentos que envolvam a interação entre sistemas de plantio naturais e energéticos, uma atividade dispendiosa e que exige muito tempo e dedicação. Ao mesmo tempo, nossa tecnologia avança, criando novos problemas e questões que não são abordados nas diretrizes. Por exemplo, os possíveis impactos negativos das espécies de plantas geneticamente modificadas (Robinson, 1999).

Tabela 3.6 — Modelo de diretrizes ecológicas para a estruturação de plantios energéticos

As espécies vegetais consideradas apropriadas para ser usadas como culturas bioenergéticas são espécies essencialmente originárias das regiões onde elas poderão ser usadas. Essas espécies podem oferecer maior diversidade estrutural no nível da paisagem do que os cultivos agrícolas típicos e, assim, podem reforçar o *habitat* selvagem. Entretanto, o alcance de tais benefícios ao *habitat* depende da aplicação cuidadosa dos princípios ecológicos, como descrito no modelo de diretrizes abaixo. Essas diretrizes devem ser consideradas apenas como ponto de partida, requerendo muitas pesquisas adicionais. Além disso, as diretrizes são fundamentadas em princípios extraídos de estudos de ecossistemas naturais e de sistemas agrícolas extremamente simplificados. Há poucos dados empíricos, ou nenhum, dos plantios energéticos. A realização de experimentos sobre as interações ecológicas dos sistemas naturais com os plantios energéticos seria útil para orientar o desenvolvimento de um plantio energético em larga escala. As diretrizes ecológicas para a estruturação de plantios energéticos deveriam conter o seguinte:

- ▶ **Local:** os plantios energéticos deveriam concentrar-se em terras comuns, ociosas ou destinadas anteriormente à agricultura ou pastagens, ou outros tipos de terras “simplificadas” ou “marginais”. Os plantios energéticos não deveriam ser cultivados em terras naturalmente estruturadas para o crescimento de florestas, em várzeas, pradarias e outras terras naturais.
- ▶ **Espécies:** os plantios energéticos deveriam combinar duas ou mais espécies diferentes para reforçar a sua diversidade. Essa combinação incluiria preferivelmente o uso de espécies leguminosas, ou outras com capacidade de fixar o nitrogênio, para reduzir a necessidade de fertilizantes artificiais, e outras combinações para reduzir as possíveis perdas resultantes de doenças ou insetos e, dessa forma, reduzir o uso de pesticidas. As espécies não-invasoras, que não se estenderão além dos lotes cultivados, também são recomendadas.
- ▶ **Estrutura:** os plantios energéticos deveriam combinar estruturas vegetais múltiplas para intensificar a diversidade da área, conforme necessário por determinadas espécies. Poderiam ser feitas várias combinações de culturas de curta rotação de florestas, gramíneas perenes e outras culturas energéticas dedicadas, deixando uma quantidade pequena de entulhos de madeira e outras coberturas na terra, bem como incluindo o *habitat* natural, conforme necessário. Os plantios energéticos poderiam também ser usados para fornecer uma estrutura para a monocultura agrícola convencional, por meio da adição de plantações de cinturões de abrigo e cercas vivas. Similarmente, a monocultura de plantios energéticos deveria ter cinturões de abrigo e cercas vivas de outros tipos de vegetação.

- ▶ *Duração*: a estrutura da área pode também ser criada com maior diversidade, por meio da colheita de culturas adjacentes em ciclos de rotação diferentes, deixando, inclusive, algumas culturas por um período mais longo, se possível.
- ▶ *Espécies não-nativas*: os plantios energéticos, na medida do possível, deveriam usar espécies nativas. As espécies nativas ou suas parentes próximas abrigarão maior diversidade de insetos ou outros tipos de fauna.
- ▶ *Produtos químicos*: os plantios deveriam minimizar as aplicações de produtos químicos agrícolas, como herbicidas, inseticidas, fungicidas e fertilizantes, conforme discutido anteriormente.
- ▶ *Recursos naturais inigualáveis*: *habitats* e recursos naturais raros como as pequenas várzeas naturais, regiões ribeirinhas e outros corredores, incisões de "crescimento antigo" e corredores de abrigos deveriam ser preservados e intensificados pelo plantio energético.
- ▶ *Amparo ao habitat*: estruturas artificiais de abrigo das espécies e outros acréscimos ou complementos aos recursos naturais do *habitat* deveriam ser fornecidos, quando apropriado.
- ▶ *Pesquisa*: os plantios energéticos deveriam ser estudados cuidadosamente em todas as escalas apropriadas e a longo prazo, para melhor compreensão dos meios mais adequados de melhorar os *habitats* para as espécies que se deseja abrigar no próprio plantio energético, bem como nas terras agrícolas associadas, nas florestas manejadas e terras naturais. Isso também deveria ser feito com base nas condições regionais, quando apropriado.

Fonte: OTA (1993).

3.4.3 Os impactos socioeconômicos: estudo de caso das plantações de curta rotação de eucaliptos no Brasil

Nesta seção, serão analisados os impactos sociais e econômicos associados ao desenvolvimento de grandes plantações de eucalipto no Brasil nos últimos 35 anos, como uma fonte de energia de biomassa e papel e celulose. O Brasil tem uma longa tradição em florestas de eucalipto. De 1909 a 1965, foram plantados no Brasil cerca de 470 mil hectares de eucalipto. Entretanto, depois da ascensão dos militares ao poder, em 1964, novas políticas foram implementadas como parte de uma estratégia mais ampla de modernização, que encorajou um enorme crescimento na distribuição das áreas destinadas às plantações. Como resultado, o Brasil dispõe hoje da segunda maior área plantada de eucalipto do mundo, aproximadamente 6 milhões de hectares, que fornecem cerca da metade da polpa de eucalipto do mundo. Entretanto, esse processo não foi totalmente bem-sucedido. No início, muitos esquemas falharam, tanto econômica quanto tecnicamente, e, além disso, pouca ou nenhuma importância foi dada aos impactos negativos que essas plantações pudessem ter sobre o meio ambiente ou às condições sociais da comunidade local.

Os debates científicos e as discussões políticas sobre os impactos, tanto negativos quanto positivos, das plantações de eucalipto ilustram as dificuldades em se chegar a uma avaliação final sobre a importância dos programas tecnológicos. Isso acontece principalmente onde o conhecimento científico não se desenvolveu por completo e o poder político e econômico é distribuído de forma extremamente desigual, uma situação muito comum em vários países, mas especialmente nas economias dos países em desenvolvimento. Essa visão é reforçada pelo exame de dois relatórios, recapitulando o campo em questão: “Short-rotation eucalyptus plantations in Brazil: social and environmental issues” (Couto e Betters, 1996) e “Pulping the South: industrial tree plantations and the world paper economy” (Carrere e Lohmann, 1996). Os primeiros autores argumentam que as plantações não causaram um impacto muito negativo, enquanto os dois últimos sustentam que as pesquisas indicam que as monoculturas são social e ambientalmente prejudiciais.

Em todas as avaliações tecnológicas, é necessário examinar as razões para a existência da tecnologia. Neste caso, o porquê da monocultura e o porquê das plantações de eucalipto. O modelo linear de inovação, seja na sua versão “avanço tecnológico/científico”, seja na versão “puxado pelo mercado”, é insuficiente para explicar a existência de determinadas tecnologias. Hoje, os teóricos preferem falar da “construção social da tecnologia” (MacKenzie e Wajcman, 1985), uma visão que enfatiza as maneiras pelas quais uma sociedade pode moldar uma tecnologia. É uma tarefa complexa, visto que toda tecnologia deve muito do conhecimento científico e tecnológico a fatores políticos, econômicos e culturais e também à natureza. A maneira como tudo isso se junta será única em cada caso específico, pelo menos nos detalhes. Isso foi estudado recentemente por sociólogos da escola da teoria de rede de atores (Callon, 1995). De acordo com essa abordagem, é necessário visualizar uma situação na qual vários atores estão lutando e competindo por recursos para criar e controlar redes — de atores ou recursos — com o objetivo de criar projetos tecnológicos em que eles mesmos possam fazer parte de um programa para ganhar lucros ou poder político. Os teóricos da rede de atores argumentam que a única racionalidade nessa luta será encontrada seguindo os atores na rede e tratando-a como um estudo do poder social (Latour, 1988). Essas idéias estão apenas começando a entrar para o mundo da AT que, historicamente, tem sido um tanto quanto tecnocrata em sua crença de que todas as avaliações oferecem sempre uma

solução perfeita. A única possibilidade aqui é indicar como essas idéias poderiam ser aplicadas ao nosso estudo de caso.

Na próxima seção, serão examinados os impactos ambientais, econômicos e sociais associados ao desenvolvimento das plantações de eucalipto. Idealmente, todos os exercícios de AT deveriam tentar identificar todas as partes afetadas e envolvê-las no exercício da avaliação. Nos programas brasileiros desenvolvidos para as plantações de eucalipto, tais exercícios não existiram. As mudanças e as melhorias nas políticas relativas às plantações eram implementadas somente depois de muita luta política e perdas econômicas.

Por definição, as plantações não se formam sozinhas! Para que sejam criadas é necessário o uso de árvores, capital e terra. A maneira como esses três elementos são obtidos é um processo social complexo, que envolve a cooperação e a colaboração de muitos atores e a vitória sobre os atores opostos ao projeto da plantação. As redes de atores são criadas para obter e concentrar os recursos necessários, que também precisam ser isolados dos oponentes reais ou virtuais. Uma das etapas de uma análise é identificar os atores e seus possíveis papéis. A Tabela 3.7 classifica os atores associados às plantações da indústria de papel e celulose. Muitos desses componentes da rede exercem um enorme poder econômico e político, uma vez que representam grandes organizações industriais e comerciais. Outros atores são relativamente fracos e dependem da força coletiva e da mobilização da opinião pública. Observe que a natureza faz parte da lista (uma das características da teoria da rede de atores é a inclusão de atores não-humanos). Quem poderá falar em nome da natureza? A natureza pode-se expressar por meio das mudanças ambientais, como, por exemplo, o aquecimento global, que se impõem e nos obrigam a refletir sobre elas e por meio de seus porta-vozes que se definem, talvez, na forma de ONGs ambientalistas. O grau de importância da teoria da rede de atores para a AT ainda tem de ser demonstrado. Pelo menos ela serviu para denunciar a forma leviana de examinar as tecnologias separadamente das forças sociais que as criam.

Os benefícios sociais diretos e indiretos atribuídos às plantações de curta rotação são a criação de empregos e riqueza, controle de enchentes e erosão, melhoria do solo, proteção das bacias hidrográficas, melhoria da qualidade da água, criação de centros de lazer e recreativos e a melhoria do balanço de CO₂. Esses benefícios levam ao argumento de que, sob certas circunstâncias, os baixos custos sociais fazem das plantações um

Tabela 3.7 — Atores do processo de desenvolvimento das plantações

- ▶ As fábricas de papel e celulose, capazes de comprar a fibra diretamente das plantações, como, por exemplo, a Champion International Corporation, uma empresa americana de vendas anuais de mais de US\$ 5 bilhões, proprietária de 390 mil hectares de florestas no Brasil.
- ▶ As empresas de consultoria que oferecem planejamentos estratégicos projetam o desenvolvimento e outros serviços para os proprietários das plantações, como, por exemplo, a empresa finlandesa Jaakko Poyry, a líder mundial, com escritórios no Brasil.
- ▶ Os fornecedores de tecnologia.
- ▶ Associações e alianças industriais, como, por exemplo, a Associação Brasileira de Exportadores de Celulose.
- ▶ Agências bilaterais, como, por exemplo, a SIDA da Suécia, que criou o planejamento de plantações no sul.
- ▶ Agências de crédito para exportação e investimentos estatais, como, por exemplo, a Commonwealth Development Corporation, do Reino Unido.
- ▶ Agências multilaterais que oferecem subsídios diretos e indiretos, como, por exemplo, o Banco Mundial, que criou um projeto em Minas Gerais para encorajar os fazendeiros locais a cultivar eucalipto.
- ▶ O governo federal oferece subsídios e outras formas de apoio. Por exemplo, o Brasil subsidiou as plantações no período de 1966 a 1987.
- ▶ Institutos de pesquisas e ONGs que oferecem apoio científico e tecnológico.
- ▶ Sindicatos que procuram proteger os trabalhadores e seus empregos e melhorar as condições de trabalho.
- ▶ Os movimentos de trabalhadores rurais que não possuem propriedades, como, por exemplo, o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), no Brasil.
- ▶ Pequenos fazendeiros.
- ▶ Ambientalistas.

Fonte: Carrere e Lohmann (1996).

melhor investimento do que a agricultura. Entretanto, também existem vários relatórios que abordam os custos sociais e ambientais como, por exemplo, os impactos ambientais associados, a alta incidência de acidentes ocupacionais na derrubada e transporte da madeira, danos causados às estradas e rodovias, o deslocamento da população nativa. A Tabela 3.8 descreve os possíveis impactos ambientais decorrentes da silvicultura e da derrubada, corte e transporte da madeira.

As vantagens econômicas geralmente são mais facilmente calculadas do que os custos dos impactos negativos, que podem passar despercebidos ou até mesmo ser encobertos. Os trabalhos de Couto e Betters apresentam uma visão geral positiva das vantagens econômicas do setor florestal no Brasil. O setor foi responsável pela geração de 3,9% do PIB nacional; US\$ 18,8 bilhões no começo da década de 90 e previa-se que esse valor

Tabela 3.8 — Possíveis impactos ambientais decorrentes da silvicultura e da derrubada, corte e transporte da madeira

Água	▶ Aumento do fluxo de nutrientes nos cursos d'água devido à erosão causada pelo corte de árvores (principalmente para construção de estradas e caminhos). ▶ Obstrução de ribeirões por resíduos resultantes do corte de madeira. ▶ Lixiviação de nutrientes para os cursos d'água e lençol freático. ▶ Possível melhoria na qualidade da água e um fluxo mais regular com o reflorestamento de terras esgotadas ou perfuradas. ▶ Poluição por herbicidas e pesticidas devido a escoamento e pulverização aérea (de uma pequena porcentagem da área florestal medida em acres). ▶ Aquecimento dos ribeirões devido à perda da proteção proporcionada pelas copas das árvores quando a vegetação adjacente ao ribeirão é removida.
Ar	▶ Poeira temporária, principalmente das estradas e trilhas. ▶ Emissões dos equipamentos de transporte e colheita. ▶ Impactos na concentração de CO na atmosfera, especialmente se a área florestal for permanentemente convertida em área agrícola ou com outro uso (biomassa menor) ou vice-versa. ▶ Poluição do ar devido às queimadas planejadas.
Terra	▶ Compactação do solo por causa de estradas e equipamento pesado, que leva a dois impactos: erosão da camada superficial do solo das florestas por causa de estradas, caminhos e outros distúrbios e a perda da capacidade de armazenamento de água a longo prazo, aumentando a possibilidade de enchentes e a disponibilidade de água corrente até que a vegetação se regenere. ▶ Aumento do risco de incêndios, principalmente pela queima dos entulhos da madeira. ▶ Possível perda da floresta destinada a uso alternativo ou falha na regeneração. ▶ Possível redução da qualidade de nutrientes do solo e nível orgânico devido a rotações curtas e/ou remoção de resíduos (inadequadamente compreendida). ▶ Impactos positivos do reflorestamento: aumento reduzido da erosão por meio da retenção da água, reabilitação da terra escavada para mineração, qualidade estética extremamente melhorada. ▶ Desabamentos e deslizamentos de terra devido à perda do suporte de raízes de plantas ou projeto inadequado de estradas. ▶ Degradação temporária da qualidade estética.
Ecologia	▶ Mudanças na vida selvagem devido ao impacto momentâneo do corte e derrubada das árvores e mudanças no tipo de floresta. ▶ Degradação temporária dos ecossistemas aquáticos. ▶ Mudança no tipo de floresta ou floresta melhorada devido à conversão.

Fonte: OTA (1980).

cresceria. Os autores observam que uma única empresa, a Aracruz Clulose S.A., pagou, em 1992, US\$ 18 milhões em impostos ao estado do Espírito

Santo, onde está localizada, gastou US\$ 15 milhões em investimentos sociais, alocou US\$ 14,7 milhões para seu programa de fazendas de florestas e US\$ 12,5 milhões para a extensão florestal, destinou US\$ 600 mil a P&D, pagou US\$ 30 milhões em salários e comprou US\$ 50 milhões em mercadorias de fornecedores locais. A geração de benefícios econômicos no Espírito Santo, em 1992, foi calculada em US\$ 120,8 milhões. Couto e Betters não fornecem os valores monetários que poderiam ter incorrido nos custos sociais e ambientais. Parece que ninguém os calculou. Entretanto, a ocorrência em larga escala de tais custos negativos pode ser atestada pelo número de protestos de ambientalistas, sindicatos e grupos nativos nos últimos 20 anos no Brasil, que forçaram mudanças importantes nas técnicas praticadas.

A natureza e a dimensão dos impactos sociais parecem ser igualmente controversas. Sargent e Bass (1992) argumentam que as plantações são benéficas aos habitantes locais. Eles declaram, por exemplo, que a Aracruz Celulose S.A., proprietária de mais de 200 mil hectares no Espírito Santo e na Bahia, melhorou as condições sociais e ambientais locais. Entretanto, esta visão otimista é contestada por outras fontes. Segundo Carrere e Lohmann (1996, p. 151), “o domínio da Aracruz provocou efeitos nocivos às comunidades locais e vizinhanças e também ao solo, à água e às florestas da região”. Eles também fizeram uma gama de alegações sérias quanto aos maus procedimentos e danos sociais decorrentes dos programas de plantações no Brasil. Esses danos sociais são apresentados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 — Impactos sociais das plantações no Brasil

-
- ▶ Expulsão das populações nativas e pequenos fazendeiros.
 - ▶ Uso de violência, real e simbólica.
 - ▶ Corrupção das autoridades locais e federais.
 - ▶ Destruição gradual da agricultura de subsistência.
 - ▶ Substituição do cultivo dos alimentos agrícolas e frutas.
 - ▶ Erosão das terras agrícolas.
 - ▶ Extinção dos riachos e nascentes.
 - ▶ Aumento da migração urbana.
 - ▶ Enfraquecimento da autonomia e vínculos sociais locais.
 - ▶ Redução de empregos devido à mecanização.
 - ▶ Concentração de terra e poder à custa da maioria.
-

Foram colhidas informações de dois relatórios contrastantes. Couto e Betters apresentam uma avaliação do ponto de vista de consultores, enquanto Carrere e Lohmann fornecem uma crítica social investigativa. Cada relatório procurou dispor da literatura científica como suporte para o caso e ainda assim o caráter de suas conclusões difere notadamente. O primeiro apresenta as plantações, de modo geral, como benéficas, enquanto Carrere e Lohmann apresentam uma visão bem mais negativa. Carrere e Lohmann refletem sobre as aparentes contradições na literatura científica e falam das pesquisas sobre as plantações como se fossem “duas bibliotecas” distintas e questionam a existência de visões divergentes (p. 61). Eles apresentam três possíveis respostas a essa questão:

1) A ciência, segundo os autores, é uma construção social e por isso espera-se que o trabalho científico seja “falseado pela experiência do autor e associado a sua escala de valores e visão de mundo... [e], com frequência, diretamente influenciado pelos interesses materiais dos cientistas” (p. 62). Essa visão é defendida por pesquisas realizadas no campo da sociologia da ciência (Cozzens e Woodhouse, 1995).

2) A silvicultura, como a maioria das disciplinas, tem uma tendência reducionista que divide a realidade em partes, enquanto mantém uma abordagem do todo. A silvicultura não pode responder, por conta própria, às questões apresentadas pelos impactos provocados pelas monoculturas.

3) Os resultados das pesquisas, no tocante aos impactos ambientais e sociais, nem sempre podem ser generalizados, uma vez que as plantações são implementadas sob circunstâncias socioeconômicas e ambientais diversas.

Essas interpretações diferentes servem para ilustrar um problema fundamental da avaliação tecnológica: o fato de que temos que viver com essas supostas contradições e aceitá-las. Os especialistas nem sempre concordam um com o outro. A escola de avaliação tecnológica construtiva (Rip et al., 1995) argumenta, portanto, que parte da função dos assessores deveria ser fazer com que esse conflito entre os especialistas fosse conhecido pelas partes interessadas em vez de colocado de lado. Os analistas também deveriam saber da existência de outro problema, contrário ao mencionado acima, registrado pelos sociólogos. Esse problema é a tendência de alguns cientistas, quando diante de uma audiência leiga, de minimizar as incertezas e enfatizar o que se sabe, em vez do

que ainda não se sabe sobre os possíveis riscos e incertezas da nova tecnologia (Jasanoff, 1995).

3.4.4 Uma análise das políticas: estudo de caso das tecnologias de energia para os países em desenvolvimento

A fase final de uma avaliação envolve a identificação dos responsáveis pelas tomadas de decisão, sua localização institucional, responsabilidades, autoridade e limites. Porter et al. (1980, p. 60) argumentam que “os pressupostos e os valores sustentados pelos assessores devem ser relatados da forma mais explícita possível [...], os procedimentos devem estar claros para o usuário da avaliação para que as conclusões apresentadas possam ser aceitas ou rejeitadas”. Os assessores precisam ir além de suas avaliações para identificar as questões-chave e sugerir as várias escolhas de políticas e ações a serem adotadas.

O relatório “Fuelling development: energy technologies for developing countries” (U. S. Congress OTA, 1992) apresenta as principais barreiras à energia da biomassa:

- 1) P&D e plantas demonstrativas inadequadas;
- 2) subsídios diretos ou indiretos oferecidos a outras fontes de energia que podem desencorajar os investimentos;
- 3) altos custos com terras e infra-estrutura (notadamente as estradas);
- 4) ausência de programas de crédito, disponibilizados mais prontamente para as fontes convencionais do que para a biomassa.

As políticas podem ser divididas em várias categorias: regulatórias; de planejamento e avaliação; financeiras e mercadológicas; de P&D, demonstração e treinamento. Uma recomendação que se faz é a remoção das distorções nos mercados de energia, produzidas por um modelo complexo de regulações e subsídios. Outra política encorajada é permitir que os fatores de mercado determinem os preços mais rapidamente através da privatização das companhias estatais fornecedoras de energia. Essa abordagem de mercado poderá atuar contra a energia da biomassa, se não forem encontrados meios para internalizar as externalidades das fontes convencionais de energia. Na próxima seção, serão exploradas algumas experiências com políticas da biomassa no Brasil.

É importante lembrar que a tecnologia da biomassa é um conjunto de tecnologias, e não uma única. Conseqüentemente, existem pelo menos três tipos de tecnologias que os responsáveis pela criação de políticas precisam considerar, quando procuram promover a biomassa como uma fonte de energia ou como matéria-prima. São elas:

- 1) um cultivo eficiente da biomassa, para que ela possa competir com os combustíveis fósseis como fontes energéticas ou matéria-prima (madeira, cana-de-açúcar, sorgo etc.);
- 2) eficientes processos de conversão em energia secundária (álcool, carvão vegetal e resíduos);
- 3) conversores finais eficientes da biomassa em energia primária ou secundária, nos setores de serviços, industrial e residencial (fornos eficientes, motores a álcool etc.).

Geralmente, verificamos que essas tecnologias formam um sistema tecnológico, descrito anteriormente, no qual as grandes e pequenas inovações estão inter-relacionadas. O sucesso de uma tecnologia depende do sucesso de outra. Quando uma das tecnologias é descartada, o mesmo pode acontecer com toda uma cadeia de outras tecnologias, independentemente da eficiência e adequação de cada uma (Stewart, 1977). Portanto, os criadores de políticas precisam considerar essa complexidade sistêmica da biomassa quando formulam suas políticas.

Os sistemas tecnológicos, quando bem definidos, também dependem de uma rede complexa de interesses sociais e econômicos. Toda tecnologia tem um conjunto de características, no nível da produção ou do consumo, que favorece mais ou menos um grupo social específico (Stewart, 1987). Assim, na maioria das vezes, o sucesso de uma nova tecnologia depende da força do grupo social ao qual ela favorece. Os governantes devem levar em consideração as relações sociais de poder quando criam as políticas, se quiserem ser bem-sucedidos. Nesse sentido, podemos falar, como mencionado anteriormente, de sistemas nacionais de inovação.

As políticas públicas orientadas para o fomento das tecnologias de biomassa eficientes, capazes de competir com os combustíveis fósseis e/ou fontes centralizadas, terão que superar sérios obstáculos. A biomassa é uma forma de energia antiga, que está sendo “naturalmente” descartada pela industrialização por causa de sua baixa produtividade, e ao mesmo tempo é

uma tecnologia emergente. Os obstáculos que a biomassa enfrenta são de natureza variada: obstáculos tecnológicos, sociais e econômicos.

A experiência brasileira na promoção da biomassa como fonte de energia ilustra bem as oportunidades e as limitações das políticas públicas adotadas nos países em desenvolvimento. Os sistemas tecnológicos de biomassa estão inseridos em um determinado contexto social e numa rede de atores complexa e são dependentes desse contexto e dessa rede. Entretanto, na maioria das vezes, as políticas não são cumpridas de forma coerente dentro do sistema tecnológico, ou seja, favorecendo, no momento adequado, as tecnologias e conhecimentos complementares, sincretizando corretamente para os atores políticos e introduzindo as mudanças institucionais necessárias.

3.4.4.1 A experiência da FINEP

O primeiro exemplo será a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), que promoveu as fontes alternativas de energia durante as décadas de 70 e 80. A FINEP criou um Departamento de Energia e lançou cinco programas de energia durante a segunda metade da década de 70 (solar, hidrogênio, carvão mineral, biomassa e eficiência energética). O objetivo desses programas era financiar, no Brasil, por meio de recursos a fundo perdido, a criação de grupos de pesquisas que pudessem atuar em fontes alternativas de energia e, paralelamente, com planejamento energético. Essa primeira medida a favor de novas tecnologias de energia foi uma escolha correta da FINEP, uma vez que, depois da segunda crise do petróleo, a energia tornou-se a primeira prioridade do desenvolvimento nacional. Grupos acadêmicos importantes no cenário da energia foram criados e apoiados pela FINEP. Na verdade, esses programas financiaram a maioria das pesquisas sobre fontes de energia alternativas durante os anos 70, criando uma base científica e tecnológica para o desenvolvimento futuro nesse campo.

Depois da segunda crise do petróleo, os fundos da FINEP destinados à pesquisa de energias alternativas cresceram significativamente. Sem deixar de financiar as universidades e grupos de pesquisa, a FINEP ampliou o escopo de sua política de financiamentos. Deu-se nova ênfase ao financiamento de projetos industriais com o retorno comercial por meio de empréstimos com taxas de juros baixas. Essa política não obteve tanto êxito.

A biomassa representou 38% dos projetos e 28% dos fundos destinados à energia entre 1982 e 1993, dos quais cerca de um terço foi destinado às universidades e laboratórios de pesquisa e dois terços destinados a empresas. Os empréstimos foram divididos entre 176 projetos, com um valor médio de US\$ 190 mil (La Rovère, 1994). Os financiamentos públicos sofreram um grande recuo na segunda metade dos anos 80, quando o governo passou a dar menos prioridade à energia como uma das metas nacionais e a crise econômica se intensificou.

O impacto local de alguns projetos de biomassa foi significativo, como no caso da fermentação semicontínua do álcool, dos secadores de bagaço, dos biodigestores de vinhaça, da reciclagem de metano dos resíduos urbanos, dos gaseificadores de madeira e da produção de carvão vegetal. No entanto, nenhum deles teve um impacto realmente significativo em termos nacionais. Uma das limitações estratégicas foi a frágil articulação das tecnologias entre si e entre as tecnologias e o mercado. A contribuição da FINEP, por exemplo, teve um impacto limitado no avanço tecnológico da produção de álcool. Muitas das realizações tecnológicas que ampararam os avanços da produção de álcool durante os anos 80 e 90 foram financiadas e executadas pela própria indústria. Em outros campos, como, por exemplo, o dos óleos vegetais ou sistemas integrados de energia, a FINEP desempenhou uma função meramente exploratória.

A abordagem linear das políticas de tecnologia e a disponibilização limitada de recursos em um grupo heterogêneo de tecnologias, a ausência de uma demanda real por parte da indústria e do mercado, “a resposta ao contra-choque do petróleo” e seus preços baixos, juntamente com o êxito de indústrias bem estabelecidas de petróleo e hidreletricidade, frustraram as tentativas da FINEP de promover as energias alternativas.

3.4.4.2 O PROÁLCOOL

O PROÁLCOOL, criado em 1975, é um caso bem-sucedido de política governamental na promoção da biomassa (Rothman et al., 1983). O álcool competiu nos três níveis de tecnologia já descritos anteriormente. O escopo do programa foi abrangente o suficiente para intervir nos três níveis, por meio de:

- 1) financiamentos, a taxas de juros reais negativas, às atividades produtivas (plantações e destilarias);

2) criação de um mercado cativo para o álcool combustível (tornando obrigatória a adoção, primeiramente, da mistura do álcool anidro à gasolina e depois fomentando a venda de veículos a álcool hidratado) e de capacidade de armazenamento (assumida pela PETROBRÁS);

3) garantia de preços competitivos e vantajosos para a indústria.

O PROÁLCOOL teve início a partir de um conjunto de ações muito bem articuladas, em razão da forte conjunção de interesses entre o aparato federal e a agroindústria da cana-de-açúcar. A partir dos anos 30, o governo criou vários mecanismos para promover e proteger a indústria do álcool no país, preservando os interesses regionais (Szmrecsányi, 1979). Esse aprendizado institucional foi usado na criação do PROÁLCOOL. Além disso, a agroindústria canavieira encontrou na produção do álcool um novo e dinâmico mercado, num momento em que ela passava por uma fase de superprodução de açúcar. Dessa forma, desde o início, coexistiam mecanismos institucionais e interesses sociais convergentes, que sustentavam a implementação do programa.

Entretanto, essa rede de interesses bem estabelecida provocou um impacto social muito negativo (concentração na posse de terra, exclusão da agricultura de subsistência) e um nível muito baixo de dinamismo tecnológico (CNPq, 1978 e Furtado, 1983). Os equipamentos incorporados tinham um nível baixo de eficiência e as plantações de cana-de-açúcar também apresentavam rendimentos muito baixos.

Quando, no final dos anos 70 e começo dos anos 80, a produção de álcool teve que alcançar um mercado maior (carros movidos a álcool), o programa enfrentou um sério desafio, porque a indústria automobilística demonstrou pouco interesse em desenvolver e produzir carros com motores eficientes a álcool. A estrutura institucional vigente mostrou-se inadequada para encorajar as mudanças na indústria automobilística. Somente depois de forte pressão do governo e de uma rápida queda nas vendas internas de carros a gasolina, a indústria automobilística foi forçada a desenvolver e colocar no mercado carros seguros com motores a álcool. O êxito tecnológico desses carros garantiu quase 90% da participação total no mercado no final dos anos 80.

A reação à crise do petróleo em 1986 gerou uma nova e mais sombria conjuntura para a indústria da cana-de-açúcar. A queda no preço do petróleo bruto no mercado internacional provocou a queda no preço dos

derivados no mercado nacional e, obviamente, no preço do álcool. Esse novo contexto ocasionou mudanças tecnológicas rápidas. Houve um forte crescimento no rendimento agrícola da cana-de-açúcar, aliado a uma melhora significativa no processo industrial. O processo de moagem da cana-de-açúcar pôde ser aperfeiçoado significativamente por meio da introdução de inovações tecnológicas incrementais. Esse dinamismo tecnológico permitiu que a parte mais saudável da indústria da cana-de-açúcar sobrevivesse à dura mudança de ambiente, enquanto as destilarias menos rentáveis fechavam.

Na avaliação tecnológica, é necessário levar em conta o contexto social e econômico da geração e difusão tecnológica. O sucesso ou insucesso da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis está relacionado com a força e a fraqueza das oportunidades tecnológicas e com o apoio da sociedade a cada uma dessas fontes de energia. O PROÁLCOOL foi um programa de energia bem-sucedido no Brasil, porque teve o apoio do poderoso setor agroindustrial do estado de São Paulo.

No início, o envolvimento do governo federal, com os financiamentos e a garantia dos preços e do mercado para o álcool, foi decisivo para a sustentabilidade do programa. Entretanto, a partir de meados da década de 80, o governo demonstrou uma crescente propensão em se desinteressar pelo programa, reduzindo os subsídios e permitindo a queda no preço do álcool. A produção de álcool conseguiu sobreviver nesse ambiente desfavorável, porque a rede de inovação da cana-de-açúcar se fortaleceu em consequência do processo de aprendizado. A criação de uma rede de inovação bem articulada nos níveis científico, tecnológico e produtivo revelou-se um fator importante para o enfrentamento do desafio e para a sobrevivência do programa.

3.4.4.3 Políticas e barreiras da inovação

O sucesso de uma tecnologia está relacionado com sua própria dinâmica e com a evolução de sua competição com outras tecnologias. Os combustíveis fósseis e as fontes centralizadas de energia são tecnologias bem estabelecidas, que se beneficiam de economias de escala e dos retornos crescentes resultantes do aprendizado. A biomassa, como um sistema tecnológico que emerge novamente, tem que competir em vários níveis com o sistema tecnológico dominante. Há muitas barreiras que precisam

ser superadas. São de natureza técnica, financeira/econômica, social e institucional. Como mencionado anteriormente, a biomassa requer o desenvolvimento paralelo e contínuo de todo um conjunto de tecnologias complementares para obter êxito. Todas essas tecnologias, quando diferem do sistema dominante, têm que enfrentar essas barreiras.

As tecnologias de biomassa só serão bem-sucedidas se, durante a fase de desenvolvimento, obtiverem suficiente apoio da sociedade, forem técnica e economicamente viáveis e tiverem suas instituições adaptadas. Esse sucesso depende da contribuição efetiva das políticas públicas para encorajar a criação de uma rede de atores convergente.

O sucesso das políticas depende da capacidade do governo em identificar as novas tecnologias, ou as alternativas, e da maneira como ele conseguirá promover, implementar e coordenar o conjunto complexo de incentivos e sinais que instiguem e orientem os atores em direção à inovação. Nessa escolha, é necessário que se leve em consideração a inserção da nova tecnologia, ou da tecnologia alternativa, com a estrutura das tecnologias existentes. Quanto maiores forem as mudanças, mais alto será o nível necessário de intervenção do governo. Na maioria das vezes, as novas tecnologias de energia obtêm êxito somente quando são capazes de se incorporar às tecnologias existentes, na chamada “hibridação tecnológica” (Bhalla, 1994).

Um dos caminhos para encorajar a tecnologia da biomassa é beneficiar-se do seu uso atual em alguns setores econômicos dos países em desenvolvimento. As áreas rurais e várias pequenas cidades no chamado setor tradicional freqüentemente empregam a biomassa para o uso doméstico. Entretanto, em países como o Brasil, com grande disponibilidade de recursos naturais e terras, a biomassa é freqüentemente usada no setor industrial. Os setores modernos, como a indústria, o setor energético e os transportes, eram responsáveis, em 2001, por 76,2% do consumo energético de biomassa, geralmente usada como uma forma alternativa aos combustíveis fósseis. Assim, a biomassa pode ocupar um espaço no fornecimento de energia no setor moderno, sem que seja necessário remover a infra-estrutura dos sistemas tecnológicos existentes. Conseqüentemente, acredita-se que já existam oportunidades de nicho de mercado para a biomassa que precisam de comprometimento político para serem exploradas. Entretanto, com exceção do álcool, não existe atualmente uma política articulada para a maioria dessas fontes de energia de biomassa.

Elas também acarretam problemas sociais sérios e não são ambientalmente sustentáveis, no caso, por exemplo, da extração de madeira natural e da produção de carvão vegetal.

O governo deveria encorajar a criação de um ambiente favorável ao investimento em cada um desses nichos de biomassa. Essas tecnologias precisam ser localmente confiáveis e economicamente atrativas para uma rede de atores com interesses convergentes. Esses atores são os centros e laboratórios de pesquisa, bancos estaduais e federais, escritórios de engenharia, fornecedores de equipamentos, usuários de equipamentos, produtores de biomassa, empresas de transportes de trabalhadores, consumidores e vários outros. O governo, por meio da administração direta e das agências de fomento e demais órgãos da administração indireta, deve tentar coordenar todos esses atores rumo à inovação.

3.5 Conclusões

MUITOS DOS EXEMPLOS EXAMINADOS foram extraídos dos trabalhos da OTA, o que refletia as preocupações, os valores e as práticas políticas do Congresso Americano. Isso não quer dizer que eles não tenham valor fora desse contexto. Achemos que conseguimos demonstrar que essas avaliações continham informações e questões de interesse geral relevantes para os problemas brasileiros. Isso faz com que surjam algumas dúvidas quanto ao local a ser considerado em qualquer estudo de AT especificamente brasileiro e a quem o estudo deveria dirigir-se. Que impactos a AT teria no Brasil? Não é fácil responder a essas perguntas, porque há questões problemáticas dentro da própria AT que precisam ser exploradas, como também há questões problemáticas com relação aos sistemas políticos do Brasil. Primeiramente, vamos explorar, brevemente, alguns dos problemas atuais da AT.

Os industriais freqüentemente se opunham à avaliação tecnológica que eles poderiam ter rebatizado de “armação tecnológica”, pois viam-na como uma séria ameaça aos seus interesses. Com certeza tal situação é lamentável, mas compreensível, especialmente quando os negócios se fazem em um ambiente que favorece a visão de interesses de curto prazo em vez de longo prazo. É necessário que haja vontade política para mudar a situação e também é necessário enfatizar que a boa AT pode abrir ou fechar o leque de opções empresarias. Os proponentes da AT e das tecnologias sustentáveis

terão que superar o ceticismo e mostrar que é possível usar a AT de forma construtiva para melhorar o nível das tomadas de decisões técnicas e que ela é de interesse nacional. A importância dessa tarefa não pode ser subestimada. Como mostra o triste espetáculo do fechamento da OTA do Congresso Nacional Americano, é uma tarefa constante e não há uma vitória final.

3.5.1 A AT construtiva

Na última década, ocorreu uma manifestação interessante na União Européia, principalmente na Holanda e Dinamarca, a saber, a tentativa de estabelecer o que foi chamado de “avaliação tecnológica construtiva” (ATC). É muito cedo para julgar o grau de influência que a ATC exercerá e para afirmar que ela representará um novo paradigma da AT no futuro (Rip et al., 1995). A ATC reflete determinadas correntes intelectuais e políticas da Europa: a política da SETI (Science, Engineering, Technology and Innovation) no nível nacional, e no nível da União Européia, a experiência, muitas vezes amarga e disseminadora de discórdias, das controvérsias tecnológicas e as correntes teóricas na sociologia da ciência e da tecnologia, algumas das quais já foram citadas anteriormente.

Na União Européia, o FAST (Forecasting and Assessment in Science and Technology), um programa do DGXII executado há muitos anos, exerceu muita influência na difusão do conceito de AT (Hoo et al., 1987). Foram implementados vários escritórios nacionais de AT, bem como organizações e redes supranacionais, como, por exemplo, a STOA (Scientific and Technological Assessment) no Parlamento Europeu, e a European Parliamentary Technology Network. Muitas dessas inovações e o interesse crescente dos políticos nos programas de SETI e de prospecção (technological foresight) podem estar relacionados à crescente preocupação, amplamente difundida, de que a Europa estava ficando para trás dos EUA e Japão no campo das tecnologias emergentes, nas tecnologias de informação, comunicações e biotecnologia. Tais manifestações expandiram o espaço, em toda a Europa, para pesquisadores acadêmicos e consultores da área e as novas idéias, antes confinadas aos guetos acadêmicos, entraram na arena política da AT e SETI (Rip, 1994). Algumas dessas idéias já foram mencionadas: uma compreensão mais profunda da natureza da inovação tecnológica, os estudos de controvérsias e a aplicação das idéias construtivistas à

tecnologia (SCOT). Recorrendo a elas, a ATC surgiu como uma revisão dos conceitos originais de AT.

A idéia básica da ATC, segundo Arie Rip (1994), um de seus principais porta-vozes, é “mudar o foco da AT a partir do acesso a tecnologias completamente articuladas e introduzir a antecipação dos impactos da tecnologia na fase inicial de desenvolvimento. Os atores dentro do mundo da tecnologia tornam-se um importante grupo-alvo [...] [e eles] não são os únicos envolvidos [...] a estratégia prioritária da ATC é expandir os aspectos e os atores que são levados em conta no estudo”. Atribui-se à ATC maior ênfase nas fases iniciais de projeto da inovação tecnológica, que podem criar mais oportunidades de identificar os impactos antes que a tecnologia se torne arraigada. Isso é muito diferente do que o que os pioneiros da AT pretendiam? É esta, com referência às preocupações iniciais de Wynne (1975), uma ferramenta tecnocrata ainda mais sofisticada para impor a aprovação das populações, igualmente bestificadas e amedrontadas com as novas tecnologias? Poderia ser também um pressuposto injustificado de que a consultoria profissional e os papéis eruditamente críticos dos proponentes da ATC sejam compatíveis no mundo poderoso da política e dos negócios.

Pelo lado positivo, a ATC poderia oferecer a oportunidade de uma possível abertura democrática e oferecer também o que Rip (1994) denominou de “aprendizado societal” quando se trata de tecnologia. Isso emerge da perspectiva construtivista da ATC, que rejeita a imagem tradicional da ciência e da tecnologia como livres de valor, objetivas e personificadas nos especialistas consensuais. No tocante à tecnologia, as imagens deterministas autônomas são rejeitadas em favor das imagens de construção social. Isso obviamente levanta a questão dos fatores sociais envolvidos no processo de moldagem. Isso de modo algum fica evidente e o analista da ATC precisa jogar a rede bem aberta e criativamente para atrair todos os prováveis atores. Os primeiros passos da AT original para encontrar as partes afetadas e os parceiros pareciam cobrir isso e os primeiros comentaristas tratavam principalmente da necessidade de procurar ativamente esses atores (Gibbons e Voyer, 1974). Na prática, entretanto, esse processo não tem sido bem-sucedido, haja vista o grande número de batalhas e protestos anti-tecnologia após o surgimento de cada nova tecnologia. Se tomarmos como exemplo o caso dos alimentos geneticamente modificados, veremos que eles primeiro chegaram às lojas e, somente mais tarde, as campanhas de protesto começaram. A abordagem da ATC teria postulado, em primeiro lugar,

quando a tecnologia ainda estava em fase de desenvolvimento, a necessidade de um estudo das possíveis reações da sociedade.

Às vezes, mesmo os participantes de protestos se sentem impotentes diante da tecnologia e dos empresários poderosos (Goldsmith, 1999), percebendo a tecnologia como algo duro e arraigado, fora de seu controle. Os construtivistas poderiam argumentar que tal visão é excessivamente pessimista e que a perspectiva deles oferece um caminho para uma política da tecnologia mais democrática, o qual a ATC pode incorporar, mostrando que a análise social da tecnologia torna possível demonstrar tanto as fontes de inflexibilidade tecnológica quanto o potencial para mudá-la. Tal reconhecimento da possibilidade de alternativas é um passo necessário na ação política. Bijker (1996) procurou classificar vários modelos de envolvimento público de acordo com a imagem da ciência e tecnologia nos quais se baseiam: uma imagem tradicional ou uma imagem mais construtivista. Percorrendo o espectro do tradicional para o construtivista, ele relaciona os seguintes componentes: comitês de consulta de especialistas, audiências, comissões consultivas, audiências públicas, plebiscitos, conferências consensuais, ATC e júris populares. O papel e a importância desses componentes dentro da democracia não são óbvios e está claro que são necessários mais estudos e experimentos (Bijker, 1996; Coote e Lenaghan, 1997; Dunkerley e Glasner, 1998).

Os proponentes da ATC, em princípio, parecem estar mais dispostos a aceitar o desgaste da fronteira tradicional entre os especialistas e o público leigo do que os da AT tradicional. De uma perspectiva mais ampla, a propriedade de tal manifestação foi convincentemente argumentada por Alan Irwin (1995, p. 7): “qualquer tipo de cidadania que despreza o conhecimento adquirido pelos grupos de cidadãos será limitada em suas possibilidades práticas. Essa abordagem limitada da cidadania restringirá o “aprendizado social” entre a ciência, a tecnologia e os grupos de cidadãos que [...] é essencial para o processo de desenvolvimento sustentável”.

3.5.2 Considerações finais

É necessário garantir que o problema do capital investido seja enfrentado. Uma AT do futuro do PROÁLCOOL, a terceira fase, executada pela indústria da cana-de-açúcar ou do petróleo poderia ser vista como algo

sectário. É claro que isso não quer dizer que uma indústria ou empresa deva evitar a AT. Ao contrário, ela deveria usufruir a oportunidade de descobrir novas idéias estratégicas que pudessem resultar dessas avaliações que porventura encomendassem aos especialistas (Braun, 1998). É necessário encontrar um lugar institucional que possa reunir as partes interessadas, identificar e priorizar as questões conflitantes e superar a descrença do público nos especialistas, que pode muito bem estar fundamentada nas amargas experiências do passado. Talvez haja espaço para experimentar algumas das abordagens fundamentadas no cidadão, mencionadas anteriormente, que estão sendo postas à prova na Europa.

O caso da AT em nível nacional é mais fácil de ser aplicado em países onde existam políticas de inovação, ciência, engenharia e tecnologia claramente vinculadas às metas políticas. Em países onde essas políticas e esse vínculo são confusos e obscuros ninguém quer responsabilizar-se por priorizar determinadas tecnologias. Se, por exemplo, o Brasil, em nível nacional e estadual, se comprometer honestamente com as metas de um desenvolvimento sustentável, erradicação do desemprego, igualdade social e educação, será possível vislumbrar uma participação fundamental da AT no melhoramento das decisões políticas e da participação democrática. Essa é, obviamente, uma visão utópica diante das atuais assimetrias do poder político e econômico. Na prática, a AT poderia ser bem sectária e não-representativa. Contudo, o pensamento contemporâneo da ATC contém elementos de uma abordagem crítica emancipada dos problemas envolvidos na identificação de soluções no gerenciamento das mudanças técnicas pela sociedade. São elas: abordagem holística multidisciplinar por meio de estudos simultâneos, a descoberta das partes afetadas, de tecnologias alternativas e dos impactos sociais e ambientais, a vontade de tratar das difíceis questões relativas à tecnologia e igualdade, tecnologia e gênero, e tecnologia e valores; e a rejeição dos elementos científicos e tecnocratas tradicionais dentro da concepção original da AT.

3.6 Referências bibliográficas

- BECK, U. *The risk society*. Londres: Sage Publications, 1992.
- BHALLA, A. "Technology choice and development", in J. J. Salomon, F. Sagaski e C. Sachs-Jeanter (eds.), *The uncertain quest: science, technology and development*. Tóquio: United Nations University Press, 1994, pp. 412-45.

- BIJKER, W. "Democratization of technology: who are the experts?", *The World Series on Culture and Technology*. Disponível em: <<http://www.desk.nl/~acsi/WS/speakers/bijker.htm>>. Acesso em 1996.
- BRAUN, E. *Technology in context: technology assessment for managers*. Londres, Nova Iorque: Routledge, 1998.
- CALLON, M. "Technological conception and adoption network: lessons for the CTA practitioner", in A. Rip, T. J. Misa e J. Johan Schot (eds.), *Managing technology in society: the approach of constructive technology assessment*. Londres: Pinter, 1995.
- CARLSSON, B. "Technological systems and economic performance", in M. Dodgson e R. Rothwell (eds.), *The handbook of industrial innovation*. Aldershot: Edward Elgar, 1994.
- CARRERE, R. e LOHMANN, L. *Pulping the South: industrial tree plantations and the world paper economy*. Londres, Nova Jersey: Zed Books, 1996.
- CARSON, R. *Silent spring*. Nova Iorque: Fawcett Crest, 1962.
- CNPq. *Avaliação tecnológica do álcool etílico*. Brasília: CNPq, 1979.
- COATES, J. F. "Technology assessment as guidance to government management of new technologies in developing countries", *Technology Forecasting and Social Change*, 58, 1998, pp. 35-46.
- COATES, J. F.; MACHAFFIE, J. B. e HINES, A. *2025: scenarios of U. S. and global society reshaped by science and technology*. Greenboro: Oakhill Press, 1997.
- COMMONER, B. *Science and survival*. Londres: Gollancz, 1966.
- COOTE, A. e LENAGHAN, J. *Citizens' juries: theory into practice*. Londres: Institute for Policy Research, 1997, p. 3.
- COUTO, L. e BETTERS, D. R. *Short-rotation eucalyptus plantations in Brazil: social and environmental issues, ORNL/TM-12846*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, 1996.
- COZZENS, S. E. e WOODHOUSE, E. J. "Science, government and the politics of knowledge", in S. Jasanoff, G. E. Markle, J. C. Peterson e T. Pinch (eds.), *Handbook of science and technology studies*. Thousand Oaks: Sage, 1995.
- DICKINSON, G. e MURPHY, K. *Ecosystems*. Londres: Routledge, 1998.
- DUNKERLEY, D. e GLASNER, P. "Empowering the public? Citizens' juries and the new genetic technologies", *Critical Public Health*, 8 (3), 1998, pp. 181-92.
- FREEMAN, C. (ed.). *Long waves in the world economy*. Londres: Pinter, 1984.
- FURTADO, A. *Biomasse et style de développement — Les leçons du Programme Proálcool au Brésil*. Tese de doutorado, Université de Paris I, 1983.
- GIBBONS, M. e VOYER, R. *A technology assessment system: a case study of East Coast offshore petroleum exploration*. Ottawa: The Science Council of Canada, 1974.
- GOLDSMITH, Z. "The Monsanto test", *The Ecologist*, 29 (1), 1999, pp. 5-8.
- HETMAN, F. *Society and the assessment of technology*. Paris: OECD, 1973.
- HODGSON, G. M.; SAMUELS, W. J. e TOOL, M. R. (eds.). *The Elgar Companion to institutional and evolutionary economics*, 2 vols. Aldershot: Edward Elgar, 1994.
- HOO, S. C. de; SMITS, R. E. H. M. e PETRELLA, R. (eds.). *Technology assessment: an opportunity for Europe*. Haia: Netherlands Organization for Technology Assessment (NOTA), 1987.
- IRWIN, A. *Citizen Science: a study of people, expertise and sustainable development*. Londres: Routledge, 1995.

- JASANOFF, S. "Product, process, or programme: three cultures and the regulation of biotechnology", in M. Bauer (ed.), *Resistance to new technologies: nuclear power, information technology, and biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- KATZ, M. S. *Ban the bomb: a history of SANE, the Committee for a Sane Nuclear Policy, 1957-1985*. Westport: Greenwood, 1986.
- LA ROVÈRE, E. M. *Energia: atuação e tendências*. Rio de Janeiro: Departamento de Transporte e Energia, 1994, Série Especial FINEP.
- LAPP, R. E. *The logarithmic century*. Engelwood Cliffs: Prentice Hall, 1973.
- LATOUR, B. *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes: Open University Press, 1988.
- MACKENZIE, D. e WAJCMAN, J. (eds.). *The social shaping of technology*. Milton Keynes: Open University Press, 1985.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J. e BEHRENS, W. W. *The limits to growth*. Londres: Earth Island, 1972.
- MEDFORD, D. *Environmental harassment or technology assessment?* Londres: Elsevier, 1973.
- NADER, R. *Unsafe at any speed*. Nova Iorque: Grossman, 1965.
- OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. *Winning through foresight — A strategy taking the Foresight Programme to the millennium*. Londres: OST/Department of Trade and Industry, 1996.
- PORTER, A.; ROSSINI, F. A.; CARPENTER, S. R. e ROPER, A. T. *A guidebook for technology assessment and impact analysis*. Nova Iorque, Oxford: North Holland, 1980.
- RIP, A. "Science & technology studies and constructive technology assessment", *EASST Review*, 13 (3), 1994.
- RIP, A.; MISA, T. J. e JOHAN SCHOT, J. (eds.), *Managing technology in society: the approach of constructive technology assessment*. Londres: Pinter, 1995.
- ROBINSON, C. "Making forest biotechnology a commercial reality", *Nature/Biotechnology*, 17 (1), 1999, pp. 27-30.
- ROSZAK, T. *The making of a counter-culture*. Nova Iorque: Doubleday, 1968.
- ROTHMAN, H. "Technology assessment and the unintended consequences of technology", in K. D. Sharma e M. A. Qureshi (eds.), *Science, technology and development*. Nova Deli: Sterling Publishers, 1978.
- ROTHMAN, H.; GREENSHIELDS, R. e ROSILLO-CALLE, F. *The alcohol economy: fuel ethanol and the Brazilian experience*. Londres: Pinter, 1983.
- SARGENT, C. e BASS, S. (eds.). *Plantation politics: forest plantations in development*. Londres: Earthscan, 1992.
- SIMON, J. L. e KAHN, H. *The resourceful Earth*. Oxford: Blackwell, 1984.
- STEWART, F. *Technology and underdevelopment*. Londres: MacMillan Press, 1978.
- . "Macro-policies for appropriate technology: an introductory classification", in F. Stewart (ed.), *Macro-policies for appropriate technology in developing countries*. Londres: Westview Press, 1987, Westview Special Studies.
- SZMRECSÁNYI, T. *O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil: (1930-1975)*. São Paulo: HUCITEC, UNICAMP, 1979.
- U. S. CONGRESS. OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. *Energy from biological processes. Volume II — Technical and environmental analyses*. Washington D.C.: U. S. Government Printing Office, 1980.

- U. S. CONGRESS. OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. *Replacing gasoline: alternative fuels for light-duty vehicles*, OTA-E-364. Washington D.C.: U. S. Government Printing Office, 1990.
- _____. *Fueling development: energy technologies for developing countries*, OTA-E-516. Washington D.C.: U. S. Government Printing Office, 1992.
- _____. *Potential environmental impacts of bioenergy crop production*, OTA-BP-E-118. Washington D.C.: U. S. Government Printing Office, 1993.
- _____. *The OTA legacy. 1972 –1995*. Washington D.C.: U. S. Government Printing Office, 1996.
- WORLD COMMISSION FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our common future (The Bruntland Report)*. Oxford, Nova Iorque: Oxford University Press, 1987.
- WYNNE, B. "The rhetoric of consensus politics: a critical review of technology assessment", *Research Policy*, 4, 1975, pp. 1-53.