

# *Dinâmica de inovações sob restrição ambiental*

*Ademar Ribeiro Romeiro  
Sergio Salles Filho*

## **Introdução**

O presente artigo aborda a análise econômica da questão ambiental desde uma perspectiva concorrencial de inspiração Schumpeteriana. O principal objetivo do trabalho é o de evidenciar a complexidade da problemática ambiental em relação ao processo decisório dos agentes econômicos, particularmente no que toca à dinâmica de geração de inovações tecnológicas. Parte-se de uma visão evolucionária do funcionamento da economia capitalista, enfatizando a importância dos mecanismos de busca e seleção de inovações na geração de assimetrias entre os agentes econômicos. Com base nessa proposta de interpretação, discute-se a interação entre dinâmica de inovações e pressões de ordem ambiental, para o caso da produção agrícola.

Para cumprir tais objetivos, o texto estrutura-se em quatro itens. O primeiro faz uma breve revisão crítica dos pressupostos neoclássicos sobre internalização do problema ambiental pelos agentes econômicos e sobre geração de inovações tecnológicas. Critica-se, em primeiro lugar, o alcance limitado da lógica de precificação dos bens ambientais, procurando-se mostrar, sobretudo, a inconsistência deste esquema analítico com a realidade ecológica e econômica; em segundo lugar, vem a crítica do modelo neoclássico de inovação induzidas, visto como incapaz de explicar a dinâmica de geração de inovações no sistema capitalista, especialmente tendo em conta a restrição ambiental que torna agudos os fenômenos de irreversibilidade e incerteza.

No item seguinte, desenvolve-se, ainda que brevemente, uma interpretação evolucionária da incorporação da questão ambiental pelos

agentes econômicos, ressaltando que inovações amigáveis do ponto de vista ambiental ocorrem não apenas como resultado de medidas coercitivas, mas também como aproveitamento de oportunidades tecnológicas (*à la* Dosi, 1984) e de diversificação (*à la* Penrose, 1977), no âmbito das estratégias concorrenciais das firmas (ou dos agentes decisórios). O argumento central baseia-se na ação do mecanismo de busca e seleção proposto por Nelson & Winter (1982), no sentido de que a busca de inovações voltadas à diminuição dos problemas ambientais pode ser vista pelas firmas como oportunidade de criação de assimetrias em suas estratégias concorrenciais.

O terceiro item faz uma breve reflexão sobre a questão ambiental na agricultura, enfatizando a importância de se analisar as possíveis soluções a partir dos elementos concorrenciais schumpeterianos presentes no complexo elenco de agentes que geram e difundem tecnologia para a agricultura. O último item conclui o trabalho chamando a atenção para a incapacidade da análise convencional em tratar os fenômenos de irreversibilidade e incerteza, em contraste com a abordagem evolucionária.

## **1 Progresso técnico e meio ambiente: os limites da abordagem neoclássica**

### **1.1 Poluição e alocação de recursos**

Na abordagem neoclássica, a questão ambiental é tratada como um problema de alocação de bens entre agentes, em função de suas preferências. Além de fonte de matérias-primas (recursos naturais), o meio ambiente é fonte de “bens” ambientais, entendidos como bens públicos. Considerando que os bens públicos estão ao alcance de todos, os consumidores não revelam suas preferências através de lances no mercado, tendendo a agir como “*free-riders*”. Por sua vez, a inexistência de direitos de propriedade sobre estes bens faz com que seu consumo excessivo, por um dado agente econômico em detrimento de outro não gere direitos de compensação por parte deste último (externalidade

negativa). Portanto, admite-se a necessidade de intervenção do Estado para corrigir esta falha de mercado, através do cálculo de preços-sombra (custos de degradação) e do fazer valer estes preços.<sup>1</sup>

Com base nestes conceitos, o esquema analítico de tratamento da alocação de bens entre agentes em função de suas preferências é aplicado à problemática ambiental. Uma vez precificado, o uso de um determinado bem ambiental (poluição da água, por exemplo) por uma empresa passa a representar um custo. Por conseguinte, a alocação eficiente deste recurso, que define uma situação de equilíbrio, é determinada através de um processo de barganha entre o custo em poupá-lo (controle de efluentes) e seu preço na margem (custo de degradação). Se o custo em poupar uma unidade adicional de recurso for maior do que seu preço marginal, a decisão racional será de aumentar seu uso. E vice-versa. O ponto de equilíbrio, poluição ótima, define-se, portanto, quando o custo marginal de controle da poluição se iguala ao custo marginal da degradação ambiental.

Supõe-se, o que é óbvio, que se o valor atribuído ao meio ambiente aumenta com o tempo, deslocando a curva dos custos de degradação, passa a haver um estímulo para a introdução de novas tecnologias, que poupem o uso dos serviços de deposição de resíduos que consomem este bem. Estas inovações poupadoras de meio ambiente, por sua vez, representam sempre um custo, embora este possa ser reduzido pelo progresso tecnológico (deslocando a curva de custos de controle). Ou seja, a barganha entre custo de controle e custo da degradação permanece.<sup>2</sup>

---

(1) A subcorrente "coaseana" (Coase, 1960), dentro da abordagem neoclássica, argumenta que a intervenção do Estado é desnecessária, a partir do momento em que se definem direitos de propriedade para os bens ambientais. As soluções seriam negociadas livremente entre as partes envolvidas.

(2) Para eliminar a degradação seria preciso que os agentes econômicos dessem valor infinito aos bens ambientais. Assim, do ponto de vista estritamente teórico, este esquema analítico exclui a hipótese de geração de tecnologias limpas, isto é, que não geram resíduos poluidores (ou que utilizam os serviços ambientais de assimilação de resíduos dentro de seus limites).

Sob esta ótica, o problema ambiental tenderia a ser resolvido, uma vez que os preços dos serviços ambientais (custos da degradação) estejam corretamente avaliados e que os agentes produtivos sejam corretamente induzidos a levar em conta estes custos, através de políticas ambientais eficientes (principalmente através de mecanismos de mercado). Reconhece-se que a avaliação correta dos preços dos serviços ambientais pelos agentes econômicos, bem como a revelação destes valores (preferências), são complicadas. Mas considera-se, por uma questão de coerência teórica, que esta é a alternativa mais eficiente, por levar em conta o princípio da soberania do consumidor.

Este esquema analítico desconsidera fatos básicos da realidade ambiental, socioeconômica e institucional. A começar pelo próprio conceito de poluição ótima, que não leva em conta a dinâmica ecológica. Como observa Godard (1992), o fato de a capacidade de assimilação do meio ser ultrapassada em um dado período ( $t$ ) reduz a capacidade de assimilação no período seguinte, e assim sucessivamente até esta se esgotar. Podendo este esgotamento ser irreversível. Existe, portanto, uma assimetria básica entre as curvas de custos de produção e de custos de degradação. Esta assimetria decorre do fato de que, no caso da curva de custos de produção existe, uma compensação monetária realizada no mercado que permite a reprodução das condições de produção do aparelho produtivo. Isto não acontece no caso dos custos externos da degradação. Ocorre uma destruição líquida (devido à ultrapassagem da capacidade de assimilação) não compensada. O conceito de externalidade leva em conta apenas as conseqüências de segunda ordem desta destruição líquida, ou seja, aquelas que afetam as funções de utilidade de outros agentes. Neste sentido, o conceito de poluição ótima reflete uma incompreensão dos processos ecológicos fundamentais.

Em um plano mais geral, o esquema analítico neoclássico repousa sobre a suposição de que a realidade configura o que Godard (1993:150) chamou de universo estabilizado. Neste universo, os agentes econômicos têm uma percepção direta dos efeitos externos ou dos bens coletivos, bem

como suas preferências são bem informadas.<sup>3</sup> Somente os interesses ou preferências dos agentes presentes são diretamente pertinentes e estes dispõem de procedimentos sociais adequados para exprimir suas preferências: mercado, voto, manifestações e protestos, conflitos, etc. O conhecimento científico encontra-se estabilizado no que concerne aos problemas ambientais em foco: cadeias causais elucidadas, danos bem determinados, imputação de responsabilidades isenta de ambigüidade. Os fenômenos em causa são reversíveis: é possível, desse modo, esperar pelo desenvolvimento suficiente dos conhecimentos, de modo a tomar corretamente as decisões com base em uma análise de custo-benefício. Os conhecimentos científicos estabilizados constituem um mundo comum para todos os atores, antecedendo à ação. Assim, do ponto de vista das políticas públicas, o que é preciso fazer é, simplesmente, procurar corrigir as falhas do mercado em precificar os bens ambientais. Desse modo, as inovações induzidas pelos preços relativos serão eficientes, uma vez que estes passam a refletir a percepção, suposta correta e adequadamente revelada, dos agentes econômicos sobre a disponibilidade relativa de “bens ambientais”.

## 1.2 O modelo de inovações induzidas

A idéia do progresso técnico como uma variável dependente das forças econômicas levou um longo tempo para ser aceita pelo *mainstream* econômico.<sup>4</sup> Durante este período, o progresso técnico era tratado como

---

(3) Os agentes econômicos não têm, em geral, uma percepção clara da importância relativa dos diversos “bens ambientais”. Além disso, não é possível revelar e agregar corretamente as preferências individuais sobre os benefícios ambientais através de uma métrica monetária única, de modo a calcular o valor presente a partir da utilização de uma taxa de desconto. Existe, portanto, o risco de perdas irreversíveis de certos bens que podem ter conseqüências catastróficas. (Ver Bromley & Vatn, 1995).

(4) Esta idéia foi desenvolvida inicialmente por J. Hicks e publicada (*Theory of wages*) no início dos anos 30. Quase 30 anos depois, Fellner (1961) admitia que, em certos casos, o “processo de aprendizagem” (*learning process*) poderia induzir a firmas atomizadas a “notar” que ao nível

uma variável independente do processo de crescimento econômico. No entanto, as limitações desta concepção de progresso técnico ficam claras, quando se tenta “dinamizar” os modelos estáticos de crescimento de modo a levar em conta, por exemplo, a forma como a renda é distribuída em uma economia em crescimento. Este é o caso com o modelo Harrod/Domar. Neste, se a taxa de crescimento garantida (Harrod) ou necessária (Domar), dada pela taxa de investimento e pela relação capital/produto, for maior do que a taxa de crescimento natural, determinada pela taxa de crescimento demográfico e pelo progresso técnico, a participação do trabalho na renda nacional aumentará em detrimento do capital; e vice-versa. Descartada a hipótese malthusiana, o crescimento demográfico torna-se uma variável exógena ao modelo, ficando o mecanismo de regulação da distribuição de renda entre capital e trabalho por conta apenas do progresso técnico.

Entretanto, o mecanismo de ajuste baseado na concepção de função de produção neoclássica tradicional, onde a possibilidade de substituição entre capital e trabalho é contínua, implica conceber o capital como algo completamente maleável (*jellylike capital*, segundo a expressão de Joan Robinson), podendo incorporar instantaneamente novas técnicas que são escolhidas dentro de um leque de opções preexistentes, que oferece todas as combinações possíveis entre capital e trabalho, o que é uma ficção. A própria idéia de movimentos ao longo de uma função de produção, em direção às regiões previamente não exploradas, é também uma ficção teórica.<sup>5</sup> Além disso, a produtividade

---

macroeconômico a oferta de fatores de produção não é infinitamente elástica; desse modo, as firmas desenvolveriam uma “preferência” por inovações poupadoras do fator escasso.

(5) Rosenberg (1976) se pergunta em que sentido preciso seria conhecido um largo leque de possibilidades técnicas. Dado que a produção de conhecimentos é ela própria uma atividade custosa, porque razão se conheceriam alternativas técnicas que combinem fatores em proporções distintas do que aquela justificada pelos preços relativos em um dado momento? Ou então, porque em uma determinada sociedade onde o preço do capital é relativamente mais baixo do que aquele do trabalho, deveriam estar disponíveis informações detalhadas sobre técnicas de produção poupadoras de trabalho? Portanto, não passa de uma ficção a noção de uma isoquanta representando um largo leque de combinações possíveis entre fatores de produção.

marginal do capital tenderia a zero, o que não se coaduna com a realidade de constância relativa da distribuição de renda entre capital e trabalho.

O modelo de inovações induzidas de Hicks permitiria superar estas dificuldades, pois não se trata mais de deslocamento ao longo da função de produção, mas da própria função de produção. Um dos primeiros autores a desenvolver o modelo de inovações induzidas, Ahmad (1966), concebe uma curva de possibilidades de inovações (IPC), que contém todas as isoquantas alternativas disponíveis para o empresário. Esta curva de possibilidades de inovações, que tende a ser neutra, é definida a partir de fatores puramente técnicos (fundo de conhecimentos técnicos e científicos). Os fatores econômicos somente intervêm na escolha da isoquanta no interior da IPC. Quanto mais o trabalho se torna escasso, mais *labor-saving* tenderá a ser a isoquanta escolhida e vice-versa. Para Hayami & Ruttan (1985), este fundo de conhecimentos técnicos e científicos configura uma função de produção de muito longo prazo (meta-função de produção), algo equivalente a uma curva de possibilidades de inovações de longo prazo. As mudanças nos preços relativos induziriam um esforço de pesquisa, com base neste fundo tecnocientífico, no sentido do desenvolvimento de novas tecnologias poupadoras do fator escasso.

Este modelo de inovações induzidas pode ser questionado, entretanto, a partir de três ângulos de análise: do ponto de vista das características do processo inovativo; do ponto de vista da mudança de padrões tecnológicos; e do ponto de vista da peculiaridade do processo de tomada de decisões sob restrição ambiental. No que diz respeito às características do processo inovativo, como notam Nelson & Winter (1982:201-5), este modelo é pouco satisfatório à medida que supõe que inventar ou fazer pesquisa e desenvolver produtos é uma atividade cujo resultado pode ser predito nos mínimos detalhes. Esta concepção ignora ou trata mecanicamente as fontes e as conseqüências da inovação. Em nome da aderência formal aos cânones ortodoxos, abstraem-se de fenômenos como incerteza, ganhos e perdas transitórios, o caráter desbalanceado do progresso técnico, e a diversidade das características e estratégias das firmas. Ou seja, abstraem-se das características-chaves da dinâmica capitalista.

Usa-se um mesmo modelo de comportamento para explicar tanto o movimento ao longo da função de produção, devido ao aumento de um tipo de capital (instalações e equipamentos) através do investimento físico, como o deslocamento da função de produção pelo aumento de outra forma de capital (conhecimento) através do investimento em pesquisa e desenvolvimento. Não existe distinção entre operação de rotina e inovação. Não leva em conta também que o processo inovativo coloca agentes econômicos com opiniões diferentes sobre a melhor alternativa, face a incertezas não triviais, devendo, portanto, ser tratado como um processo envolto em profundas ambigüidades.<sup>6</sup> Em resumo, este modelo não leva em conta a incerteza associada às tentativas para inovar, o caráter público do conhecimento associado com os resultados destas tentativas e a diversidade de comportamento<sup>7</sup> e de resultados das firmas que é inerente a um mundo onde a inovação é importante.

A ortodoxia trata de forma ad hoc as respostas das firmas e da indústria como um todo às mudanças exógenas nas condições do mercado. Admite-se que possa haver “fricções” no processo de ajuste, de adaptação a uma nova situação. Mas supõe-se que a direção da resposta adaptativa é a mesma da direção da mudança nas constelações de maximização de lucro; e que o processo adaptativo converge em direção à nova constelação de equilíbrio. Estas suposições não são, na verdade, compatíveis com a ênfase retórica da ortodoxia sobre a validade única da abordagem maximizadora. No mínimo, estas suposições implicam sérios problemas analíticos, pois não há, a priori, nada que garanta que as

---

(6) Ambigüidades estas inexistentes se se consideram os pressupostos teóricos básicos da economia neoclássica: – as ações dos agentes (firmas) econômicos são maximizadoras de lucro, com base em um bem definido e exogenamente determinado conjunto de escolhas; – todas as possíveis contingências podem ser previstas e suas conseqüências avaliadas; – o agente econômico é racional, não havendo espaço para “distrações”, confusão, erro e persistência no erro, etc.

(7) As características e as condições prévias de cada firma determinam a distribuição de probabilidades de suas condições no período seguinte (ver Nelson & Winter, 1982:19).

respostas adaptativas converjam para o equilíbrio (Nelson & Winter, 1982).<sup>8</sup>

O espaço entre os estímulos para poupar o fator que se tornou mais caro e a resposta tecnológica a este problema, é tratado como um espaço cujo domínio não interessa à economia. Como aponta Rosenberg (1976:82,94), esta postura equivale a tratar este espaço como uma caixa preta científico-tecnológica, perdendo-se com isto a capacidade de dizer algo mais do que truísmos sobre a dinâmica de inovações.<sup>9</sup> É óbvio que os estímulos para inovar são sempre econômicos, em última instância, mas exatamente por serem de caráter difuso e geral eles não são capazes de explicar muito bem as características de uma seqüência particular, bem como o *timing* de uma determinada atividade inovativa. Tampouco é capaz de explicar a prevalência de tecnologias menos eficientes (Arthur, 1994). O que é importante saber é porque a resposta tecnológica à escassez de um dado fator de produção foi aquela e não outra, eventualmente até superior, o tempo da resposta ou então a permanência em caminhos conhecidos mas ineficientes.

No que se refere à mudança de padrões tecnológicos, a precariedade do modelo neoclássico de inovações induzidas fica ainda mais patente quando aplicada à problemática do meio ambiente. De modo geral, a restrição ambiental exige respostas que implicam mudanças de padrões tecnológicos, os quais não são, como é suposto, o resultado de eventos independentes, moldáveis facilmente pela disponibilidade relativa de fatores de produção. Pelo contrário, estes resultam, via de regra, da convergência de diversas trajetórias tecnológicas, cujo processo de difusão e ajuste resulta em ganhos (economias de escala, efeitos de aprendizado, efeitos de coordenação, e expectativas de adaptação) que se

---

(8) Ao contrário, como notam Dosi & Fabiani (1994), nos modelos evolucionários a pressuposição geral é de que as interações ocorrem fora do equilíbrio.

(9) Em sua crítica aos novos modelos de crescimento endógenos, Amabile (1994:41) reconhece os progressos alcançados no tratamento das fontes da inovação, mas nota que estes têm uma concepção linear de progresso técnico e negligenciam os efeitos de *feedback* entre as diferentes etapas, considerando uma fonte de mudança tecnológica de cada vez. Nesse sentido, a tecnologia nestes modelos permanece como uma "caixa preta".

auto-reforçam e tornam mais difíceis as mudanças<sup>10</sup> (*lock-in*). Desse modo, a resposta a uma determinada restrição ambiental pode também não ser adequada no sentido de evitar a tempo perdas irreversíveis, mesmo que os preços relativos dos bens ambientais, “corrigidos” ou não pelas políticas públicas, estejam sinalizando corretamente a direção da mudança.

Ou seja, a “sinalização” correta (até onde isto for possível) dos valores relativos dos bens ambientais pode ser uma condição necessária, mas certamente não é suficiente para criar sistematicamente condições para o surgimento de respostas tecnológicas adequadas. É necessário intervir também através de políticas setoriais específicas. Para tanto, é preciso conhecer as restrições existentes, tanto do lado da oferta como do lado da procura por novas tecnologias. Isto implica abrir a “caixa preta” científico-tecnológica e procurar conhecer quais as fontes principais dos mecanismos de auto-reforço, que são diferentes, segundo cada setor ou subsetor produtivo.

Finalmente, no que concerne à peculiaridade do processo de tomada de decisões sob restrição ambiental, é preciso ter claro que este ocorre em um universo controvertido. Como coloca Godard (1993:150), neste universo predomina a construção científica e social dos problemas sobre a percepção direta dos agentes; também a representação separada dos interesses das partes ausentes, os quais têm porta-vozes contraditórios, é questionada: gerações futuras, outros países, a própria natureza. O conhecimento científico é controvertido sobre aspectos essenciais do problema ambiental que interessam para a ação. As teorias científicas, as “visões de mundo e do futuro” tornam-se variáveis

---

(10) Segundo Arthur (1994:112-3), os mecanismos de auto-reforço possuem 4 propriedades: – Equilíbrios múltiplos: duas diferentes soluções assintóticas de mercado partilhado são possíveis. O resultado é indeterminado; não é único, nem previsível; – Possível ineficiência: se uma tecnologia é inerentemente melhor que outra, mas teve “má sorte” em ganhar aderentes no início, de modo que o resultado a longo prazo pode não ser o de melhor benefício possível (ex. VHS x Betamax); – *Lock-in*: uma dada solução é alcançada, torna-se difícil sair dela; – *Path dependence*: a história inicial de participação no mercado – a qual se deve em parte a pequenos eventos e circunstâncias casuais – pode determinar qual solução prevalecerá. Para um exemplo histórico, ver David (1985).

estratégicas, que originam novas formas de competição, sendo que o resultado final desta é a formação de comunidades “epistêmicas” e a fixação de convenções ambientais. Além disso, devido à irreversibilidade potencial e à magnitude dos problemas em jogo, certos agentes (atores) estimam que é preciso agir imediatamente, sem esperar a estabilização dos conhecimentos científicos.

Este quadro de profunda incerteza não implica necessariamente a falta de condições para que as decisões sejam tomadas com um mínimo de racionalidade. A situação de incerteza gera certas formas de comportamento coletivo, que fornecem uma base objetiva à fixação de regras de comportamento e à adoção de convenções ambientais. Diversos campos de atividade intervêm neste processo: científico, mediático, político-institucional, tecnológico e econômico. Estes diversos campos se interagem na definição de um dado risco ambiental: os cientistas intervêm na dinâmica política, os atores econômicos no terreno científico, etc.

As conclusões científicas tendem a ser instrumentalizadas pelas estratégias dos diversos atores em cena, incluindo, por vezes, os próprios cientistas. Toda tomada de posição científica passa a ser suspeita de esconder interesses específicos. Assim, a competição econômica em torno de produtos e tecnologias faz-se acompanhar de uma competição sobre as visões de mundo e as visões do futuro. O objetivo perseguido seria a constituição de uma comunidade “epistêmica”: uma rede de cientistas e especialistas que compartilham e fazem compartilhar um mesmo conjunto de idéias sobre a natureza dos problemas, as relações de causalidade em jogo, os esquemas de ação a promover e os valores a privilegiar para determinar a ação coletiva. Esta comunidade estaria em condições de exercer uma influência convergente e simultânea sobre um grande número de responsáveis públicos e de dirigentes de empresas (Godard, 1993:161).

A intervenção dos poderes públicos (seja através de instrumentos de controle e comando, seja através de instrumentos econômicos) fixa indiretamente, por convenção, uma determinada visão de mundo, da qual dependerá o modo como serão reorganizados e estabilizados os quadros institucionais e tecnológicos que modelam os espaços econômicos e os

mercados. Daí o interesse dos agentes econômicos em influenciar esta visão, de modo que esta lhes seja favorável. Em resumo, o que é importante reter desta abordagem, proposta por Godard, é a idéia de uma articulação íntima entre a dinâmica das representações científicas do meio ambiente, a seleção das bases tecnológicas e a estruturação dos espaços econômicos de mercado. Esta articulação resulta em convenções ambientais que, por sua vez, dão origem a regimes de regulação e a estruturas de incitações econômicas, que vão ter um impacto decisivo sobre a dinâmica empresarial e tecnológica.

## **2 A questão ambiental em uma perspectiva evolucionária**

Vimos até agora como a questão ambiental, assim como a dinâmica de inovações induzidas, é tratada na abordagem neoclássica e quais suas limitações. Pretendemos neste tópico, aprofundar a análise da dinâmica de inovações sob restrição ambiental em uma perspectiva evolucionária. Para tanto, desenvolveremos o argumento em dois momentos: o primeiro apresenta elementos conceituais básicos sobre o comportamento estratégico da firma em perspectiva dinâmica; o segundo aplica estes conceitos à problemática ambiental.

### **2.1 Estratégias, ambiente concorrencial e oportunidades tecnológicas**

Na argumentação que se segue, utilizaremos dois enfoques complementares, ambos de natureza schumpeteriana e evolucionária: a dinâmica de constituição dos ambientes concorrenciais, e a noção de estratégia de firmas e grupos, tomada pelo lado da formação desigual de competências.

Como se verá adiante, esses dois enfoques não apenas são complementares, mas também indissociáveis, para explicar aquilo que nos parece o cerne da questão: considerações de ordem ambiental por parte dos agentes econômicos tendem a fazer parte de suas estratégias inovativas na exata medida em que signifiquem oportunidades de criação

de competências para a busca de vantagens competitivas. O conceito central sobre o qual esta idéia está baseada é o do mecanismo evolucionário de busca e seleção proposto por Nelson & Winter (1982). Adicionalmente, trabalha-se com as noções de trajetória tecnológica (Nelson & Winter, 1982; Dosi, 1984) e de heterogeneidades interindustrial (Pavitt, 1984; Dosi et al., 1990; Bell & Pavitt, 1993) e intra-industrial – ou das firmas – (Penrose, 1971; Chandler, 1962; Teece et al., 1992; Dosi & Malerba, 1995).

Começando pela noção de busca e seleção, Nelson & Winter (1982), inspirados na concepção concorrencial schumpeteriana, segundo a qual os agentes econômicos procuram a geração de assimetrias que lhes confirmam vantagens competitivas, representadas pelo sobrelucro – o que seria o motor da dinâmica capitalista –, propõem um modelo evolucionário microeconômico baseado em dois momentos fundamentais: a busca por inovações – estas também consideradas no sentido schumpeteriano –, e a seleção pelo ambiente. Os agentes econômicos buscam objetivamente incorporar inovações (promover mutações), em um processo distinto daquele em que a inovação seria o resultado da escolha racional de tecnologias. Trata-se, antes, de uma ação que se processa em um ambiente de incerteza sobre os resultados; parcialmente dependente das competências adquiridas pela firma (cumulatividade); e parcialmente determinado pela natureza da tecnologia envolvida. Esse mecanismo – que é elemento constitutivo do comportamento dos agentes – leva ao estabelecimento de rotinas. As rotinas de busca não devem ser entendidas, entretanto, como lineares. Ou seja, elas incorporam, por definição, mutações que alteram permanentemente sua condição inicial: as competências são cumulativas e uma vez tomada uma decisão, todo o conjunto de opções é imediatamente modificado (irreversibilidade).

O sancionamento de uma inovação depende de uma instância logicamente separada do processo de busca, a seleção.<sup>11</sup> Considera-se, portanto, que o processo inovativo só possa ser completado após uma

---

(11) Logicamente separada mas ao mesmo tempo indissociável da busca, dado que o processo de inovação compreende, necessariamente, a ação dos dois mecanismos.

instância seletiva que, grosso modo, pode ser identificada com o mercado. É essa separação lógica, determinada pela incerteza intrínseca do processo decisório, que revela o caráter irreversível, cumulativo, tateante e estratégico das rotinas de busca. Por seu turno, as rotinas conferem ordem ao processo de busca que, por isso, não é aleatório (Nelson & Winter, 1982:249).<sup>12</sup>

Assim, na construção das rotinas de busca, leva-se sempre em consideração dois aspectos: aquilo que se tem como competência e que pode ser explorado como vantagem competitiva, e aquilo que o ambiente seletivo indica como relevante. Um determinado tipo de inovação pode ser buscado, ora explorando-se as oportunidades oferecidas pela competência existente, ora observando-se as mudanças perceptíveis no ambiente seletivo. Na realidade, esses dois elementos estão sempre presentes: por inédita que seja uma determinada inovação para uma firma (empreendida em razão de alterações do ambiente seletivo), a competência acumulada é sempre levada em conta. Da mesma forma, por mais que uma inovação se desdobre a partir da competência existente, ela sempre estará referida às condições reinantes no ambiente seletivo.

Uma decorrência deste enfoque é que os níveis de competência são específicos à firma, não completamente transferíveis (principalmente em razão do caráter tácito do conhecimento – Rosenberg, 1982; Dosi, 1984; Callon, 1994) e não definidos por comportamento alocacional para a maximização dos lucros no curto prazo. Destarte, história e estratégia das firmas importam para explicar o comportamento microeconômico, bem como as transformações dos respectivos ambientes concorrenciais.

O entendimento do comportamento das firmas baseado nas suas estratégias, competências e recursos remete, segundo Teece et al. (1992), a pelo menos três conjuntos de enfoques. O primeiro, originado na visão de estrutura-conduta-desempenho da organização industrial, é o desenvolvido por Porter (1995), cuja noção de “forças competitivas”

---

(12) Como apontam Nelson & Winter (1982:226 e segs.), essa é uma formulação geral, que pode incorporar elementos muito diferentes para cada situação, como por exemplo, entre inovações em produto e em processo, entre mercados mais ou menos inovativos, etc.

contém “uma lógica particular sobre as fontes competitivas e a natureza do processo estratégico” (Teece et al., 1992:4). Neste *approach*, a estrutura competitiva das indústrias determinaria fortemente o comportamento estratégico das firmas. Nas palavras de Porter (1995:3), “o primeiro determinante fundamental da rentabilidade de uma empresa é a atratividade da indústria. A estratégia competitiva deve surgir de uma compreensão sofisticada das regras da concorrência que determinam a atratividade de uma indústria”.<sup>13</sup>

O segundo conjunto de enfoques centra-se na previsão do comportamento estratégico, a partir da interação entre firmas rivais, ou seja, também no ambiente competitivo. Este *approach* utiliza-se do instrumental da Teoria dos jogos e interpreta as ações estratégicas dos competidores, uns em relação aos outros. O terceiro conjunto de enfoques refere-se ao enfoque dos recursos ou competências das firmas, no qual todas as firmas apresentam vantagens e limitações que as tornam específicas. “Assim, o que uma firma pode fazer não é somente função das oportunidades com as quais se defronta; depende também do que ela é capaz de reunir em termos financeiros, de produção e de *marketing*” (Teece et al., 1992:9). Este último enfoque é tratado por um conjunto heterogêneo de autores (Penrose, 1959; Williamson, 1985) que têm em comum priorizar as estratégias de exploração das capacidades - específicas - existentes nas firmas.

Os dois primeiros conjuntos, Teece et al. (1992) chamam de “modelos de estratégia” e, o terceiro, de “modelo de estratégia, enfatizando a eficiência”. Esta distinção vem a propósito de mostrar a importância de se analisar o comportamento das firmas sob uma ótica que privilegie suas especificidades, suas dotações particulares, tanto quanto a

---

(13) Na verdade, apesar desse indexador central, Porter avalia o comportamento estratégico das firmas sob uma perspectiva de fortes graus de liberdade. A noção de “cadeias de valores” incorpora o sentido da diversidade entre firmas, inclusive dentro de uma mesma indústria, explicando diferentes níveis de competência. “Embora empresas de uma mesma indústria possam ter cadeias similares, as cadeias de valores dos concorrentes frequentemente diferem (...). As diferenças entre cadeias de valores concorrentes são uma fonte básica de vantagem competitiva” (Porter, 1995:33 e segs).

relação disto com o ambiente competitivo. Nesta direção, os dois primeiros conjuntos de enfoques falhariam por entender a formação de competências como função da estrutura previamente existente (primeiro caso), ou como criação de capacidade de avaliar as ações dos concorrentes para empreender as suas estratégias (segundo caso).

É no espaço desse terceiro conjunto que esses autores - assim como outros como Dosi & Malerba (1995) - vêm defendendo a perspectiva de explorar a noção das dotações das firmas, destacando não apenas a exploração das competências existentes, mas recuperando a idéia de criação e diversificação de novas dotações (Penrose, 1972). Firmas desenvolvem competências, estabelecem *core competences* e criam competências distintas, ou seja, têm “capacidade para renovar, aumentar e adaptar suas *core competences* ao longo do tempo” (Teece et al., 1992:18). É precisamente o conjunto de atividades que uma firma pode manejar melhor que outras que lhe confere competências distintas: habilidades específicas, ativos complementares (Teece, 1986) e rotinas organizacionais, conferem-lhe especificidade nos mercados, tanto inter como intra-indústrias. “Uma firma se torna superior em um determinado domínio tecnológico porque (...) aloca recursos para projetos mais promissores, aproveita experiências de projetos passados, promove recursos humanos, integra elementos novos de fontes externas e conduz sistematicamente atividades de solução de problemas com aquela tecnologia” (Teece et al., 1992:22-3).<sup>14</sup>

A aprendizagem é o elemento-chave deste processo de acumulação de competências em interação com o ambiente. Dosi & Orsenigo (1988) e Dosi & Malerba (1995) enfatizam que o aprendizado é

---

(14) Essa abordagem é nitidamente tributária de Penrose. Em seu livro clássico “A teoria do crescimento da firma”, a autora afirma que a busca por diversificação e novas oportunidades não ocorre necessariamente porque os mercados existentes tornaram-se menos lucrativos, mas também pelo surgimento de novas oportunidades. “Como temos visto, novas oportunidades estão relacionadas não somente a mudanças nos preços, preferências ou outras condições de mercado, mas também a tipos especiais de serviços produtivos e conhecimento desenvolvidos internamente à firma” (Penrose, 1972: 105).

tão mais eficiente em criar *gaps* de competência,<sup>15</sup> quanto melhor for a combinação entre exploração das capacidades internas, aproveitamento das competências externas e criação de novas dotações.<sup>16</sup> As mudanças de rotinas da firma em resposta às mudanças no ambiente seletivo vão se dar de diferentes formas, basicamente em razão das diferentes competências que as qualificam. As firmas que sobrevivem sob ambientes em transformação acelerada são aquelas normalmente capazes de incorporar novas linhas de aprendizado e de implementá-las competitivamente. Essa capacidade de adaptação e diversificação é, como na teoria evolutiva, essencial nos períodos de intensa mudança institucional e tecnológica. A ação antecipadora de firmas, procurando explorar novas capacidades, criando fortes assimetrias no interior de uma indústria é normalmente um acelerador (quando não o próprio introdutor) das transformações do ambiente seletivo. Na verdade, há uma forte interação entre busca e seleção que estabelece um movimento de mútua causalidade.

É importante, nesse ponto, discutir brevemente as noções de oportunidade de diversificação (Penrose, 1972) e de oportunidade tecnológica (Dosi, 1984). Para Penrose, a contínua criação de capacidades (recursos) no interior da firma, mais ou menos próximas ao seu principal produto ou serviço, é a base de sua habilidade em competir e crescer. “A contínua transformação em serviços produtivos e conhecimento no interior de uma firma, juntamente com a contínua mudança das condições externas, coloca as firmas frente a contínuas transformações nas oportunidades produtivas” (Penrose, 1972:150). Diversificação pode ocorrer tanto em resposta a oportunidades específicas, como para atender demandas localizadas, ou ainda como uma política geral da firma para o

---

(15) *Gaps* de competência não se resumem a *gaps* de informação. Mesmo contando com as mesmas condições iniciais de informação, firmas exibem *gaps* de competência, devido ao caráter tácito do conhecimento, à cumulatividade preexistente e à natureza da tecnologia em interação com o status do aprendizado (Dosi & Malerba, 1995).

(16) O processo de aprendizado, apesar de específico às firmas ou grupos, envolve “capacidades tecnológicas de aplicação coletiva” (Canuto, 1992:20). Estas capacidades estão referidas às relações entre firmas, entre estas e o aparelho produtivo como um todo e com outros loci de competência, como instituições públicas de ensino e pesquisa e os próprios usuários, os quais, como mostra Lundvall (1988:352-3), influenciam na definição da direção da atividade de P&D.

crescimento. Em qualquer caso, é a expectativa do lucro ou de uma vantagem competitiva no futuro que determina a ação estratégica.

A noção de oportunidade tecnológica desenvolvida por Dosi (1984) é semelhante. O autor entende a oportunidade tecnológica como o elemento que, ao lado dos conceitos de apropriabilidade e de cumulatividade, define o caráter inovativo de um ambiente concorrencial. Assim como Penrose, o autor, baseado na concepção Schumpeteriana de geração de assimetrias, entende que as estruturas industriais existentes são o resultado do aproveitamento de inovações passadas, de oportunidades tecnológicas passadas e graus de apropriabilidade passados. Em outras palavras, “a estrutura de mercado tem de ser tratada como uma variável endógena” (Dosi, 1984: 93).<sup>17</sup>

## **2.2 Meio ambiente e oportunidade tecnológica**

A primeira pergunta que se deve fazer é: quais são as relações entre inovação tecnológica e meio ambiente dentro de um cenário de fortes mudanças nos fatores de “pressão de seleção”? Complementarmente, deve-se questionar em que medida as demandas de natureza ambiental (de ordem social, tecnológica, econômica) mudam as agendas de busca por inovações dos agentes econômicos. Para responder a essas perguntas, é importante ter em mente que a questão ambiental na atualidade assumiu uma abrangência inédita, não podendo mais ser eludida, como já ocorreu em vários momentos da história recente.<sup>18</sup> Embora ainda eivada de aspectos caricaturais e com muitas proposições alternativas e contraditórias sobre como formular o problema e propor soluções (seja em âmbito planetário, regional, nacional ou local), a

---

(17) Claro está que ambos os enfoques não se restringem a uma análise de custo de oportunidade de ordem financeira, mas sim de ordem estratégica. Na perspectiva de Dosi, as oportunidades estão ligadas ao que o paradigma tecnológico vigente define como relevante, e a decisão de aproveitá-las pode ou não estar baseada em um cálculo simples de custo de oportunidade.

(18) Sobre os movimentos ambientalistas e as ondas de pessimismo em relação ao futuro do planeta, ver Barnet & Morse (1963); Maddox (1971) e Pepper (1993).

consciência ambiental assume proporções inéditas e tem caráter irreversível, como problema socialmente legitimado. Pepper (1993) distingue o ambientalismo de hoje dos movimentos anteriores, por ser um fenômeno de massas formado através da mídia. Mais que isso, trata-se de uma questão em franco processo de institucionalização.

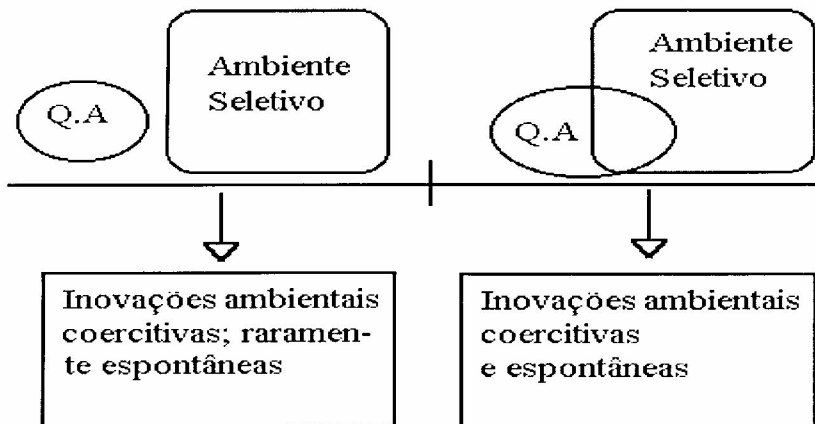
Essa característica histórica impõe mudanças ao comportamento dos agentes econômicos. Até aqui tratada como uma externalidade, uma falha de mercado que pode ser corrigida através das precificação dos recursos, a questão ambiental tende a “tornar-se uma condição do desenvolvimento industrial moderno” (Godard, 1993:147). É preciso, pois, interpretá-la como um fator de seleção nos ambientes concorrenciais e, dessa forma, internalizá-la na análise econômica. Em outras palavras, a partir do momento em que a busca por inovações passa a se dar em um ambiente seletivo, que tem como um de seus delimitadores a questão ambiental, não há porque imaginar que esse processo de busca não vá levar em conta, objetivamente, a exploração de trajetórias tecnológicas ligadas a esse “constrangimento” dos ambientes seletivos. E isto vale tanto para inovações *end of pipe*, como para a geração de tecnologias limpas.<sup>19</sup> A lógica interativa entre meio ambiente e inovação tecnológica, nessa perspectiva, é uma só, independentemente de se tratar de mudanças para reduzir a poluição ou a depleção.<sup>20</sup> A Figura 1 representa, esquematicamente, a idéia da incorporação da questão ambiental pelos ambientes seletivos e os efeitos em termos da dinâmica de inovações. Em um primeiro momento, o processo inovativo depende, principalmente, de medidas coercitivas, imputadoras de custos, e só eventualmente de forma espontânea, como exploração de oportunidades. Em um segundo momento, ambas as formas estão presentes, em proporções tais, que tornam muito mais complexas as necessidades de políticas.

---

(19) Este raciocínio pode-se também aplicar à gestão da exploração dos recursos naturais.

(20) Kemp & Soete (1992) afirmam que “inovações para controle de poluição diferem fundamentalmente de outros tipos de inovação”, porque teriam efeitos negativos sobre a competitividade e a lucratividade das firmas (Kemp & Soete, 1992: 253). Como vimos, isto seria teoricamente incompatível com uma visão evolucionária do progresso técnico.

Figura 1  
Representação esquemática da incorporação da questão ambiental (Q.A) no ambiente seletivo



É preciso ter claro que a incorporação da questão ambiental pelo ambiente econômico seletivo é tendencial. Ou seja, descarta-se, por princípio, a hipótese de que o ambiente seletivo venha a compreender a questão ambiental em toda sua extensão. O motivo fundamental que dá suporte a essa observação remete à lógica de formação dos ambientes econômicos seletivos, pois estes, por mais permeáveis que sejam às pressões de cunho ambiental, têm preceitos (de ordem econômica) que estabelecem uma hierarquia nas diversas pressões que neles atuam (que como se sabe não são somente, nem prioritariamente, de ordem ecológica).<sup>21</sup> A incorporação completa da questão ambiental, quer dizer, a observação de toda a complexidade dos problemas ambientais pelos agentes econômicos seria virtualmente incompatível com o modo de produção capitalista, a não ser que a atividade econômica passe a se sujeitar, em primeira instância, às restrições de ordem ecológica.

(21) No próximo item, discutiremos esses aspectos para o caso agrícola, evidenciando a superação histórica da restrição ambiental pela econômica na determinação da forma de produzir.

Neste sentido, afirmar que o interesse pela busca de inovações, bem como a construção de trajetórias que atendam à questão ambiental é um resultado lógico da incorporação desta pelos ambientes seletivos, não significa afirmar que, *coeteris paribus*, o problema ambiental se resolveria pela geração de um círculo virtuoso: quanto maior sua pressão de seleção, mais os agentes responderiam e melhores seriam os resultados para o meio ambiente. Destarte, o primeiro ponto a ser analisado é o da influência relativa da variável “pressão ambiental” na formação dos ambientes seletivos (concorrenciais).

Antes porém, é preciso ter claro que estes ambientes são universos dinâmicos, cujas transformações são influenciadas pela própria ação dos indivíduos que neles habitam. Assim, a constituição e a institucionalização das pressões ambientais não se dão apenas pela difusão de uma hipotética consciência ecológica; primeiro, porque sequer existe um contorno claro e uma diretriz predominante do que vem a ser essa consciência (ela é conservacionista? ela leva em conta demandas sociais de outra natureza? ela se formula pela idéia de sustentabilidade?); segundo, porque no decorrer da “conscientização”, as condições e referências são alteradas, impondo soluções de continuidade ao processo de difusão; terceiro, porque os indivíduos (agentes econômicos) não estão uniformemente submetidos às mesmas pressões de seleção.

Voltando à questão acima, da qualificação da pressão de seleção, propomos dois importantes desdobramentos para avançar no grau de realismo do raciocínio e também na sua formulação prática. Primeiramente, os ambientes seletivos devem ser vistos segundo quatro âmbitos de especificidades: dos países (*country specific*), dos setores (*sectoral specific*), das tecnologias (*technology specific*) e dos ativos (*asset specific*). O segundo desdobramento refere-se ao *timing* de incorporação.

Do primeiro ponto decorre que os ambientes seletivos não são os mesmos para todos, ao contrário, os agentes econômicos percebem as pressões de formas distintas, segundo seu caso particular. A importância das pressões ambientais diferem nos países, são desiguais para os setores, assumem diferenças segundo o tipo de tecnologia e variam imensamente

de acordo com o tipo de produto (alimentos, bens de consumo duráveis, energia, etc.).

O grau de percepção do problema, assim como a criação de instituições formais e tácitas que regulamentam o binômio produção/degradação, não apenas variam enormemente segundo as especificidades acima apontadas, mas são função de um certo *timing*, cuja natureza é também, em grande parte, decorrente das especificidades (problemas mais ou menos visíveis, mais ou menos prementes), bem como dos avanços na formulação dos problemas e na indicação de soluções.<sup>22</sup> Assim, a interpretação que vimos dando aqui não significa que a ação dos agentes econômicos, na busca por inovações mais amigáveis do ponto de vista dos impactos ambientais, levará à solução do problema. É portanto fundamental interferir na gestão do *timing*, tendo em conta os vários níveis de especificidades. Como os processos são irreversíveis e as pressões variáveis, o *laissez-faire* dificilmente deixará de provocar o agravamento da degradação ambiental.

A gestão dos ambientes seletivos e dos mecanismos de busca é, portanto, um fator chave para a geração de inovações e para a constituição de trajetórias tecnológicas que incorporem a problemática ambiental (sempre se observando as especificidades e o *timing*). Em termos de políticas, isto significa administrar a incorporação desta problemática ao processo decisório dos agentes econômicos: instituir regras e convenções, gerindo a interface coerção/oportunidade.

Do ponto de vista desta incorporação pelos agentes econômicos, trata-se da internalização de algo até agora percebido como uma externalidade. Isto, como vimos, pode se dar tanto pelo lado coercitivo, como pelo lado espontâneo. Tanto em um caminho como no outro, há

---

(22) Referímo-nos aqui às mudanças que estão em curso sobre a conceituação da problemática ambiental. A heterogeneidade existente no tratamento da questão, que vai desde opções filosóficas de transformação radical no modo de vida das sociedades modernas, até instrumentos mais práticos de definição de medidas de poluição e de depleção ótimas, reflete a indefinição sobre como tratar a questão ambiental. A evolução dos conceitos, das referências e da própria compreensão dos fenômenos de ordem ambiental tende a alterar a forma e o grau de sua presença nos ambientes seletivos.

necessidade de se gerir o processo: a coerção, por suposto, dá-se de fora para dentro e vem sendo largamente empregada na forma de taxas, permissões para poluir, multas, etc.; a espontânea é, como dissemos, dependente de um processo de legitimação tão complexo e heterogêneo que, se deixada à própria sorte, dificilmente engendrará um círculo virtuoso.

Ambos os mecanismos – coercitivo e espontâneo – têm efeitos sobre as estratégias das firmas; ambos interferem nos mecanismos de busca e seleção. A importância relativa de cada um será função das especificidades apontadas, do *timing* e da legitimação do problema na sociedade. Haverá casos para os quais a necessidade de imputar custos através de medidas regulatórias (internalização institucional) é fundamental para, no curto prazo, reduzir os efeitos deletérios sobre o meio ambiente, como em relação aos problemas globais (efeito estufa, camada de ozônio, etc.), que não afetam perceptivelmente os agentes econômicos. Para outros, um processo de regulamentação de mais longo prazo (nem por isso menos efetivo) pode ter melhores efeitos. O *timing*, como dissemos, é aqui fundamental. O controle da emissão de gases por veículos automotivos dá uma boa idéia dessa importância: legislações mais restritivas impuseram soluções de curto prazo que acabaram postergando soluções de maior alcance. Assim, a introdução do catalisador trouxe melhorias nos níveis de emissão, reduzindo, ao mesmo tempo, a busca por novas concepções de motores.

Já a questão da legitimidade está diretamente relacionada com a internalização espontânea da questão ambiental pelos agentes. A ameaça de uma contestação da posição econômica de uma dada empresa, por problemas ambientais, tem eficácia reguladora. Existe uma exigência de legitimidade, perante o público, de atividades e organizações econômicas. O direito das empresas de exercer certas atividades ou colocar certos produtos no mercado pode ser contestado pela opinião pública. Ter em conta a opinião pública, por sua vez, pode ser visto como uma restrição (custo) ou como uma oportunidade tecnológica. No primeiro caso, a empresa é levada a antecipar uma possível contestação de sua atividade, tomando as medidas preventivas devidas com base em uma análise de custo-benefício. No segundo caso, a empresa procura tirar partido do que

ela considera como uma tendência da opinião pública, lançando, por exemplo, novos produtos mais “limpos”, do ponto de vista ambiental.

É particularmente importante ressaltar que “o modelo de legitimidade contestável pode dar nascimento a uma exploração de oportunidades de mercado por concorrentes, fazendo da internalização uma arma para segmentar e desenvolver o mercado” (Godard, 1993:155). Em síntese, desde que “a opinião pública e as autoridades manifestem uma atitude geral de vigilância em relação aos problemas ambientais, os mecanismos de internalização baseados nesse princípio de legitimidade contestável poderão, no futuro, jogar um papel significativo para tudo que diga respeito à qualidade dos produtos para os consumidores” (Godard, 1993:156).

Uma empresa pode se antecipar a qualquer legislação ou imposição externa e resolver buscar e incorporar uma inovação com a qual ela imagine poder conquistar uma vantagem competitiva. Se há por parte da firma uma expectativa de resposta positiva de consumo a uma inovação que explore o lado ecológico da preferência do consumidor, então a firma pode estar desenvolvendo uma certa trajetória tecnológica, amigável do ponto de vista ambiental, por uma determinação essencialmente endógena.

O aproveitamento das demandas ambientais como oportunidade tecnológica é reforçado pelo momento de transformações dos padrões tecnológico e de consumo. Novas tecnologias ampliam o espectro das oportunidades, assim como novas demandas alimentam ainda mais esse processo. A especialização flexível que hoje caracteriza a produção em alguns setores, cuja maior consequência é a diversificação dos mercados, abre espaço para a internalização da questão ambiental como fonte de diversificação. De automóveis a alimentos, passando por papel e celulose e produtos de química fina, demonstrar características positivas em relação aos impactos ambientais passa a ser um elemento de concorrência cada vez mais importante.

Assim, tanto o mecanismo coercitivo como o de internalização espontânea devem fazer parte da gestão da problemática ambiental. Dar corpo institucional ao problema, sensibilizar o consumidor e fomentar a

infra-estrutura de pesquisa são medidas de política que tocam os mecanismos de busca e de seleção. E não poderia ser diferente. Optar apenas por políticas coercitivas, sem o necessário apoio à capacitação tecnológica para tecnologias limpas e conservadoras dos recursos, é optar por medidas paliativas que não vão ao âmago da questão: a cumulatividade e a irreversibilidade dos danos.

E não apenas os dois modelos devem fazer parte do rol das políticas, como também deve ser observada sua interdependência. Medidas coercitivas interferem no processo inovativo, assim como este recoloca as referências daquelas. “A dimensão temporal que precede a decisão no processo de competição é assim crucial para determinar seu conteúdo. Se este período é curto, as decisões confirmarão as tecnologias clássicas e bloquearão o desenvolvimento de inovações que demandem maior tempo para alcançar um estado operacional” (Godard, 1993:163). A gestão do problema, assim, coloca-se tanto do lado de o quê fazer, como de quando fazer. A institucionalização (criação de regras, convenções, leis, etc.) deve ser administrada para evitar uma reação tardia ou uma imposição prematura (Godard, 1993:167).

### **3 Inovação e meio ambiente na produção agrícola**

No setor agrícola, o regime tecnológico dominante evoluiu em resposta à substituição de uma restrição ambiental por uma restrição comercial e de gestão do processo produtivo. Até a revolução industrial, o esforço tecnológico para aumentar o rendimento da terra e a produtividade do trabalho agrícola estava condicionado pela disponibilidade de recursos dentro do espaço agrícola, dada a inexistência de fontes exógenas de nutrientes e energia. O sistema de rotações de tipo *Norfolk*, que se difundiu na Inglaterra no século XVIII e no Continente no século XIX, representa o exemplo maior, no Ocidente, de sistema de produção que maximiza o uso dos recursos disponíveis no espaço agrícola. Trata-se de um sistema complexo, envolvendo rotações de culturas integradas à criação animal, onde as complementaridades e

simbioses presentes na natureza são manejadas inteligentemente, com o objetivo de elevar os rendimentos da terra e a produtividade de trabalho.<sup>23</sup>

Com o advento da revolução industrial, a disponibilidade de fontes exógenas de nutrientes e energia torna tecnicamente possível superar os limites naturais, impostos pela disponibilidade destes recursos dentro do espaço agrícola. Este tipo de restrição ambiental cede lugar, então, a uma restrição comercial e de gestão do processo produtivo. A restrição comercial está ligada ao maior ganho a ser obtido, produzindo apenas os produtos mais rentáveis, desconsiderando-se as exigências agrônômicas dos sistemas de produção integrados como o sistema de tipo *Norfolk* sobre o que plantar em cada momento. A restrição de gestão do processo produtivo refere-se aos problemas de controle e organização do processo de trabalho agrícola. Estes se tornam mais agudos nas unidades de produção que contam com trabalho assalariado à medida que se expande as oportunidades de emprego no setor urbano-industrial. Estas duas restrições induzem à expansão da monocultura, prática até então restrita a regiões especiais, devido à restrição ambiental.<sup>24</sup> A expansão da monocultura, por sua vez, desencadeia uma série de desequilíbrios ecológicos.

Estes desequilíbrios decorrem do fato de que na natureza diversidade é sinônimo de estabilidade. Quanto mais simplificado for um

---

(23) O sistema *Norfolk* combina, em rotação quadrienal, 3 tipos de plantas: raízes e tubérculos, cereais (trigo), leguminosas, cereais (centeio/aveia, cevada). A lógica agrônômica da rotação é fazer suceder culturas que são complementares do ponto de vista ecológico (exigências em nutrientes, sistemas radiculares, etc.). À lógica agrônômica se combina também a lógica econômica. Assim, as raízes e tubérculos iniciam a rotação, não somente porque são bons antecedentes para o trigo, mas também porque resistem a grandes doses de adubos orgânicos, o que permite concentrar a adubação em uma única parcela, poupando um tempo de trabalho significativo. A leguminosa, após o trigo, ajuda a restaurar o nitrogênio (o trigo é exigente deste tipo de nutriente) consumido, fixando-o a partir da atmosfera, além de controlar ervas daninhas. A cultura de cereal, que lhe sucede, vai se beneficiar destas vantagens proporcionadas pelas leguminosas. As culturas forrageiras (raízes/tubérculos e leguminosas) alimentam o gado, que fornece o adubo orgânico. Para uma análise da evolução histórica deste sistema, ver Romeiro (1990).

(24) Nestas regiões, os solos são profundos e bem estruturados, como os famosos *Chernozem* da Ucrânia, permitindo o cultivo sucessivo de uma mesma cultura durante muitos anos, sem degradar sua estrutura física.

determinado ecossistema, maior a necessidade de fontes exógenas de energia para manter o equilíbrio. Um ecossistema agrícola implica forçosamente a simplificação do ecossistema original. Por esta razão, é necessário que o homem intervenha permanentemente para mantê-lo estável. Contudo, esta intervenção deve ser feita de acordo com as próprias leis da natureza, através da rotação de culturas. Esta prática é um notável meio de manutenção da estabilidade do ecossistema agrícola. Além de reduzir drasticamente o risco de infestação de pragas na cobertura vegetal, as rotações contribuem eficazmente para a manutenção de uma boa estrutura física do solo. O estado do solo em determinado momento resulta de sua história cultural. E as rotações de cultura têm por objetivo primordial modelar esta história em um sentido favorável, isto é, no sentido de favorecer as condições de abastecimento de água e nutrientes para as plantas, bem como no de manter a fertilidade do solo a longo prazo (ver Sebillotte & Bourgeois, 1978).

Nos sistemas agrícolas simplificados, sobretudo na monocultura de cereais, os fatores desestabilizadores ganham força e obrigam o agricultor a recorrer a técnicas intensivas em energia para manter as condições favoráveis ao desenvolvimento dos vegetais.<sup>25</sup> Entretanto, estas soluções técnicas não buscam eliminar as causas do desequilíbrio, mas apenas contornar seus efeitos sobre os rendimentos. Pode-se dizer que as práticas agrícolas, ditas modernas, repousam cada vez mais na capacidade de moldar uma determinada parcela do solo, para em seguida refazê-la, através de uma diversificada panóplia de possantes meios mecânicos e químicos, e implantar uma outra monocultura sem se importar se o efeito da cultura precedente é desfavorável ou não (ver Sebillotte, 1982). A eficácia inicial destes meios químicos e mecânicos tornou a grande maioria dos especialistas extremamente otimista, levando-a a supor que

---

(25) Gabel (1979:94) tem razão quando afirma que "o trabalho realizado pela diversidade ou complexidade do ecossistema é substituído pelo combustível fóssil no moderno sistema alimentar".

os agricultores modernos não mais teriam que se submeter aos princípios básicos da agricultura tradicional, especialmente a rotação de culturas.<sup>26</sup>

Os problemas ecológicos causados pela monocultura configuram importantes mecanismos indutores de progresso técnico na agricultura, contribuindo de maneira decisiva no direcionamento e coordenação das diversas trajetórias tecnológicas que convergiram para definir o chamado “pacote” tecnológico da agricultura moderna, de extraordinária eficiência tecno-econômica. Pode-se dizer que a difusão deste regime tecnológico beneficiou-se de uma composição sinérgica de rendimentos crescentes: alta eficácia biológica na aplicação de insumos químicos aliada a ganhos de escala no uso de equipamentos mecânicos e na indústria de insumos e equipamentos e a transferências tecnológicas (especialmente importante foi o esforço de guerra para a indústria química).

Nas duas últimas décadas, entretanto, este padrão tecnológico de modernização agrícola vem sendo questionado por razões de ordem ecológica e econômica. Os efeitos cumulativos dos desequilíbrios ecológicos causados por estas práticas tornaram-se progressivamente mais evidentes, mobilizando a opinião pública, ao mesmo tempo que reduziam a eficácia econômica destas. A dinâmica de inovações na agricultura vê, assim, novamente sob o impacto de duas restrições contraditórias, ambiental e econômica. No entanto, a natureza da restrição ambiental, neste segundo momento, é distinta. No primeiro momento, a restrição ambiental era definida basicamente pela disponibilidade de fontes de nutrientes e de energia dentro do espaço agrícola. Agora, o problema está nos limites biológicos e na degradação deste espaço<sup>27</sup> e na qualidade dos

---

(26) Por exemplo, no final dos anos 50, Mitchell (1960:50) recomendava a eliminação das culturas forrageiras de raízes da rotação, sob o argumento de que os efeitos nefastos disto sobre o solo poderiam ser compensados, sem problemas, com os novos meios mecânicos e químicos à disposição dos agricultores – tratores mais possantes, novos equipamentos de trabalho de solo e herbicidas. Para uma análise mais detalhada destes mecanismos indutores de inovações na agricultura, ver Romeiro (1995).

(27) A agressividade ambiental da monocultura à base de fertilizantes químicos já era evidente mesmo nos primórdios de sua expansão, tendo sido um fator importante na resistência, por parte da massa camponesa européia, em adotá-la. Gerações de camponeses haviam consolidado um sistema de produção que não somente conservava, como melhorava a capacidade produtiva do solo.

produtos agrícolas (presença de resíduos químicos, baixos teores de micronutrientes, etc.).

Os limites biológicos e a degradação do espaço agrícola afetam diretamente a eficiência tecno-econômica deste regime tecnológico. Por exemplo, a capacidade de resposta dos vegetais à fertilização química atingiu um limite a partir do qual o custo de doses adicionais de fertilizantes é superior à renda que se poderia obter, além do agravamento dos problemas de poluição, já bastante severo, nas regiões de agricultura intensiva. Outro exemplo está na impossibilidade de se aumentar a escala de trabalho dos equipamentos mecânicos (preparo de solo, colheita, etc.), cujo limite se encontra na degradação da estrutura física do solo, provocada pelo peso das máquinas e equipamentos. É preciso considerar também que a eficácia das novas técnicas em aumentar a produtividade (da terra e do trabalho) estava, em grande medida, condicionada à resposta da natureza a este tipo de intervenção no ecossistema. O exemplo mais impressionante é aquele da utilização sistemática de controle químico de pragas. A eficácia das primeiras pulverizações em grande escala de DDT foi sem paralelo com os resultados atualmente obtidos. Este fato se deve ao conhecido processo natural de aquisição de resistência, pelos agentes patógenos, ao uso sistemático de um determinado tipo de produto. Grande parte do esforço de pesquisa neste campo foi, assim, absorvida na busca de novos compostos, em uma corrida sem fim contra as reações da natureza, cujos custos não têm sido compensados pelos resultados alcançados, além dos problemas gravíssimos de poluição decorrentes (ver Romeiro, 1994).

O uso sistemático de agrotóxicos não apenas contamina produtores e consumidores de produtos agrícolas, como também degrada o ecossistema agrícola a ponto de interferir na sua capacidade produtiva. Por exemplo, as micro flora e fauna dos solos são profundamente afetadas

---

A rotação de culturas e a fertilização orgânica eram os elementos centrais deste sistema. Um vasto esquema de propaganda, tendo à frente os serviços públicos de extensão rural, foi montado com o objetivo de desmoralizar o sistema tradicional, acusado de não científico (ver Russell, 1966). Nos EUA não houve, com raras exceções, este tipo de resistência. Na América, o objetivo era ganhar o máximo, produzindo apenas o produto de melhor perspectiva de preço (ver Romeiro, 1991).

pela utilização de pesticidas químicos. E estas têm um papel importante no processo de nutrição vegetal. Os efeitos nefastos da poluição química são agravados pela degradação da estrutura física do solo, provocada pela prática da monocultura (a qual requer o controle químico de pragas). Esta degradação do solo exige, por sua vez, procedimentos mecânicos de reestruturação altamente nocivos (são erosivos e afetam negativamente a atividade biológica no interior do solo). Assim, paulatinamente, os processos naturais que intervêm positivamente na produção cedem lugar à utilização crescente de procedimentos químicos-mecânicos que, por sua vez, degradam progressivamente o ecossistema agrícola elevando os custos a longo prazo.

Esta abertura da “caixa preta” mostra que, como no passado, as soluções tecnológicas ideais à restrição ambiental passam por um aumento da complexidade do sistema de produção que se choca com as restrições comerciais e de gestão, acrescidas agora da restrição representada pelos interesses do complexo agroindustrial, que emergiu e se desenvolveu para atender às novas demandas do setor agrícola. Portanto, é preciso considerar também as especificidades dos diversos subsectores envolvidos.

Como se sabe, a agricultura, na classificação de Pavitt (1984), é um setor tomador de inovações (*supplier dominated*), ou seja, suas fontes de inovação localizam-se em outros setores. Suas inovações são, sobretudo, de processo, apresentando um baixo grau de apropriabilidade. A incorporação de inovações, que tornem o atual padrão tecnológico menos agressivo ao ambiente, deve dar-se por dois caminhos complementares: de um lado, através do próprio produtor, fazendo uma melhor gestão da produção, reduzindo o grau dos impactos ambientais pela diminuição (ou eliminação) do consumo de pesticidas e fertilizantes, adotando práticas agrícolas que melhorem as condições do solo, diversificando as culturas e criações e, assim, reduzindo o impacto provocado pelas monoculturas, aproveitando os efeitos benéficos de um enfoque produtivo sistêmico, etc.. De outro lado, através das indústrias fornecedoras de insumos, bem como as processadoras do produto agrícola

(ambas geradoras de inovações),<sup>28</sup> que se veem diante de novas demandas dos agricultores, onde a problemática ambiental assume um papel chave.

Deve-se deixar claro que essas transformações não se dão exclusivamente por pressões (ou oportunidades) de ordem ambiental. As mudanças hoje em curso no padrão tecnológico da agricultura são de natureza global e geral. Global porque não é fenômeno localizado; geral porque atinge toda a base do padrão tecnológico produtivista desenvolvido desde o Pós-Segunda Guerra. Trata-se de transformações nas políticas agrícolas, no comércio internacional, nas bases científicas e tecnológicas, nos padrões de consumo, na organização da pesquisa e nos próprios mercados de produtos agrícolas.<sup>29</sup>

Bonny (1995) sugere que o padrão produtivo da agricultura, no futuro, será multifuncional. A superação do paradigma produtivista, voltado para os ganhos de quantidade, por um paradigma qualitativista e diversificado, parece ser a nova orientação geral da produção agrícola.<sup>30</sup> As demandas de ordem ambiental compõem, junto com pressões de outra natureza, um conjunto de fatores de mudança do paradigma produtivista.

Em outras oportunidades, destacamos a idéia de que o padrão tecnológico da agricultura é o resultado evolucionário de diferentes trajetórias tecnológicas que se desenvolveram em diferentes momentos no tempo (Salles Filho, 1993; Romeiro, 1995). A noção de áreas-problemas (Salles Filho, 1993; Possas et al., 1994) é um bom guia para discutir os efeitos das pressões ambientais sobre o paradigma produtivo e tecnológico da agricultura.<sup>31</sup> O eixo de nossa análise pode ser localizado

---

(28) Para uma classificação das fontes de inovação na agricultura, ver Salles Filho (1993) e Possas et al. (1994).

(29) Sobre as transformações hoje em curso na agricultura, ver Bonny & Daucé (1989) e Bonny (1995).

(30) Ver, também, OTA (1992); Petit & Barghouti (1992); Possas et al. (1994), entre outros.

(31) A noção de áreas-problemas aproxima-se da de *focusing devices* de Rosenberg (1969). Trata-se de encarar o desenvolvimento de trajetórias tecnológicas na agricultura a partir dos pontos técnicos nodais do processo produtivo. Assim, as principais áreas-problemas da agricultura seriam a nutrição de plantas e animais, o controle das condições edafo-climáticas, o controle de pragas e doenças, a sistematização dos solos, o melhoramento genético das espécies, a organização das

nos fatores que estão determinando as transformações das trajetórias tecnológicas vigentes e as perspectivas de surgimento de novos paradigmas e novas trajetórias tecnológicas. “De um lado, ‘novas’ áreas-problemas levam a crer no surgimento de um novo paradigma tecnológico, de um novo regime tecnológico para a agricultura; de outro lado, o esgotamento de certas trajetórias sugerem mudanças mais ou menos prementes” (Salles Filho, 1993:232).

A intensificação da produção por área, que caracterizou até aqui o regime tecnológico da agricultura moderna, bem como as trajetórias seguidas, parecem agora se direcionar para um modelo de ação mais precisa e que racionalize custos de produção. Este se prenuncia como um novo regime tecnológico, como uma nova direção geral do padrão tecnológico da agricultura. As áreas-problemas assumem outras dimensões, que podem ser exemplificadas nas seguintes questões: como resolver o problema da fertilidade dos solos, com menores perdas de nutrientes (menor desperdício) e sem causar os problemas ambientais que decorrem do uso dos fertilizantes químicos? Como combater eficientemente as pragas e doenças sem que se incorra em danos ambientais e para a saúde humana e animal? Como irrigar eficientemente sem provocar salinização dos solos, sem esgotar os lençóis freáticos e com menor consumo de energia? Como sistematizar os solos com máquinas sem provocar deterioração física (compactação, perda de friabilidade, erosão)? Como prosseguir na mecanização, com menor consumo de energia e poluindo menos?

Estas novas demandas de uma agricultura mais equilibrada do ponto de vista ecológico teriam forte impacto no complexo agroindustrial caso, por exemplo, se generalizassem:

- substituição de fertilizantes químicos de alta solubilidade por fertilizantes orgânicos e por fertilizantes químicos de baixa solubilidade (fosfatos naturais, nitrogênio atmosférico fixado por bactérias, etc.);

- redução do consumo de defensivos agrícolas e substituição de defensivos químicos por defensivos biológicos e outras alternativas;
- mudança radical nos tipos de equipamentos requeridos para o trabalho de solo, nas regiões tropicais, com a substituição da aração pelo plantio direto. Considerando as restrições comercial e de gestão e os interesses industriais estabelecidos, o atual ambiente seletivo tem levado à busca de soluções que minimizem a degradação, sem necessidade de mudança radical de padrão tecnológico. Soluções estas que, de qualquer modo, já representam um impacto considerável no perfil produtivo do setor agroindustrial.

Evidentemente que esse complexo conjunto de objetivos implica esforços de grande magnitude. A coordenação e gestão desse processo de transformação, por meio de políticas, é um desafio que necessita sim de medidas coercitivas, mas também de ações estimuladoras da formação de trajetórias tecnológicas que dêem respostas àquelas perguntas. O grau de complexidade dessa situação é muito alto e seria impossível, no espaço de um artigo, comentá-lo minimamente. O que faremos a seguir é exemplificar alguns dos possíveis *outcomes* desse processo de transformação do paradigma produtivo e tecnológico da agricultura, particularmente para as áreas-problemas de controle de pragas e doenças e de fertilização dos solos e nutrição de plantas.

Tomando inicialmente a área-problema do controle de pragas e doenças, apesar de estar claro que mudanças são inevitáveis, tanto pelo esgotamento crescente das trajetórias da indústria de pesticidas, como pelos problemas ambientais e de saúde pública aí existentes, não parecem evidentes as soluções tecnológicas que serão implementadas. De um lado, podemos pensar que o uso de pesticidas biológicos venha a ocupar o espaço dos pesticidas químicos; por outro lado, é possível imaginar que o avanço da engenharia genética de plantas viabilize o desenvolvimento de espécies vegetais resistentes à maior parte das pragas e doenças, levando, no limite, à eliminação do insumo pesticida. Uma terceira perspectiva é ainda possível: a evolução do conhecimento sobre a fisiologia e genética dos insetos-praga e dos microrganismos fitopatogênicos pode levar a que novas drogas químicas sejam desenhadas *ex ante* (a exemplo do que se propõe para a geração de fármacos) e que apresentem maior eficiência e

menor risco, mantendo o método químico de controle como a principal ferramenta de combate às pragas e doenças. São trajetórias tecnológicas concorrentes, mas não necessariamente excludentes, podendo, na prática, chegar-se a uma situação onde elas coexistam.

Para elas, poderíamos alinhar argumentos favoráveis e contrários, prognosticando a prevalência de uma ou de outra, segundo a satisfação de uma série de critérios. Hoje os dois primeiros caminhos têm sido privilegiados, com uma tendência mais favorável para o desenvolvimento de variedades resistentes. Este favoritismo apóia-se no maior potencial tecnológico que tal via apresenta (crescente, com a evolução das técnicas de manipulação genética de plantas) e pelo fato de muitas das firmas líderes da indústria de pesticidas estarem inseridas na P&D destas novas variedades resistentes, o que não coloca uma contradição de interesses no longo prazo. Entretanto, há dois principais fatores que contribuem desfavoravelmente para a evolução desta trajetória: a dificuldade em praticar preços de sementes que justifiquem os investimentos no seu desenvolvimento e os regimes de apropriabilidade.

As noções de busca e seleção, em um nível microeconômico, e a noção de trajetória tecnológica da indústria são particularmente felizes para explicar este fenômeno: de um lado, as empresas desenvolvem um intenso processo de busca, sem que se tenha ainda um conjunto de eventos minimamente significativos no âmbito da seleção pelos mercados; de outro lado, identifica-se uma competição de trajetórias tecnológicas ao nível da indústria, no novo paradigma da agricultura. Qualquer definição hoje parece bastante precipitada e mesmo as empresas que estão dedicadas a isto apostam em várias frentes, cercando as apostas por estratégias de monitoração tecnológica. Claro está que medidas coercitivas, que imponham restrições de quantidade e qualidade de pesticidas, assim como outras que estimulem a capacitação nas opções tecnológicas alternativas, são essenciais nessa fase de transição.

Na área-problema do controle da fertilidade dos solos, as mudanças são menos evidentes. Por um lado, o esgotamento tecnológico da indústria não é um fator tão crucial quanto na indústria de pesticidas,

dado que a inovação em produtos não constitui elemento chave na sua dinâmica concorrencial; por outro lado, embora haja problemas ambientais sérios, como a salinização dos solos e a contaminação dos lençóis freáticos com nitratos, a reação a estes problemas é menos generalizada, em comparação com a que ocorre em relação aos pesticidas. Já no que respeita às opções tecnológicas, há poucas alternativas reais ou potenciais a serem propostas. No campo da moderna biotecnologia, a principal alternativa localiza-se na supressão do uso de fertilizantes nitrogenados, por dois caminhos diferentes: o emprego de microorganismos que fixam o nitrogênio atmosférico, tornando-o disponível às plantas; e a manipulação genética das plantas, para que elas próprias desenvolvam a capacidade de fixar para si o  $N_2$  que se encontra no ar. Estas são trajetórias concorrentes, para as quais poderíamos elaborar comentários muito semelhantes aos feitos para os pesticidas: está-se diante da substituição de um velho por um novo insumo (microorganismos fixadores versus formas quimicamente sintetizadas de nitrogênio),<sup>32</sup> ou da eliminação de um insumo típico da agricultura moderna (o fertilizante nitrogenado) por uma variedade que dele prescindia. Atualmente os esforços são dirigidos, para ambas as alternativas, mas com um certo favoritismo para a tentativa de incorporação de genes responsáveis pela fixação do  $N_2$  nas plantas.

Ainda com relação aos fertilizantes, registre-se também o emprego de microorganismos e de metabólitos destes, para alterar o processo de solubilização de rochas fosfatadas, que é realizado pela reação com ácidos inorgânicos (ácido sulfúrico e ácido fosfórico). Tal método teria a vantagem de propiciar uma disponibilidade “controlada” do fosfato às plantas, uma vez que a solubilização seria menos intensa e mais prolongada, evitando perdas do nutriente como as que ocorrem atualmente. Aqui, ao contrário do caso acima, não ocorreria uma transformação radical (a supressão do insumo fertilizante nitrogenado),

---

(32) Quando dizemos novo insumo em referência a microorganismos fixadores, estamos nos referindo à perspectiva de desenvolvimento destes para a maioria das plantas cultivadas, superando a limitação atual de existirem comercialmente apenas bactérias fixadoras em leguminosas e, particularmente, em soja.

mas alterações no processo industrial e uma diversificação de produtos. Caso os métodos biotecnológicos evoluam a ponto de competir com o processo químico tradicional, colocar-se-ia uma situação de competição entre processos químicos e biológicos para a obtenção de adubos fosfatados.

Em resumo, tudo indica que uma mudança radical do regime tecnológico atual, em direção ao estabelecimento de sistemas de produção mais complexos, ecologicamente mais equilibrados (envolvendo rotações de cultura e integração com a criação animal), é pouco provável, tendo em conta o atual ambiente seletivo. A pressão dos grupos de consumidores com maior sensibilidade ecológica tem se traduzido em um crescente mercado alternativo, mas ainda de alcance limitado devido, principalmente, à controvérsia científica a propósito dos efeitos, sobre a saúde humana, do atual modo de produzir, aliada aos custos relativamente elevados desta produção alternativa.

## **Conclusão**

O tratamento convencional reduz o problema ambiental a uma falha de mercado, provocada pelo caráter público dos bens ambientais. Sua solução, portanto, passa pela correção desta falha em precificar os bens ambientais. É suposto que esta precificação possa ser feita de modo razoavelmente eficiente com base nas preferências dos agentes econômicos. Além disso, o ajuste tecnológico induzido pelos novos preços relativos é visto como um processo quase-automático que conduz o sistema a uma nova posição de equilíbrio, onde os custos são, por definição, superiores.

Procurou-se, então, mostrar que este quadro analítico é aquele de um modelo comprometido por erros de especificação fundamentais: não leva na devida conta os fenômenos de irreversibilidade e incerteza, os quais são particularmente agudos em se tratando da problemática ambiental. Além disso, este modelo ignora aspectos essenciais da dinâmica de inovações, cuja clareza é crucial para o entendimento do processo de ajuste tecnológico sob restrição ambiental.

Propôs-se abordar esta questão a partir de uma perspectiva evolucionária. Esta abordagem permite tratar a variável ambiental como um novo elemento decisivo na evolução dos ambientes seletivos que vêm condicionando as rotinas de busca das firmas. Foi particularmente enfatizada a idéia de que a restrição ambiental tende a ser vista cada vez menos como uma fonte de custos e mais como uma fonte de oportunidades tecnológicas para a criação de assimetrias que confirmam vantagens competitivas.

Isto não quer dizer, entretanto, que os mecanismos de mercado tendam a produzir um círculo virtuoso que conduza automaticamente à resolução dos problemas ambientais. Pelo contrário, o universo profundamente controvertido, que envolve de incertezas o processo de tomada de decisões sob restrição ambiental e o risco de perdas irreversíveis, exige uma intervenção permanente do poder público e de outras esferas organizadas da sociedade civil, no sentido de minimizar estas perdas, que fatalmente ocorrerão, especialmente tendo em conta a tendência de sobreposição da lógica econômica à lógica ecológica.

O exemplo do setor agrícola mostra o quanto as incertezas sobre o alcance da degradação ambiental se compõem com os interesses econômicos em jogo, para tornar pouco provável, pelo menos a curto e médio prazos, uma mudança radical do atual regime tecnológico em direção ao que seria recomendável do ponto de vista estritamente ecológico. Deixa claro, no entanto, que os interesses em jogo não podem mais ignorar a variável ambiental.

### **Bibliografia**

- AHMAD, S. On the theory of induced innovation. *The Economic Journal*, v. 76, jun. 1966.
- AMABILE, B. Endogenous growth theory, convergence and divergence. In: G. SILVERBERG, G.; SOETE, L., ed. *The economics of growth and technical change*. Edward Elgar, 1994.
- ARTHUR, W.B. *Increasing returns and path dependence in the economy*. Univ. of Michigan Press, 1994.

- BARNETT, H.; MORSE, C. *Scarcity and growth*. Johns Hopkins Univ. Press, 1963. 288p.
- BELL, M.; PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Industrial and Corporate Change*, v.2, n.2, 1993.
- BONNY, S.; DAUCÉ, P. Les nouvelles technologies en agriculture. Une approche technique et économique. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, n.13, 4<sup>o</sup> trimestre, 1989.
- \_\_\_\_\_. *La dynamique de l'innovation dans l'agriculture française actuelle*. Grenoble: 1995. (Communication à L'École Chercheurs "Innovation, Dynamique des Organisations et Transformations Institutionnelles").
- BROMLEY, D. W.; VATN, A. Choices without prices without apologies. In: BROMLEY, D.W., ed. *The handbook of environmental economics*. Oxford: Blackwell, 1995.
- CANUTO, O. *Mudança técnica e concorrência: um arcabouço evolucionista*. Campinas: UNICAMP.IE, 1992. (Texto para Discussão, n.6)
- CALLON, M. Is science a public good? *Science, Technology and Human Values*, v.19, n.4, 1994.
- CHANDLER JR., A. D. *Strategy and structure*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1962.
- COASE, R. The problem of social cost. *The Journal of Law and Economics*, v.3, n.1, oct. 1960.
- DAVID, P. Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review Proc.*, v.75, p.332-7, 1985.
- DOSI, G. *Technical change and industrial transformation: the theory and a application to the semi-conductor industry*. London: MacMillan, 1984a.
- \_\_\_\_\_; FABIANI, S. Convergence and divergence in the long term growth of open economies. In: SILVERBERG, G.; SOETE, L., ed. *The economics of growth and technical change*. Edward Elgar Publishing Limited, 1994.
- \_\_\_\_\_; ORSENIGO, L. Coordination and transformation: an overview of structures, behaviours and change in evolutionary environments. In: DOSI, G. et al. *Technical change and economic theory*. London, Frances Pinter, 1988.
- \_\_\_\_\_; PAVITT, K.; SOETE, L. *The economics of technical change and international trade*. London: Harvester Wheatsheaf, 1990.

- FELLNER, W. Two propositions in the theory of induced innovation. *The Economic Journal*, v.71, jun. 1961.
- GABEL, M. *Ho-ping: food for everyone*. New York: Anchor Books, 1979.
- GODARD, O. Environnement et théorie économique: de l'internalisation des effets externes au développement soutenable. Paris: Ecole Nationale de la Magistrature, 1992. (Séminaire "Ecologie et Environnement")
- \_\_\_\_\_. *Stratégies industrielles et conventions d'environnement: de l'univers stabilisés aux univers controversés*. Paris: INSEE - Environnement et Économie, 1993. p. 145-74. (Coll. INSEE - Méthode, n. 39-40)
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. *Agricultural development: an international perspective*. The John Hopkins Univ. Press, 1985.
- KEMP, R.; SOETE L. Inside the green box: on the economics of technological change and the environment. In: FREEMAN, C.; SOETE, L. *New explorations in the economics of technological change*. London: Pinter Publishers, 1990.
- LUNDEVALL, B-A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G. et al. *Technical change and economic theory*. London: Frances Pinter, 1988.
- MADDOX, J. *El síndrome del fin del mundo*. Barcelona: Barral Editores, 1974.
- MITCHELL, F. S. Conditions for mechanization in Europe. In: MEIJI, J.L. *Mechanization in agriculture*. Amsterdam: North Holland, 1960.
- NELSON, R.; WINTER, S. *A evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1982.
- OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT – OTA. A new technological era for american agriculture. Washington, DC: US Congress, Office of Technology Assessment, 1992.
- PETIT, M.; BARGHOUTI, S. Diversification: challenges and opportunities. In: BARGHOUTI, S.; GARBUS, L.; UMALI, D. *Trends in agricultural diversification - regional perspectives*. Washington, DC: World Bank, 1992. (World Bank Technical Paper, n. 180).
- POSSAS, M.L.; SALLES FILHO, S.L.M.; SILVEIRA, J. M. J. An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks. In: EVOLUTIONARY ECONOMICS OF TECHNOLOGICAL CHANGE: assessment of results and new frontiers. *Proceedings...* Strasbourg: 1994.

- ROSENBERG, N. The direction of technical change: inducement mechanisms and focusing devices. *Economic Development and Cultural Change*, v.18, 1969.
- \_\_\_\_\_ *Inside the black box*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1982.
- \_\_\_\_\_ *Exploring the black box*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994.
- ROMEIRO, A.R. Revolução industrial e mudança tecnológica na agricultura européia. *Revista de História*, São Paulo, n.123-124, jul./ago. 1990.
- \_\_\_\_\_ O modelo euro-americano de modernização agrícola. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v.2, n.12, nov. 1991.
- \_\_\_\_\_ Agricultura e agroindústria: perspectivas de novas configurações. *Revista de Economia Política*, v.14, n. 3, jul./set. 1994.
- \_\_\_\_\_ Mecanismos indutores de progresso técnico na agricultura: elementos para uma abordagem evolucionária. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 23, Salvador, 1995. *Anais...* Brasília: ANPEC, 1995. v.1.
- RUSSEL, E. J. *A history of agricultural science in Great Britain, 1620-1954*. London: George Allen & Unwin, 1966.
- SEBILLOTTE, M. Pratique des agriculteurs e évolution de la fertilité du milieu - Éléments pour un jugement des systèmes de culture. *Bulletin Technique d'Information*, n. 370-372, mai-août, 1982.
- \_\_\_\_\_; BOURGEOIS, A. Réflexion sur l'évolution contemporaine des exploitations agricoles. *Économie Rurale*, n.126, juil./août, 1978.

## Resumo'

O principal objetivo do trabalho é o de evidenciar a complexidade da problemática ambiental em relação ao processo decisório dos agentes econômicos, particularmente no que toca à dinâmica de geração de inovações tecnológicas. Parte-se de uma visão evolucionária do funcionamento da economia capitalista, enfatizando a importância dos mecanismos de busca e seleção de inovações na geração de assimetrias entre os agentes econômicos. Com base nessa proposta de interpretação, discute-se a interação entre dinâmica de inovações e pressões de ordem ambiental, para o caso da produção agrícola.