



TECNOLOGIA AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA DISCUSSÃO A PARTIR DA PERSPECTIVA DA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE E DA ECONOMIA EVOLUCIONISTA

Mariú Abritta Moro

mariuabrittamoro@gmail.com

Universidade Estadual Paulista "Professor Júlio de Mesquita Filho"

Luciana Togeiro de Almeida

Resumo /Resumen

A questão da busca pelo desenvolvimento sustentável através da introdução de tecnologias "limpas" vem ganhando cada vez mais importância entre os estudiosos da Economia da Inovação, buscando explicar quais os fatores auxiliam e quais dificultam o processo de transição tecnológica relacionado à redução do impacto ambiental. O presente artigo faz uma discussão sobre as diferentes perspectivas existentes sobre a relação entre tecnologia e desenvolvimento sustentável, focando no ponto de vista da economia do meio ambiente e da perspectiva evolucionista. Espera-se que o artigo contribua para a compreensão da relação entre tecnologia e sustentabilidade.

Palavras Chaves / Palabras Claves: : tecnologia ambiental, sistema de inovação, economia verde.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, vem se intensificando a preocupação da sociedade com os efeitos da ação humana sobre o meio ambiente. Boa parte dessas preocupações surge graças a estudos como *Limits to Growth* (MEADOWS, 1972), aos relatórios alarmantes de agências internacionais como os do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) e à exposição do assunto na mídia. A indústria é apontada como um dos grandes responsáveis por esse fenômeno: as tecnologias de processo e de produto utilizadas atualmente demandam recursos naturais num ritmo que a natureza não mais consegue repor.

A relação entre o avanço tecnológico e o meio ambiente é complexa e paradoxal (HEKKERT et al., 2007). De um lado, grande parte da agressão ao meio ambiente pode ser atribuída às modernas tecnologias de produto e de processo, que foram desenvolvidas e gradualmente melhoradas ao longo de décadas sem, no entanto, levarem em consideração a questão ambiental. Por outro lado, o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes certamente é um dos maiores aliados na busca pela redução do impacto ambiental.

Sendo assim, este trabalho faz uma discussão sobre as diferentes perspectivas existentes sobre a relação entre tecnologia e meio ambiente, destacando-se nesse contexto as visões da economia ambiental e da economia ecológica, bem como a perspectiva evolucionista que traz consigo uma roupagem mais complexa capaz de desenvolver uma análise mais profunda sobre a relação entre esses dois elementos. Dessa forma, este artigo está dividido em mais três partes além dessa breve introdução e das referências bibliográficas. A primeira parte é dedicada a discussão do ponto de vista da economia do meio ambiente sobre o papel da tecnologia e sua contribuição para a sustentabilidade. Já a segunda é reservada para a análise da perspectiva evolucionista destacando a abordagem de sistema de inovação bem como da *multi-level perspectives*. Por fim, a terceira parte é dedicada as considerações finais do artigo.

Economia do meio ambiente e o papel das tecnologias ambientais

A relação de sustentabilidade entre crescimento econômico e preservação do meio ambiente é complexa, envolvendo uma relação de causalidade mútua, uma vez que o sistema econômico se baseia na utilização dos recursos naturais para se desenvolver e crescer. Esse processo, nos moldes atuais, gera a degradação e a utilização em grande escala dos recursos naturais, o que desafia a capacidade biofísica da Terra¹ de renovar esses recursos, comprometendo a disponibilidade dos mesmos no longo prazo, que em última instância é o que sustenta todo processo de crescimento econômico (VENKATACHALAM, 2006).

A discussão sobre essa relação complexa é o ponto central de debate da economia do meio ambiente², que visa tentar encontrar alternativas para atenuar o nível de degradação ambiental, assegurando o direito de as gerações futuras usufruírem desses recursos. No cerne dessa discussão está o papel da tecnologia - a sua contribuição ao desenvolvimento sustentável -, sobre o que destacamos a seguir duas visões diferentes.

A primeira visão, considerada otimista do ponto de vista tecnológico, advém da corrente de pensamento da economia ambiental³. Barnett e Morse no seu artigo *Scarcity and Growth* (1963) apontam que o progresso técnico seria o responsável por mitigar essa relação conturbada entre crescimento econômico e utilização de recursos naturais. Dessa forma, o aumento do uso de capital advindo dos avanços do progresso técnico substituiria a quantidade dos recursos naturais utilizados via aumento de produtividade na utilização dos mesmos.

Suponhamos que para cada unidade de capital utilizada seja necessário utilizar três unidades de recursos naturais, mas quando aprimoramos a eficiência na utilização do capital, passamos a utilizar, para cada unidade de capital, duas de recursos naturais, de forma que com o progresso técnico a intensidade da utilização dos recursos naturais

¹ Os limites biofísicos da Terra compreendem a capacidade que ela possui de renovar os seus recursos naturais, garantindo uma quantidade mínima disponível dos mesmos, necessária para o desenvolvimento das atividades produtivas.

² A Economia do Meio Ambiente engloba as diversas linhas de pensamento cujo objeto de estudo é a relação entre a esfera econômica e a esfera ambiental; dentre essas linhas podemos destacar a economia ambiental e a economia ecológica.

³ A economia ambiental é uma corrente de pensamento derivada da economia neoclássica, que apresenta duas abordagens para a questão ambiental: a economia da poluição e economia dos recursos naturais. A Economia da Poluição aborda a questão dos *outputs* indesejáveis - os resíduos advindos dos processos produtivos, entre outros, ao passo que a Economia dos Recursos Naturais trata dos *inputs* naturais para os processos produtivos.

diminua ao longo do tempo. Observamos que essa lógica está pautada em um crescimento material incremental, pois não reflete reduções no volume de produção, mas sim, substitutibilidade contínua entre os fatores.

Podemos observar melhor essa ideia nos trabalhos desenvolvidos por Solow(1974;1993). No primeiro trabalho ele discorre sobre a capacidade de substituição entre os diversos fatores de produção. O autor desenvolveu um modelo no qual o equilíbrio seria encontrado se mantivéssemos o mesmo nível de consumo per capita e a exaustão na utilização dos recursos naturais fosse compensada por aumentos na eficiência e utilização de capital, geradas pelo avanço do progresso técnico. Para compreendermos melhor consideremos a seguinte equação:

$$\mathbf{K}=\mathbf{K}_n+\mathbf{K}_p+\mathbf{K}_h+\mathbf{K}_s \quad (\text{I}),$$

onde:

K: o estoque de capital total;

K_n: o estoque de capital natural que é constituído por recursos naturais;

K_p: o estoque de capital físico produzido, compreendendo máquinas e equipamentos, a infraestrutura de que uma sociedade dispõe; grosso modo, todo o capital físico acumulado ao longo do tempo;

K_h: o estoque de capital humano que engloba as capacidades e qualificações da força de trabalho em um dado momento no tempo;

K_s: a infraestrutura institucional de uma sociedade em um dado momento do tempo. Esta infraestrutura possui papel de destaque no desenvolvimento de uma economia;

Segundo Solow, a sustentabilidade pode ser compreendida como o fluxo máximo de produto ou renda que pode ser gerado a partir de um estoque de capital em expansão, desde que mantido um volume de estoque de **K** para as gerações futuras, volume este que não deve ser inferior ao estoque de **K** que possuímos atualmente. Nesse sentido, um elemento-chave para a manutenção da sustentabilidade está na capacidade de o progresso técnico elevar a eficiência na utilização de capital que não provenha de recursos naturais, fazendo com que, por exemplo, se possa substituir um determinado volume de recursos naturais utilizados por maior eficiência de capital produzido. Ou seja, para que haja sustentabilidade é necessário que o volume de **K** seja

sustentado, independente da sua composição, isto é, ao longo do tempo você pode ter diversas composições entre capital natural, capital produzido, etc., que formam o estoque total de capital (**K**). Essa "substituição" ocorrerá uma vez que o preço dos recursos naturais se eleve ao longo do tempo- devido ao fato de que seu estoque é limitado-, até um nível em que se tornará mais atrativo "encontrar" alternativas para melhorar a eficiência na utilização de cada unidade de recurso natural, reduzindo o volume utilizado desse tipo de recurso ao longo do tempo.

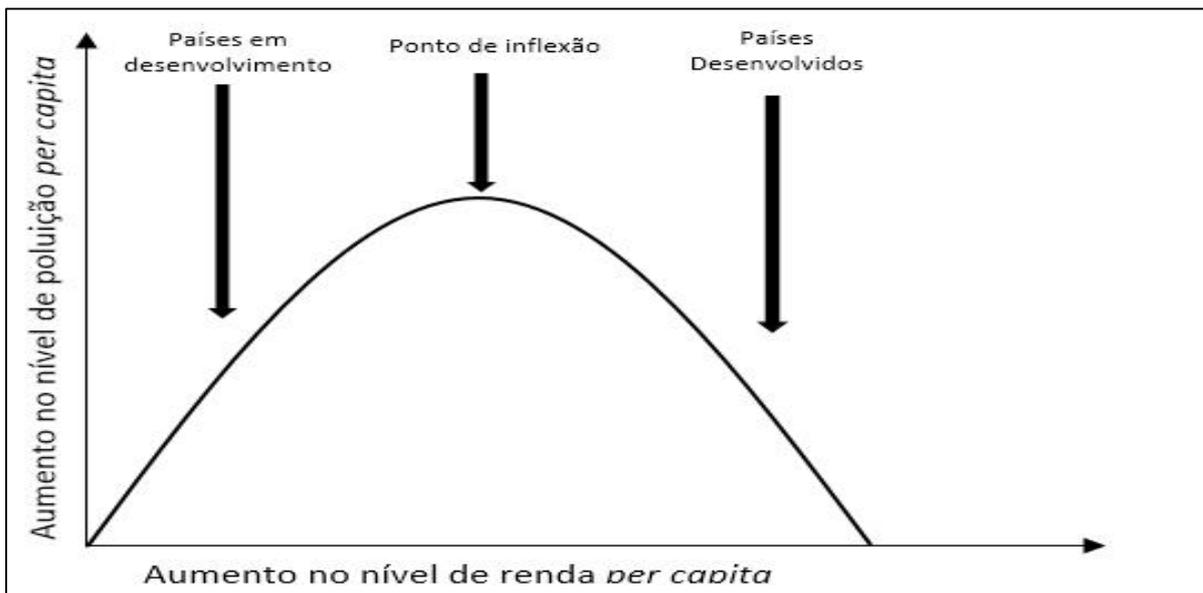
Solow(1993) afirma que, embora seja extremamente difícil produzir um bem sem a utilização de algum recurso natural, é perfeitamente possível substituir grandes quantidades de recursos naturais utilizados por pequenos inputs destinados a capital fixo (capital produzido). Sendo assim, a discussão principal deveria se pautar na busca por indicadores macroeconômicos⁴ que pudessem expressar de maneira mais "realista" a relação entre crescimento e utilização de recursos naturais. A utilização de "indicadores inadequados" seria uma das "causas da crise ambiental", pois a presença de distorções geradas pela utilização desses indicadores leva a uma atribuição de preço incorreta para os recursos naturais, afetando o equilíbrio do mercado. Uma vez construídos novos indicadores macroeconômicos, seria possível desenvolver um modelo que comportasse o desenvolvimento sustentado, ou seja, um modelo no qual o nível de recursos naturais utilizados pudesse garantir a continuidade do crescimento econômico e manutenção de bem estar para as gerações futuras pela preservação do estoque de capital (**K**).

Ainda dentro da perspectiva da economia ambiental - otimista do ponto de vista tecnológico -, podemos citar os trabalhos de Grossman e Krueguer (1991;1995), que buscaram evidências empíricas para trabalhar a relação entre crescimento econômico e meio ambiente e assim, pioneiramente, propuseram uma relação descrita pela Curva Kuznets Ambiental⁵(CKA). Esta nos mostra que a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental pode ser descrita por uma curva em formato de "U" invertido, relacionando os diferentes estágios de desenvolvimento econômico e utilização de recursos naturais (ver figura 1). Sob essa perspectiva, a poluição faz parte de um processo por que todos os países vão passar para alcançar um estágio de desenvolvimento superior, de forma que no final desse processo o nível de poluição estará em patamares reduzidos.

⁴ Para mais informações sobre indicadores macroeconômicos ambientais ver Tyceta (1996).

⁵ A CKA recebeu essa denominação pois seu formato se assemelha ao da Curva de Kuznets que trata da relação entre crescimento econômico e níveis de distribuição de renda. Para mais detalhes ver Kuznets (1955) e Dinda (2002).

Figura 1- Curva de Kuznets Ambiental: formato de "U" invertido



Fonte: Elaboração própria com base em Grossman e Kruguer (1991).

A explicação para essa relação está pautada em três efeitos: escala, composição e tecnológico. O primeiro efeito representa a ampliação da escala de produção, que por sua vez gera uma pressão negativa sobre o meio ambiente, já que ao longo do tempo, a ampliação da escala de produção e consumo vão gerar uma pressão pelo aumento da demanda por recursos naturais bem como a elevação da poluição advinda dos processos de produção em larga escala. O efeito composição representa o processo de transição entre os setores da economia, como por exemplo, a mudança de uma economia rural - com menor nível de degradação ambiental - para uma economia industrial e desta para uma economia especializada no setor de serviços. Por fim, o efeito tecnologia representa as opções de mudanças tecnológicas que podem gerar a modernização dos processos produtivos e conseqüentemente um maior nível de eficiência (inclusive em padrões ambientais), ao permitir utilizar uma quantidade menor (e de forma mais eficiente) dos recursos naturais disponíveis (GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995).

Podemos observar que o processo de transição de uma economia em desenvolvimento para uma economia desenvolvida "carrega" esse "componente de poluição", pois a ideia é que, nos primeiros estágios de industrialização, a poluição cresce, pois o foco do desenvolvimento econômico reside mais em elevar o nível de renda, produto e emprego do que em preservar a qualidade do ar que respiramos ou da água que bebemos. (DASGUPTA et al., 2002).

Na mesma linha de raciocínio, Stokey (1998) apresenta um modelo no qual o

formato da curva que representa a relação entre crescimento econômico e meio ambiente pode ser descrita pelo tipo de tecnologia de produção utilizada (tecnologia "poluente" ou tecnologia "limpa"). A adoção de cada tipo de tecnologia está relacionada ao nível de atividade econômica alcançado por cada país. Sua suposição principal é a de que, abaixo de um nível mínimo de atividade econômica, somente tecnologias "poluidoras" poderão ser utilizadas, já que o acúmulo de conhecimento e infraestrutura só comportariam o desenvolvimento deste tipo de tecnologia.

Na medida em que a economia vai crescendo, a degradação ambiental também vai aumentando de acordo com a elevação no nível de renda. Isso irá ocorrer até que o nível mínimo de atividade econômica seja ultrapassado, possibilitando a utilização de tecnologias "limpas", ou que, pelo menos, poluam menos que as anteriores. O formato da curva que apresenta a relação entre crescimento e meio ambiente apresentaria a forma de um "V" invertido (ver figura 2), cujo ponto de inflexão seria a posição em que o nível mínimo de atividade econômica necessário para a adoção de tecnologias mais "limpas" seria ultrapassado, permitindo a continuidade do crescimento econômico sem incorrer em altos níveis de degradação ambiental.

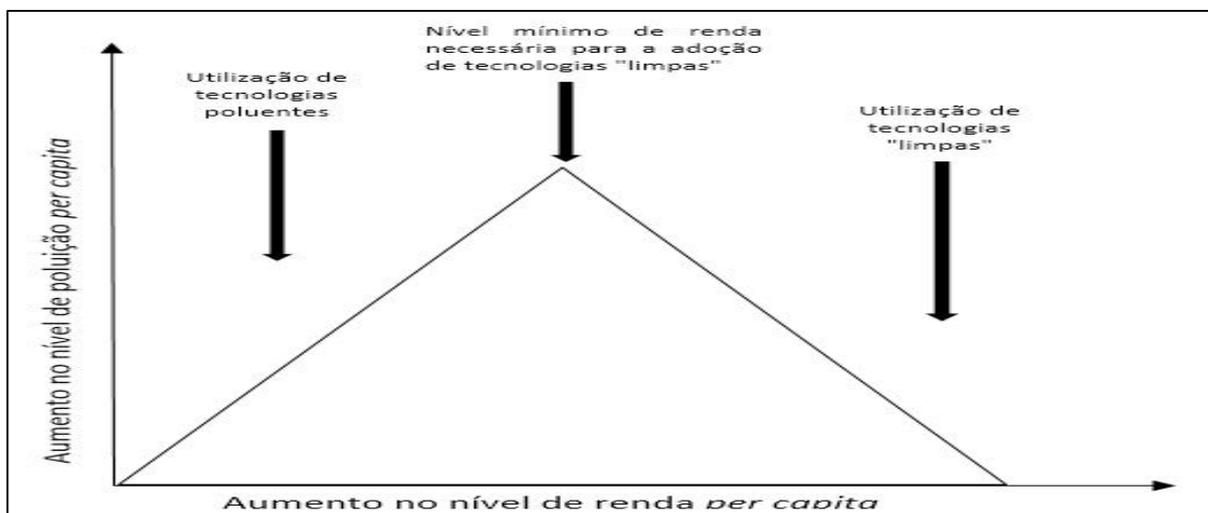


Figura 2- Curva de Kuznets Ambiental em formato de "V" invertido

Fonte: Elaboração própria com base em Stokey (1998).

Avançando nos trabalhos que consideram a tecnologia um fator-chave para conciliar crescimento econômico e preservação ambiental, Andreoni e Levinson (1998) argumentam que um elemento importante a ser considerado na adoção de tecnologias "limpas" é a sua eficiência. Eles mostram que o formato da curva que representa a

relação entre crescimento econômico e meio ambiente pode ser derivada das características tecnológicas e dos esforços realizados pelos países em prol da diminuição da poluição. Dessa maneira, o formato da CKA variará de acordo com os retornos apresentados pelas tecnologias limpas: caso elas apresentem retornos crescentes a curva terá formato de "U" invertido; se apresentarem retornos decrescentes a curva terá o formato de uma reta crescente. Sendo assim a preservação ambiental estaria intrinsecamente relacionada com a eficiência das tecnologias "limpas" que seriam adotadas e não simplesmente ao fato de adotar-se uma tecnologia menos poluente.

Na mesma perspectiva, Smulder e Bretschger (2001) evidenciam o papel da tecnologia para explicar a relação "crescimento-meio ambiente", mas além desse elemento eles também trabalham o papel do Estado e das regulações para garantir a preservação ambiental, direcionando a economia para o uso de tecnologias limpas e onerando os processos produtivos mais poluentes. Os seus estudos foram baseados na ideia de "*quality leader*" de Grossman e Helpman (1991). Eles analisam a CKA sob a ótica das mudanças tecnológicas inseridas em um contexto de crescimento endógeno. De acordo com os autores, três elementos-chave seriam responsáveis por essa relação: i) a capacidade de as mudanças tecnológicas gerarem um nível de poluição menor, ii) as alterações nos setores que possibilitam a incorporação de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas; e iii) as mudanças intra-setoriais oriundas da evolução da consciência ambiental e de políticas que visam melhorias de qualidade ambiental.

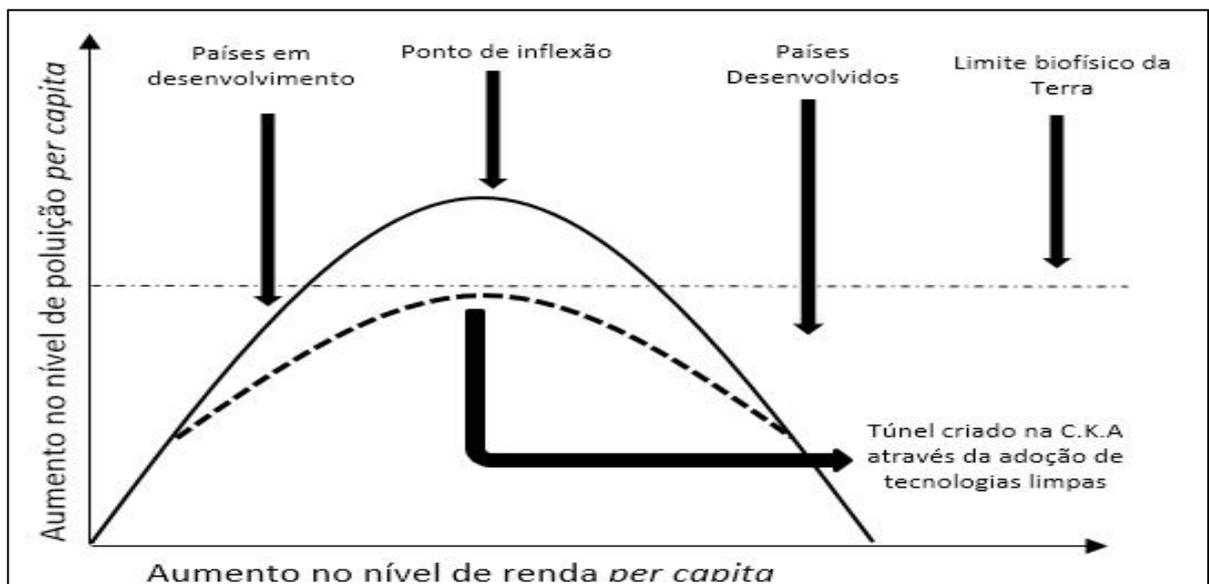
De acordo com essa lógica, eles apresentam quatro períodos distintos de acordo com o estágio e combinação desses três elementos-chave. Esses períodos representam quatro fases da CKA: a primeira representa a fase na qual as tecnologias utilizadas não causam poluição no meio ambiente, a segunda configura-se na a fase em que se inicia o processo de introdução de tecnologias que possibilitam o aumento no nível de produtividade a um custo menor, mas que em contrapartida, geram degradação ambiental - embora o nível de poluição ainda não seja de conhecimento geral. Já a terceira fase se inicia quando os níveis de poluição gerados pelas tecnologias utilizadas nos processos produtivos são de conhecimento público.

A partir deste momento, o governo passa a onerar as empresas poluidoras por meio de impostos e de controles de poluição, impulsionando, dessa forma, a busca por tecnologias "limpas", cujo nível de poluição seja inferior ao das tecnologias utilizadas

anteriormente. Com a introdução gradativa dessas tecnologias “limpas” se inicia a quarta fase, que é caracterizada por um processo de melhoria nos padrões ambientais, ou seja, uma fase na qual os processos produtivos nos diferentes setores da economia são mais eficientes na utilização dos recursos ambientais e nos níveis de poluição emitidos (SMULDER; BRETSCGER, 2001).

Nessa mesma linha de pensamento, mais recentemente, trabalhos da *United Nations Environment Programme* (UNEP/PNUMA) se concentram em estudar a capacidade de o uso de tecnologias menos poluentes contribuir para um desenvolvimento sustentável. A UNEP propõe a ideia de *decoupling* (desacoplamento), pela qual a adoção de tecnologias “verdes” no lugar das tecnologias tradicionais seria capaz de gerar o desacoplamento entre crescimento econômico e degradação ambiental, possibilitando a continuidade da expansão da economia, sem no entanto incorrer em maiores níveis de poluição ou elevação de demanda por recursos naturais. Dessa forma, todos os países em desenvolvimento poderiam, mediante a adoção de tecnologias “verdes”, dar continuidade aos seus processos produtivos sem “esbarrar” nos limites biofísicos da Terra, ou seja, a adoção desse tipo de tecnologia possibilitaria a construção de um “túnel” na CKA, de forma que os países pudessem passar da primeira fase da curva para a última sem alcançar seu ponto máximo (ver figura 3).

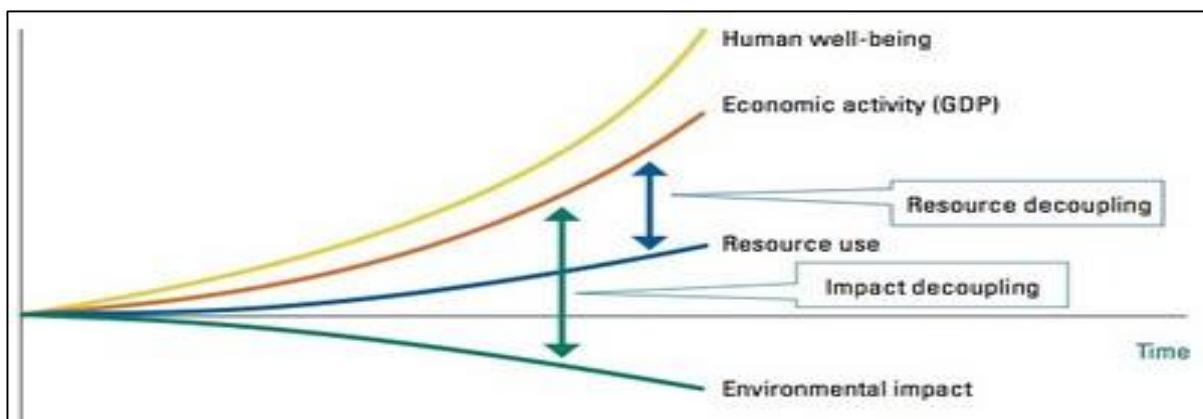
Figura 3 – Túnel criado na Curva de Kuznets Ambiental através da adoção de tecnologias “limpas”



Fonte: Formatação própria com base em UNEP(2011).

A iniciativa “rumo à economia verde” da UNEP foi lançada após a crise econômica de 2008, com o objetivo de promover o crescimento econômico sustentável, que ocorreria por meio do desacoplamento (ver figura 4), de duas maneiras: i) desacoplando o crescimento econômico de pressões ambientais mediante a demanda por recursos naturais (inputs); e ii) desacoplando o crescimento econômico da geração de mais níveis de poluição (outputs). O “carro-chefe” para a concretização desse processo seria um crescimento orientado por normas e regulações que incentivassem o desenvolvimento e adoção de tecnologias “verdes” em setores chaves, tais como: agricultura, edificações, energia, pesca, silvicultura, indústria, turismo, transporte, água e gestão de resíduos.

Figura 4- Desacoplamento entre crescimento econômico e degradação ambiental



Fonte: UNEP 2011.

Em todos esses estudos percebemos a importância dada à tecnologia, pois é atribuída a ela a capacidade de mitigar a relação negativa entre crescimento econômico e o meio ambiente. Todas essas pesquisas possuem um ponto em comum: estão baseadas no crescimento material incremental e na substitutibilidade entre os fatores, por meio do uso de tecnologias “limpas”, ampliando a eficiência dos outros fatores de produção e causando menos danos ao meio ambiente. Além disso, a degradação ambiental é considerada parte do “processo” de desenvolvimento econômico de cada país; com exceção da iniciativa “rumo à economia verde” da UNEP, os outros trabalhos não levam em consideração os limites biofísicos da Terra.

Em contraposição à visão otimista da economia ambiental sobre o papel da tecnologia, está a economia ecológica⁶. O precursor desta corrente de pensamento, Georgescu- Roegen, em seu trabalho seminal intitulado *The entropy law and the economic process* (1971), compreende que o crescimento da economia está condicionado aos limites biofísicos da terra. Nesta perspectiva, a economia, assim como os sistemas naturais, deve parar de crescer quando atingir esses limites, isto é, o crescimento econômico deve “cessar” para se adequar aos limites fundamentais da Terra, e o progresso técnico não é capaz de romper com a barreira imposta por esses limites (COSTANZA et.al. 1994).

Além disso, o desenvolvimento tecnológico é visto como um dos elementos que aprofundaram os níveis de degradação ambiental, uma vez que grande parte das tecnologias que foram desenvolvidas, principalmente durante o processo de industrialização, carregam um componente poluidor, ou seja, se baseiam na utilização de materiais tóxicos e no uso intensivo de recursos naturais. Dessa forma, o foco de análise deveria se concentrar em novos níveis de padrões de consumo sob uma nova ótica de desenvolvimento econômico que não seja baseado em um crescimento material exacerbado (VENKATACHALAM, 2006).

Já em um posicionamento mais intermediário, no qual a tecnologia, quando bem formulada e atrelada a novos padrões de consumo, pode auxiliar nas reduções nos níveis de degradação ambiental e utilização de recursos naturais, podemos destacar os trabalhos de Herman Daly (1977; 1997; 2004), que busca desenvolver análises nas quais maiores níveis de bem estar social são alcançados juntamente com padrões ambientais mais elevados, sem, no entanto, gerar níveis acelerados de crescimento econômico. De acordo com Daly (1977), o equilíbrio entre economia e meio ambiente deve ser encontrado em uma economia em estado estacionário no qual a tecnologia possui o papel de auxiliar na manutenção de um patamar fixo de utilização de recursos naturais, sem que isso afete a capacidade de consumo e os níveis de bem estar da população.

Dessa forma, Daly argumenta que, em um dado momento do tempo, o crescimento econômico pode não ser benéfico para a sociedade; melhorias qualitativas nos levariam a alcançar patamares mais elevados de bem estar social, mesmo que isso signifique não incorrer em aumento da produção e consumo. Sendo assim, o nível de

⁶ A Economia ecológica se dedica ao estudo da relação entre economia e o meio ambiente inserindo em sua análise elementos da física e da biologia. Dessa forma, a análise consegue englobar os limites biofísicos do planeta Terra, gerando resultados diferentes caso eles não fossem incluídos na análise.

bem estar social deve ser analisado utilizando-se indicadores que remetam a melhorias qualitativas, e não quantitativas, como por exemplo a evolução do PIB per capita, ou a elevação do nível de consumo, até porque o volume de recursos naturais que podemos utilizar sem incorrer em danos ambientais graves e/ou comprometer o direito das gerações futuras está em um patamar que nos possibilita no máximo manter o nível de capital e produção atuais e não ampliá-los, sendo que a revisão dos padrões de consumo atuais possui grande importância para que se alcance o desenvolvimento sustentável.

Nessa perspectiva, compreende-se que o papel da tecnologia possui uma dualidade: por um lado, ela apresenta um aspecto negativo, ao gerar externalidades negativas não conhecidas, como novas formas de poluição envolvendo dejetos e materiais tóxicos que não era utilizados anteriormente, bem como o fato de que com os avanços no desenvolvimento tecnológico – sendo o setor de microeletrônica relevante nesse processo- impulsionaram o aumento no ritmo e ampliação da escala de produção e consumo. As externalidades negativas geradas atualmente pelo setor de microeletrônica não poderiam ser detectadas décadas atrás. A princípio, esse setor foi considerado não poluente quando comparado a outros setores (LAURIDSEN; JORGENSEN, 2010); as tecnologias desenvolvidas e adotadas pelo setor não geravam grandes impactos ambientais à primeira vista, mas com a ampliação e o desenvolvimento do setor ao longo dos anos foram identificados graves problemas ambientais, entre eles o direcionamento e tratamento dos resíduos sólidos da microeletrônica, que contêm diversos componentes tóxicos e possuem um volume gigantesco, visto que os ciclos de vida dos produtos desse setor são curtos quando comparados a produtos de outros setores. Neste sentido podemos citar alguns produtos tais como os celulares, televisores, DVDs, microcomputadores, entre outros.

Por outro lado, a tecnologia pode ser uma aliada na busca pelo desenvolvimento sustentável, pois quando desenvolvida buscando padrões ambientais mais elevados ela pode substituir outras tecnologias poluentes atualmente adotadas, contribuindo para a redução dos níveis de degradação ambiental. Mesmo assim, isso não significa que os avanços tecnológicos possuam intrinsecamente a capacidade de transpor as barreiras biofísicas do planeta.

Tecnologias ambientais sob a perspectiva evolucionista

Devido à alta complexidade existente nos processos de desenvolvimento tecnológico atuais, os estudos sobre tecnologia devem compreender os seus processos de criação, seleção e desenvolvimento. Dessa forma, não devemos nos ater ao estudo da tecnologia em si, mas em suas relações sócio-técnicas assim definidas (KEMP; SOETE, 1992): essas relações consideram o papel da sociedade e seus atores, tais como: a estrutura da demanda e da oferta, a infraestrutura, entre outros; de forma que para que a tecnologia seja utilizada ela precisa estar em equilíbrio com esses fatores.

A escola evolucionista compreende que o processo de crescimento econômico está intrinsecamente relacionado ao de desenvolvimento tecnológico, sendo este último o grande responsável por ditar o ritmo como essas mudanças ocorrem. Ademais, considera-se que a economia e o desenvolvimento tecnológico são complexos e endógenos ao sistema, afetando e sendo afetados ao mesmo tempo por ele. Além disso, o processo de desenvolvimento tecnológico é não-linear e dependente de conhecimentos previamente acumulados ao longo do tempo, configurando trajetórias tecnológicas que são os "caminhos" que o desenvolvimento tecnológico percorre ao longo do tempo.

Na economia evolucionista destaca-se a abordagem de Sistemas de Inovação (SI). Esta abordagem vem sendo amplamente utilizada para o estudo da inovação tecnológica, à medida em que se reconhece a importância de compreendê-la não como um processo linear – cuja análise deve se restringir às firmas, mas sim como um processo sistêmico e complexo no qual diversos elementos se influenciam e se complementam, evoluindo de forma conjunta e moldando as trajetórias as quais o desenvolvimento tecnológico percorre ao longo do tempo. As organizações "não-firma", a demanda e as instituições – leis, normas de conduta, etc. – também têm um papel importante no desenvolvimento tecnológico. Tal papel pode ser crucial em algumas circunstâncias, nas quais estes elementos podem reduzir a incerteza quanto à informação, controlar conflitos e prover incentivos. No entanto, eles também podem representar obstáculos à inovação, na medida em que podem originar falhas no sistema que dificultem ou detenham os processos de mudança tecnológica.

De forma geral, um Sistema de Inovação pode ser definido como uma rede de organizações públicas e privadas cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias (FREEMAN, 1987; EDQUIST, 1997). O

conceito de sistema utilizado refere-se àquele proposto por Bertalanffy (1975), ou seja, um complexo de elementos (componentes) que se condicionam uns aos outros, trabalhando de forma dinâmica e simultânea em torno de objetivos centrais claramente definidos - embora o sistema não seja conscientemente desenhado⁷ - de forma que a soma dos resultados do funcionamento dos elementos em conjunto é maior do que a soma dos resultados que poderiam ser alcançados por cada um deles individualmente, fora do sistema (BALLESTERO-ALVAREZ, 1990).

O conceito de inovação utilizado na abordagem remete tanto ao sentido geral, ou seja, à criação e/ou difusão de um novo produto ou processo, como ao sentido específico de inovação técnica, ou seja, a introdução de conhecimento novo ou novas combinações de conhecimento tecnológico. O estudo dos sistemas de inovação engloba tanto a inovação per se quanto seu gerenciamento (através de mecanismos que permitam a continuidade, a difusão e o aperfeiçoamento das atividades inovativas).

Embora seja um conceito recente, a literatura acerca dos sistemas de inovação é relativamente ampla e abrangente, incluindo definições de sistemas nacionais (NELSON, 1993), regionais/locais (COOKE et al., 1997) ou até mesmo supranacionais, além dos sistemas de aprendizado (VIOTTI, 2002) e dos sistemas setoriais de inovação (MALERBA, 2002). A divisão entre as dimensões (geográfica, setorial, tecnológica) depende da delimitação do objeto de estudo, embora todas sejam importantes em qualquer sistema de inovação e se complementem.

A abordagem de Sistemas Setoriais de Inovação (SSI) tem como objetivo principal analisar os processos de inovação tecnológica relacionados a um determinado setor da economia, ou seja, a um conjunto de firmas heterogêneas unidas por processos produtivos semelhantes ou por grupos de produtos interligados e que trocam algum conhecimento comum (MALERBA, 2002). Para que se possa compreender a dinâmica e as fronteiras de um SSI, é preciso analisar as transformações nas diferentes dimensões (building blocks) que formam sua estrutura: 1) o comportamento da demanda do mercado; 2) o regime tecnológico e a base de conhecimentos utilizados nas atividades inovativas do setor; 3) os atores e suas relações e 4) as instituições⁸ que determinam o comportamento dos atores e da demanda (BRESCHI & MALERBA, 1997;

⁷ Alguns autores discordam desta afirmação dizendo que alguns sistemas podem ser "desenhados" por atores como o governo, através de planejamento estratégico (EDQUIST, 1997).

⁸ As instituições consistem nas normas, rotinas, hábitos comuns, práticas estabelecidas, contratos, regras, leis e demais padrões que condicionam os gostos e o comportamento dos agentes e da demanda (EDQUIST, 1997; MALERBA, 2002).

MALERBA, 2002; MALERBA & MANI, 2009).

Quanto à primeira dimensão, as diversas rotinas, inércia e hábitos que os consumidores/usuários adotam em relação ao consumo têm o poder de estimular a criação de novos mercados (demandando o desenvolvimento de novos produtos para nichos específicos, por exemplo) e desencadear (ou impedir) mudanças nos produtos existentes (influenciando as respectivas trajetórias tecnológicas) através dos seus hábitos de consumo e da percepção das firmas sobre as expectativas e valores dos consumidores. O comportamento da demanda pode modificar-se devido a mudanças no ambiente econômico, social e cultural, bem como através de alterações no nível de conhecimento dos consumidores, ao exigir produtos de maior qualidade ou que atendam a gostos específicos, fatores que exigem das firmas constantes investimentos em diferenciação ou criação de novos produtos. A demanda também influencia os processos inovativos através das capacitações absorptivas dos usuários responsáveis por testar novos produtos (*experimental users*): são consumidores que mantêm contato direto com as firmas e conseguem identificar falhas e oportunidades em seus produtos, gerando conhecimentos importantes para seus processos de desenvolvimento incremental.

A segunda dimensão setorial diz respeito à identificação das características do regime tecnológico, em termos de domínio tecnológico, da base e dos fluxos de conhecimento⁹ utilizados pelos diversos atores em seus processos inovativos num determinado setor. O regime tecnológico (RT), que de acordo com a definição de Nelson & Winter (1982) basicamente representa procedimentos e características usuais das estratégias de inovação das firmas, tem um papel fundamental na definição da estrutura industrial de um sistema setorial de inovação: suas características fundamentais (condições de oportunidade, apropriabilidade, cumulatividade do conhecimento e a natureza da base de conhecimento) determinam parcialmente¹⁰ a dinâmica e a intensidade dos processos de competição e seleção, além das fronteiras setoriais.

A base de conhecimentos do setor também define parcialmente sua dinâmica inovativa através das oportunidades de desenvolvimento de novos produtos ou processos a partir da criação ou recombinação dos pacotes de conhecimentos que são o

⁹ Não apenas o conhecimento tecnológico, mas o conhecimento acerca da demanda do mercado, conhecimento organizacional, etc.

¹⁰ As fronteiras setoriais e os mecanismos de seleção também são determinados pela dinâmica da demanda, e a competitividade também é determinada pela organização interna das firmas.

resultado das pesquisas aplicadas desenvolvidas pelos atores do sistema (os quais incluem as universidades e centros de pesquisa públicos) ou mesmo pela absorção de conhecimentos técnicos advindos de outros setores. Adicionalmente, a falta de conhecimentos necessários para se desenvolver determinada tecnologia também pode ser uma importante fonte de falhas no sistema, ainda que todos os outros elementos (demanda, instituições, atores) trabalhem no sentido de encorajar tal desenvolvimento.

Os atores, a terceira dimensão do SSI, são aqueles elementos que efetivamente são os responsáveis pelos processos de mudança tecnológica. Suas características e suas inter-relações constituem também determinantes da dinâmica inovativa do setor. Em geral, os "atores principais" (key actors) são as firmas produtoras dos bens que caracterizam o setor e/ou seus componentes. Estas são as principais geradoras e usuárias das novas tecnologias e a unidade de análise básica dos estudos industriais. No entanto, outras instituições como universidades, agências de financiamento e organizações governamentais também têm um papel importante. Esses atores, muitas vezes considerados como "coadjuvantes", dão suporte fundamental às firmas nos processos de inovação - incluindo a difusão tecnológica, especialmente nos casos em que a geração de conhecimentos menos aplicados se faz necessária para o desenvolvimento inovativo do setor.

O papel de cada um desses atores pode variar de acordo com o tempo e o setor analisado, tendo maior ou menor importância no sistema dependendo de como se comportam algumas variáveis, como as restrições de capital, a importância da pesquisa científica e o papel de cada firma na cadeia de valor. Além disso, cada um tem diferentes objetivos, competências e comportamentos que influenciam no sistema.

Por último, a dimensão referente às instituições, que, segundo a definição mais aceita pela abordagem de Sistemas de Inovação (EDQUIST, 1997; MALERBA, 2002), consistem nas normas, rotinas, hábitos comuns, práticas estabelecidas, contratos, regras, leis e demais padrões que influenciam a visão, os gostos e o comportamento dos agentes e da demanda, que por sua vez alteram a dinâmica dos processos inovativos, seja através de exigências técnicas ou incentivos à atividade inovativa pelos agentes, além das formas de proteção da propriedade intelectual que garantem às firmas inovadoras a apropriação das tecnologias desenvolvidas.

Para facilitar a análise empírica, as instituições podem ser divididas em duas categorias: as do tipo hard e soft (NORTH, 1990). As primeiras são instituições formais que estimulam (ou restringem) os esforços inovativos dos atores do sistema, como os

instrumentos políticos. As segundas são as normas implícitas que regem o comportamento dos atores e da demanda, como as regras sociais, o espírito empresarial, a atmosfera cultural, aversão ao risco, etc.

As principais instituições do tipo hard são as instituições políticas, que representam as diversas formas pelas quais os formuladores de políticas influenciam direta e indiretamente nos processos de inovação dos diversos setores da economia. São exemplos de instituições políticas as leis de inovação e proteção da propriedade intelectual e incentivos fiscais relacionados às atividades inovativas pelas firmas, além de normas e padrões técnicos, impostos, tarifas alfandegárias, leis e políticas ligadas à competitividade e infra-estrutura etc. De maneira geral, são instituições formais baseadas em fundamentos legais, criadas conscientemente pelos *policy makers* em diversos níveis (nacional, regional, setorial, local). Dependendo dos instrumentos utilizados e do contexto em que são aplicadas, as instituições podem incentivar ou restringir os processos de mudança tecnológica. Na verdade, um mesmo instrumento pode exercer diferentes impactos na inovação dependendo do setor analisado (OLTRA & SAINT JEAN, 2008).

Todas as dimensões de um SSI interagem e se influenciam mutuamente em determinado nível, específico a cada setor. As firmas têm reações diversas na tentativa de “sobreviver” aos mecanismos de seleção inseridos nesse ambiente particular¹¹ e suas estratégias acabam por influenciar o próprio ambiente. Nos SSI também se verifica a presença de “rigidezes” ou “falhas sistêmicas” que, por vezes, impedem ou dificultam a transição entre diferentes estágios do desenvolvimento tecnológico e reduzem a eficiência do sistema de inovação, gerando ineficiências na criação, no processamento e na difusão do conhecimento tecnológico e levando a processos de seleção que primam por opções tecnológicas, práticas organizacionais e firmas inadequadas (OLTRA & SAINT JEAN, 2009; BACH & MATT, 2005). Tais falhas são geralmente relacionadas a fenômenos como a dependência da trajetória (*path dependence*) de acumulação de conhecimento, a existência de *lock-ins*, a incapacidade das firmas de se adaptarem a novos ambientes, a dificuldade de alterar uma infra-estrutura (física e/ou institucional) estabelecida, a falta de coordenação e complementaridade entre os atores, a falta de apoio institucional, entre outros.

¹¹ É interessante notar que a abordagem de sistemas de inovação utiliza diversos conceitos evolucionistas, como as noções de mecanismos de criação, replicação e seleção, que aqui se estendem à todo o sistema (SAVIOTTI, 1997; MCKELVEY, 1997).

Dentre as principais falhas sistêmicas, Woolthuis et al. (2005) e Weber & Rohracher (2012) destacam dois grandes grupos: as falhas estruturais e as falhas transformacionais. No primeiro grupo, que compreende as falhas relacionadas à estrutura do sistema, podemos identificar as seguintes falhas:

- Falhas de infraestrutura: déficits na infra-estrutura física necessária para desenvolver as atividades inovativas.

- Falhas institucionais: falta de estrutura institucional necessária para a criação/difusão de novas tecnologias. A estrutura institucional refere-se tanto às instituições do tipo hard, ou seja, os instrumentos políticos, quanto as instituições do tipo soft, referentes à questões culturais, normas sociais e valores fundamentais da sociedade.

- Falhas de interação: falhas nas interações (entre os atores) necessárias para desenvolver as novas tecnologias. Muitas vezes, essas falhas não estão relacionadas à falta de interação entre os atores, pelo contrário, elas podem estar ligadas à existência de interações muito densas, embora relacionadas às tecnologias "tradicionais". Portanto, existiria uma dificuldade em gerar e difundir conhecimentos acerca de novas tecnologias nessas redes complexas.

- Falhas de capacitações: referem-se à falta de capacitações tecnológicas, absorptivas e organizacionais necessárias para as firmas se adaptarem a mudanças no ambiente e a novas oportunidades tecnológicas.

-As falhas transformacionais, por sua vez, não estão necessariamente relacionadas à estrutura, mas sim às características de cada processo de transição. Os autores identificam as seguintes falhas:

- Falha direcional: não é preciso apenas gerar inovações eficientemente, mas também gerar inovações que contribuam para direções específicas de mudança tecnológica que atendam às necessidades da sociedade, nem sempre relacionadas à eficiência técnica e econômica. Muitas vezes essa falha é verificada nos casos em que existe "miopia" por parte das firmas e dos *policy makers*, que formulam suas estratégias baseados em cenários de curto prazo. É possível também que não haja consenso suficiente entre os diversos atores envolvidos sobre qual direção o desenvolvimento tecnológico deve seguir.

- Falhas de articulação da demanda: referem-se à incapacidade por parte das firmas em antecipar e reconhecer as necessidades de seus usuários e utilizar esse conhecimento no desenvolvimento de novos produtos.

- Falhas de coordenação política: falhas de coordenação das políticas necessárias ao desenvolvimento de novas tecnologias nos diferentes níveis (setorial, nacional, local e supranacional). Essas falhas também se relacionam ao timing de aplicação de determinadas políticas, que pode levar à escolha de trajetórias tecnológicas sub-ótimas.

- Falhas reflexivas: estão associadas à incerteza fundamental associada aos processos de mudança tecnológica. Trata-se da falta de auto-governança entre os atores do sistema e monitoramento dos progressos em direção aos objetivos do sistema, uma vez que suas transformações já estejam em curso.

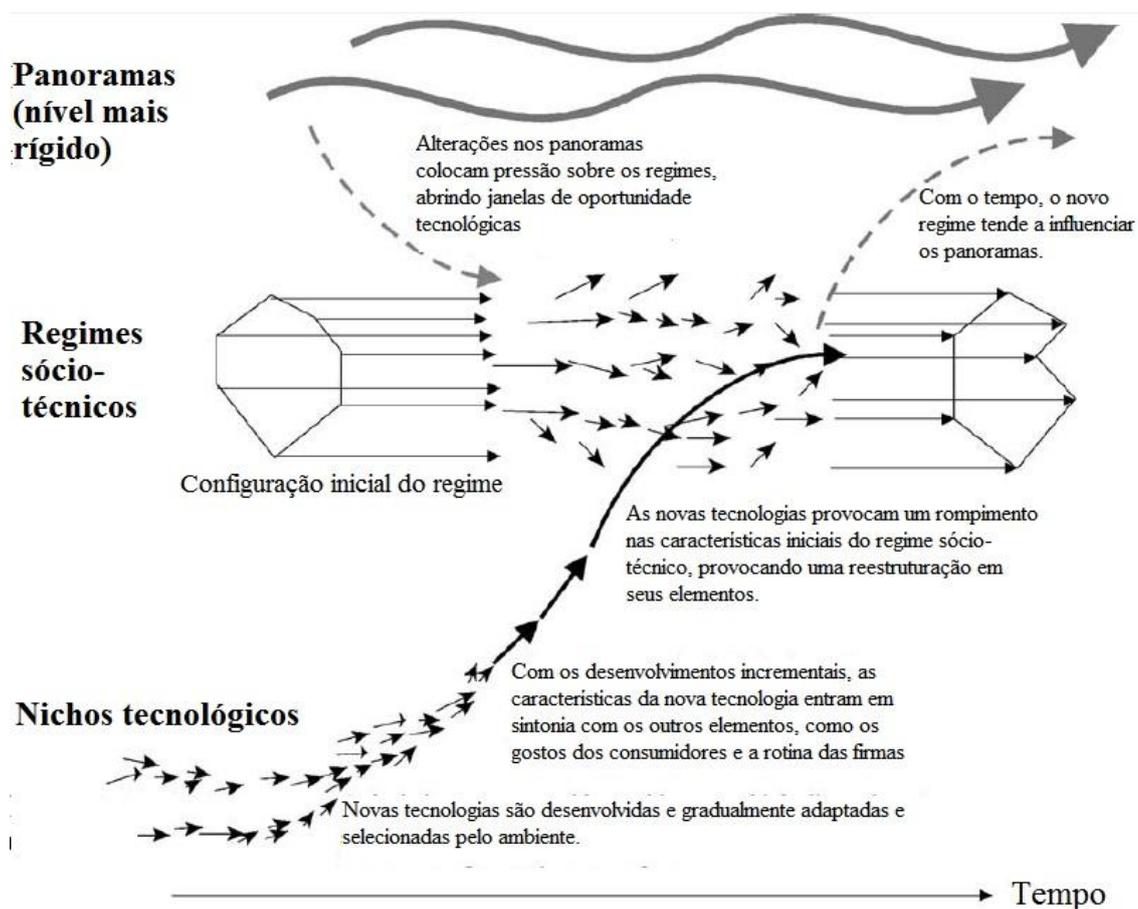
Recentemente, diversos autores vêm contribuindo com novos elementos para a análise de sistemas setoriais de inovação, visando especialmente explicar o fenômeno das transições tecnológicas rumo ao desenvolvimento sustentável. Um exemplo é o dos autores que tratam das transições sistêmicas, ou seja, a forma com que um sistema de inovação transforma sua estrutura e funcionamento ao longo do tempo como resultado de alterações no comportamento e natureza dos seus elementos (WEBER & ROHRACHER, 2012). Essa abordagem utiliza o conceito de sistemas sócio-técnicos: segundo Geels (2004), os sistemas sócio-técnicos ampliam a análise de SSI, englobando - além das dimensões econômica e técnica contidas na análise de SSI - também a dimensão social da mudança tecnológica, ou seja, a forma como as tecnologias influenciam (e de certa forma, determinam) o comportamento da sociedade e vice-versa.

Nesse sentido, destaca-se a abordagem de *multi-level perspectives* (perspectivas multi-níveis, numa tradução livre), que busca entender de forma ainda mais ampla como se dá a introdução e difusão de uma inovação tecnológica radical, desde sua introdução no mercado através de nichos tecnológicos até sua incorporação pelos “regimes sócio-técnicos” e “panoramas” (*landscapes*), tornando-se uma tecnologia amplamente difundida (Ver Figura 5) (RIP & KEMP, 1998; GEELS, 2002; GEELS 2004). Os nichos seriam as “incubadoras” para gestação das novas tecnologias, protegendo-as da seleção do mercado “principal” (*mainstream market*) e criando um ambiente no qual os agentes têm tempo e espaço para aprender mais sobre o funcionamento e as características técnicas e aumentar a sintonia entre tais características e os outros elementos, como os gostos dos consumidores e o ambiente institucional. Nos nichos, as regras e instituições

são flexíveis e o comportamento das firmas privilegia a experimentação ao invés da adoção de rotinas.

À medida que o design e as características de uma tecnologia vão se consolidando, ela vai se difundindo e passa a influenciar os “regimes sócio-técnicos” (Ver Figura 5), que são os caminhos pelos quais o desenvolvimento tecnológico percorre e que se diferenciam dos nichos pelo estabelecimento de networks entre os agentes, por terem regras menos flexíveis e um compromisso maior com a adoção de rotinas de desenvolvimento tecnológico e comportamento das firmas, demanda e instituições. Em outras palavras, a adoção contínua das novas tecnologias faz com que as atividades de desenvolvimento tecnológico de um setor passem a considerá-las como elementos cada vez mais importantes. Por fim, quando uma tecnologia é amplamente adotada num setor, ela passa a influenciar os “panoramas”, que são os aspectos exógenos que influenciam o desenvolvimento tecnológico e se caracterizam por serem os elementos mais rígidos. Compõem os panoramas, entre outros fatores, os valores e as crenças compartilhadas pelos consumidores e a infra-estrutura material que dá suporte às tecnologias estabelecidas (GEELS, 2004). Portanto, segundo essa abordagem, as mudanças tecnológicas mais profundas teriam início a partir do desenvolvimento de novos nichos ou a partir de mudanças exógenas nos panoramas setoriais.

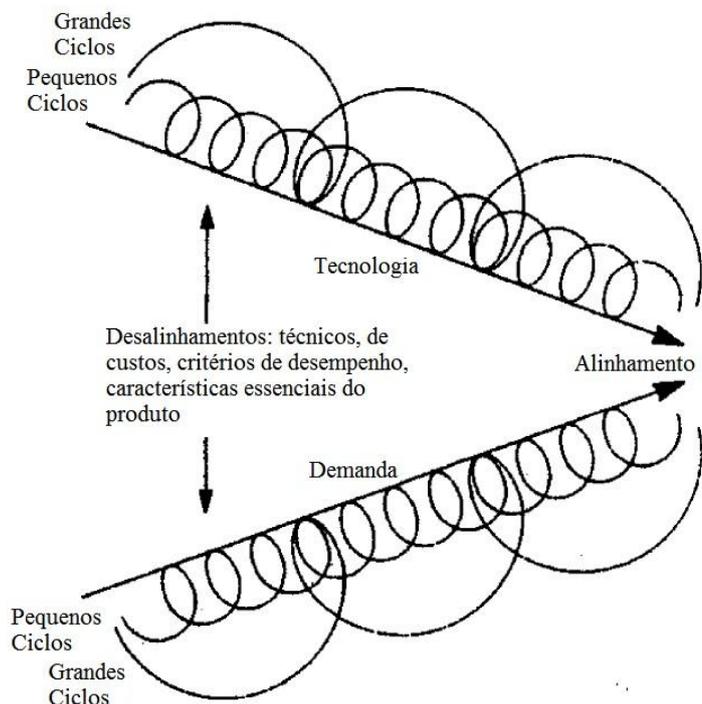
Figura 5- A perspectiva “multi-níveis” da dinâmica tecnológica



Fonte: Adaptado de Geels (2004).

Uma das vantagens dos sistemas sócio-técnicos é a melhor compreensão dos processos de múltiplas adaptações e feedbacks (co-evolução) entre o regime tecnológico e o comportamento da demanda, um fenômeno importante para explicar a transição para tecnologias “limpas”. Estes processos são marcados por ciclos curtos e longos de adaptação tecnológica incremental e de adaptação do comportamento dos usuários. Uma vez que o comportamento dos usuários esteja alinhado com as características técnicas dos produtos, é muito difícil recomençar o processo (o que significaria alterar características do “panorama” a partir da introdução de novas tecnologias), introduzindo uma tecnologia que esteja desalinhada do comportamento dos usuários (Figura 6).

Figura 6- A Co-evolução da tecnologia e da demanda



Fonte: Adaptado de Leonard-Barton (1988 apud GEELS, 2004).

A abordagem de perspectivas multi-níveis consegue interligar a dinâmica do sistema em diversos níveis, desde os micro-processos de formação de nichos tecnológicos, passando pela transformação dos regimes sócio-técnicos (meso-processos) até os macro-processos de transformação dos panoramas (*landscapes*), que seriam uma descrição do ambiente setorial de forma ampla. Entretanto, essa abordagem não possui o rigor analítico da abordagem de sistemas setoriais de inovação. Nesse sentido, trabalhos como o de Weber & Rohracher (2012) e Markard & Truffer (2008) defendem a combinação de elementos das abordagens de Sistemas Setoriais de Inovação e Perspectivas Multi-níveis para que se possa compreender a dinâmica inovativa dos setores, principalmente em relação à introdução e difusão de tecnologias ambientalmente sustentáveis: a construção da análise de SSI através dos seus respectivos *building blocks* seria acompanhada da análise dos nichos, regimes sócio-técnicos e panoramas referentes ao setor em questão. Esta combinação geraria um conjunto de instrumentos analíticos satisfatórios para a investigação das transições tecnológicas rumo a padrões ambientalmente sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cada dia aumenta-se o consenso de que serão necessárias mudanças radicais nas tecnologias de produto e processo atuais, de forma a utilizar com mais eficiência os recursos naturais e reduzir significativamente seu impacto sobre o meio ambiente. Como apontam Kemp et al. (2007), o desenvolvimento sustentável é um processo que envolve múltiplas transições tecnológicas. Cada uma dessas transições envolve, por sua vez, processos de co-evolução entre os elementos dos sistemas de inovação de cada setor.

O fato é que, talvez pela primeira vez na história moderna, tenta-se alterar deliberadamente a trajetória de desenvolvimento tecnológico em direções que não geram, necessariamente, produtos superiores ou processos mais eficientes do ponto de vista do bem estar material da sociedade e dos custos de produção. Nesse processo, estão presentes diversas "rigidezes" (*hardness*): os processos de criação e desenvolvimento de novas tecnologias dependem, dentre outros fatores, das capacitações tecnológicas das firmas e do estoque de conhecimentos disponível, que por sua vez são marcados por dependência da trajetória (DOSI, 1988). Além disso, grande parte das tecnologias "tradicionais" passou por um longo período de adaptação e inovação incremental, o que as torna superiores em vários aspectos (custo de produção, preço, desempenho), quando comparadas com as novas tecnologias "limpas". Essa situação desestimula a adoção dessas novas tecnologias, o que por sua vez reduz as oportunidades de investimento no desenvolvimento incremental das mesmas (o que poderia eventualmente reduzir o diferencial de desempenho entre ambas), configurando-se num problema do tipo *chicken and egg*, em que não há incentivos para incorrer em mudanças no sistema.

As rigidezes mencionadas não se manifestam apenas em aspectos técnicos, pois as tecnologias não são "instrumentos neutros", mas sim elementos que alteram gradualmente nossas percepções, padrões de comportamento e atividades. Esta relação ocorre também no sentido inverso: o comportamento e as percepções da sociedade têm o poder de alterar ou ainda dificultar a alteração das trajetórias de desenvolvimento tecnológico, e o mesmo vale para o ambiente institucional. A difusão do automóvel movido a combustíveis fósseis, por exemplo, transformou o comportamento da sociedade e das instituições ao longo do Século XX, criando uma cultura de valorização e dependência deste meio de transporte, símbolo de status, potência e liberdade.

Entretanto, ao criar padrões de comportamento e percepções próprios, a difusão em massa do automóvel movido a combustão interna impede a adoção de tecnologias alternativas que impliquem em modificações maiores na infraestrutura e no comportamento dos consumidores.

Analisando o perfil de alguns dos setores apontados como principais responsáveis pelos impactos ambientais, percebe-se que, em geral, são setores tecnologicamente maduros, ou seja, cujo regime tecnológico é baseado em inovações incrementais a partir de tecnologias (de produto e/ou de processo) bem estabelecidas. É o caso, por exemplo, do motor à combustão para a indústria automotiva, dos produtos baseados em derivados do petróleo para a indústria química e também dos processos produtivos intensivos em energia de indústrias como a de fabricação de cimento e da indústria siderúrgica.

Uma vez que o desenvolvimento sustentável implica em mudanças tecnológicas mais profundas e na co-evolução dos elementos do SSI, seria conveniente questionar se esses setores estariam passando por processos de “desamadurecimento” (*de-maturity*) tecnológico (ABERNATHY et al., 1983). Analisando o perfil das atuais tecnologias, as instituições, a demanda e a intensidade dos investimentos em atividades inovativas, Faria (2011) encontra diversas evidências de que o setor automotivo esteja passando tal processo e que as preocupações com o meio ambiente seriam um dos principais motivos, embora existam diversas rigidezes e falhas sistêmicas que dificultam a difusão das tecnologias alternativas. Sendo assim,

Sendo assim, a cada dia a necessidade de mudanças tecnológicas profundas e contínuas visando alcançar estágios superiores de desenvolvimento sustentável e torna mais aparente e por sua vez, vem sendo defendida por autores de diversas escolas de pensamento sob diferentes pontos de vista. Especificamente dentre os autores que tratam de temas relacionados à Economia da Inovação e Organização Industrial, merece destaque o trabalho de Christopher Freeman, que já em 1996 defendia a idéia de que mudanças na trajetória tecnológica rumo ao desenvolvimento sustentável seriam indispensáveis (FREEMAN, 1996), bem como diversos outros trabalhos de autores respeitados (KEMP & SOETE, 1992; MOWERY et. al., 2010; PORTER & van der LINDE, 1995) que também discutem a questão da mudança tecnológica e sustentabilidade. Entretanto, há um consenso geral entre os autores citados de que esse processo de mudança tecnológica possui um caráter complexo e sua análise – particularmente a análise dos mecanismos que induzem ou dificultam essa mudança -

ainda é bastante limitada, o que implicaria na necessidade de uma perspectiva analítica igualmente complexa e dinâmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNATHY, W. J. & CLARK, K. B. **Innovation: Mapping the winds of creative destruction**. Research Policy, 1984, 14, p. 3-22.

ABERNATHY, W. J.; CLARK, K. B. & KANTROW, A. M. **Industrial Renaissance**. New York: Basic Books, 1983.

AGRAS, Jean ;CHAMPMAN, Duan. **A Dynamic Approach to The Environmental Kuznets Curve Hypothesis**. Ecological Economics, 1999, v.28, pp. 267-277.

ARUNDEL, Anthony; KEMP, René; PARTO, Saeed. **Indicators for environmental innovation : How to measure**, 2006.

ARUNDEL, Anthony.; KEMP, René. **Measuring Eco-Innovation**. UNU-MERIT Working Paper 2009, Series 017, United Nations University, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.

BACH, Laurent.; MATT, Mireille. **From economic foundations to S&T policy tools: a comparative analysis of the dominant paradigms**. In P. Llerena and M. Matt, Innovation policy in a knowledge-based economy, Springer-Verlag, 2005.

BALLESTERO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. **Organização, Sistemas e Métodos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

BAMETT, J. Harold; MORSE, Chandler. **Scarcity and Growth: the Economics of Natural Resource Availability**, John Hopkins, Baltimore, 1963.

BRESCHI, Stefano; MALERBA, Franco. **Sectoral Innovation Systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics and spatial boundaries**. In: Edquist, C. (ed.), 1997, Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.

COOKE, Phillip; GOMEZ-URANGE, Mikel; ETXEBARRIA, Goio. **Regional Innovation Institutional and Organizational dimensions**. Research Policy, 1997, nº 4-5, pp. 475-493.

COSTANZA Robert; SEGURA, Olman; MARTINEZ- ALIER, Juan. **Getting Down to Earth. Practical Applications of Ecological Economics**, Washington D.C., Island Press, 1994.

COSTANZA, Robert; PERRINGS, Charles; CLEVELAND, Cutler. **The Development of Ecological Economics**, Edward Elgar, London, 1997.

COSTANZA, Robert; CUMBERLAND, John; DALY, Herman; GOODLAND, Robert.; NORGAARD, Richard. **An Introduction to Ecological Economics**, St. Luis Press, 1997.

DOSI, Giovanni. **Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation**. Journal of Economic Literature, 1988, Vol. 26 (3), pp. 1120-1171.

EDQUIST, Charles. **Design of innovation policy through diagnostic analysis: identification of systemic problems (or failures)**. Industrial and Corporate Change, 2011, vol. 20 (6), pp. 1725-1753.

EDQUIST, Charles. (ed.) **Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations**. London and Washington: Pinter/Cassell Academic, 1997.

FARIA, Lourenço. G. D. **A co-evolução dos elementos do Sistema Setorial de Inovação do Setor Automotivo**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Economia, FCLAr/UNESP, 2012.

FREEMAN, Christopher. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London/New York: Frances Printer Publishers, 1987.

FREEMAN, Christopher. **The Greening of Technology and Models of Innovation**. Technological Forecasting and Social Change 53 1996, pp. 27-39.

GEELS, Frank. **Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study**. Research Policy 31, 2002 , pp. 1257–1274.

GEELS, Frank. **From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory**. Research Policy 33 2004, pp. 897-920.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**, Cambridge: Harvard University Press, 1971.

GROSSMAN, Gene.M. ; KRUEGER Alan, B., **Environmental impacts of a north American free trade agreement**. NBER Working paper, Cambridge, MA, 1991.

HARTWICK, John. M. **Intergenerational equity and the investing of rents: from exhaustible resources**, American Economic Review, 1977, vol. 67, No. 5.

HEKKERT, Marko, *et al.* **Functions of Innovation Systems: A new approach for analyzing technological change**. Technological Forecasting & Social Change 74 ,2007, pp. 413-432.

DALY, Herman. **Steady-state economics**, San Francisco, 1997.

DALY, Herman. **Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development**. Boston: Beacon Press, 1997.

DALY, Herman; FARLEY, Joshua. **Ecological Economics: Principles and application**. Washington: Island Press, 2004.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

KEMP, René. & SOETE, Luc. **The Greening of Technological Progress**. Futures, Jun/1992, pp. 437 457.

KEMP, René; LOORBACH, Derk; ROTMANS, Jan. **Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development**. The International Journal of Sustainable Development and World Ecology, (2007), vol. 14 (1), Nov. 2007, pp. 78-91.

LAURIDSEN, Erik; JORGENSEN, Ulrik. **Sustainable transition of electronic products through waste policy**. Research Policy 39(2010), pp486-494.

LEONARD-BARTON, Dorothy, **Implementation as mutual adaptation of technology and organization**. Research Policy 17, (1988), pp. 251–267.

MALERBA, Franco; MANI, Sunil. **Sectoral Systems of Innovation and Production in Developing Countries: actors, structure and evolution**. Edward Elgar Publishing, 2009.

MALERBA, Franco. **Sectoral Systems of Innovation and Production**. Research Policy 31 (2002), pp. 247-264.

MALERBA, Franco. **Innovation and the evolution of industries**. Journal of Evolutionary Economics, (2005), pp 3-23.

MALERBA, Franco. **Sectoral Systems of Innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004

MARKARD, Jochen; TRUFFER, Bernhard. **Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework**. Research Policy 37, (2008) pp. 596–615.

MAY, Peter. H. **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. Editora Campus/ECOECO. São Paulo cap 5, 2003.

McKELVEY, Maureen. **Using Evolutionary Theory to Define Systems of Innovation**. In: EDQUIST, Charles. (ed.) (1997), Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.

MEADOWS, Donella, H. **The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind**. New York: Universe Books, 1972.

MOWERY, David; NELSON, Richard. R.; MARTIN, Ben. **Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work)**. Research Policy 39 (2010), pp. 1011-1023.

NELSON, Richard. & WINTER, Sidney. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.

NELSON, Richard. (ed.) **National Innovation Systems: a comparative analysis**. New York, Oxford: Oxford University, 1993.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Website: <http://www.oecd.org/>.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). **The Measurement of Scientific and Technical Activities: Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technical Innovation Data** (the Oslo Manual), Paris: OECD, 1997.

PORTER, Michael. E. & van der LINDE, Claas. **Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship**. Journal of Economic Perspectives,(1995) vol. 9 (4), pp. 97-118.

RIP, Arie; KEMP, René. **Technological change**. In: RAYNER, S.; MALONE, E.L. (Eds.). *Human Choice and Climate Change – Resources and Technology*. Columbus: Battelle Press, 1998.

SAVIOTTI, Pier Paolo. **Innovation Systems and Evolutionary Theories**. In: EDQUIST, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter/Cassell Academic.

SMULDER, Sjak. & BRETSCHGER, Lucas. **Explaining Environmental Kuznets Curves: How Pollution Induces Policy and New Technologies**. Workingpaper, Tilburg University, 2001, p.25.

SOLOW, Robert. M. **Georgescu-Roegen versus Solow-Stiglitz**. *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 87, (1997), pp. 433-435, Mat.

SOLOW, Robert. M. **The Economics of Resources or the Resources of Economics**. Richard T. Ely Lecture, *American Economic Review*, (1974), pp1-14.

STOKEY, Nancy Laura, **Are There Limits to Growth?** *International Economic Review* n. 39, (1998), pp.1–31.

VENKATACHALAM, Lakshmi. **Environmental economics and ecological economics: Where they converge?**, *Ecological Economics*, 2006.

VIOTTI, Eduardo, B. **National Learning Systems – A new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brasil and South Korea**. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 69, (2002), pp. 653-680.

WEBER, K. Matthias; ROHRACHER, Harald. **Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework**. *Research Policy* 41 (2012), pp. 1037-1047.

WOOLTHUIS, Rosalinde Klein, *et al.* **A system failure framework for innovation policy design**. *Technovation* 25, (2005), pp. 609–619.