UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Economia

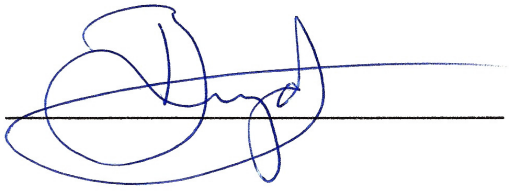
"Eco-inovação na Universidade: uma Análise das Patentes da Universidade Estadual de Campinas"

Rafael Kellermann Barbosa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP para obtenção do título de **Mestre em Desenvolvimento Econômico**, área de concentração:**Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente**, sob a orientação do **Prof. Dr. Bastiaan Philip Reydon.**

*Este exemplar corresponde ao original da dissertação defendida por **Rafael Kellermann Barbosa**, em **14/02/2011** e orientada pelo **Prof. Dr. Bastiaan Philip Reydon.***

CPG, 14/02/2011.



Campinas, 2011

Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca do Instituto de Economia/UNICAMP

Barbosa, Rafael Kellermann.
R234e Eco-inovação na universidade: uma análise das patentes da Universidade Estadual de Campinas/ Rafael Kellermann Barbosa. – Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Bastiaan Philip Reydon.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Universidade Estadual de Campinas. 2. Economia ecológica. 3. Inovações tecnológicas – Aspectos ambientais. 4. Patentes. I. Reydon, Bastiaan Philip. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. II. Título.

11-017-BIE

Título em Inglês: University eco-innovation: the State University of Campinas patent analysis
Keywords: Ecological economics ; Technological innovations – Environmental aspects ; State University of Campinas ; Patent
Area de Concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente
Titulação: Mestre em Desenvolvimento Econômico
Banca examinadora: Prof. Dr. Bastiaan Philip Reydon
Prof. Dr. Sergio Luiz Monteiro Salles Filho
Prof. Dr. Maurício de Carvalho Amazonas
Data da defesa: 14-02-2011
Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico

Dissertação de Mestrado

Aluno: **Rafael Kellermann Barbosa**

"Eco-inovação na Universidade: uma Análise das Patentes da Universidade Estadual de Campinas"

Defendida em 14 / 02 / 2011

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Bastiaan Philip Reydon
Instituto de Economia / UNICAMP

Prof. Dr. Sergio Luiz Monteiro Salles Filho
FCA / UNICAMP

Prof. Dr. Maurício de Carvalho Amazonas
UNB

DEDICATORIA

Dedico este trabalho ao meu Pai, Mãe, Irmã e Esposa. Cada um à sua maneira fizeram desta minha vontade uma verdade, dos momentos fáceis alegres e dos difíceis "atravessáveis".

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus queridos pais Mauricio e Iaci, pois esta dissertação não é resultado somente desses "poucos" anos de mestrado, mas de 23 anos de estudos. Desde o infantil, passando pelo fundamental, médio e faculdade (ou seja lá como se chamam essas fases hoje em dia), todos financiados, apoiados e acompanhados com amor e carinho. Estes passos me deram maturidade intelectual e emocional suficiente para concluir mais esta fase.

Sou grato à minha irmã Marielle pelo exemplo de dedicação ao estudo, brilhantismo intelectual, carinho incondicional e conversas inspiradoras.

Agradeço à minha querida esposa Paula que me inspira com sua admiração pela natureza e motivação para desenvolver um trabalho que pudesse contribuir para a construção de um mundo melhor e mais ecológico. Além, claro, do carinho, amor e atenção que me dedica.

Agradeço à CAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado a qual permitiu o foco necessário à um trabalho desta envergadura.

Ao meu caro orientador Bastiaan Philip Reydon meus sinceros agradecimentos pela confiança, pelo estilo tranquilo e amigável, que temperou o andamento dos meus estudos tornando-os mais enriquecedores e, acima de tudo, por ter se mostrado um amigo de alto valor.

Ao professor Ademar Romeiro a quem atribuo boa parte do meu conhecimento e reconhecimento pela economia ecológica e sua interpretação da realidade.

À Agência de Inovação da Unicamp na pessoa do professor Lotufo e da minha amiga Iara, que foram elos importantes para a obtenção de informação e formação de conhecimento a respeito da inovação na universidade.

Agradeço também aos meus colegas de turma que tornaram a convivência tão alegre, prazeirosa e enriquecedora quanto podiam, principalmente: Beatriz Tamaso Mioto, Régis Oliveira, Isabel Viegas, Dennis, Gustavo, Rúbia, Luciana, Petterson, Herrera, Daniel (palitinho), Juliana, Trovão, Armando, Carol, Camilas (Mineira e Paranaense), André Calixtre e outros que podem ter me escapado no momento.

Resumo

A dissertação utiliza dados patentários para discutir as principais características e determinantes da eco-inovação na Universidade Estadual de Campinas. A definição de eco-inonvação se baseia no conceito neo-shumpeteriano de progresso técnico e no debate econômico ecológico sobre o papel da tecnologia na construção do desenvolvimento sustentável. A revisão teórica a respeito deste tema indica que a tecnologia tem função essencial na construção do estado estacionário à medida que permite ao sistema econômico elevar a provisão de serviços mantendo estável o volume de matéria e energia consumido. Contudo, o uso das tecnologias deve observar a existência de limites ecossistêmicos. Limites esses que tem influenciado a dinâmica de geração de inovações através de sua ação sobre o ambiente seletivo, direcionando os agentes que integram o sistema nacional de inovação para a geração e adoção de soluções ambientalmente amigáveis. Sendo a universidade um desses agentes, foram usadas patentes para identificar se esta também está sujeita às mesmas influências. A análise descritiva das patentes depositadas pela Unicamp indica que a dinâmica inovativa da mesma guarda semelhanças e diferenças em relação às demais instituições. Mudanças institucionais/legais podem elevar a atividade patentária da universidade bem como a interação entre essa e as empresas privadas. Todavia, as pressões seletivas a que está sujeita a universidade geram respostas diferentes das observadas para a inovação em geral. Predominam as eco-tecnologias de processo em relação às de produto e tecnologias mais limpas sobre fim-de-tubo (end-of-pipe). Em relação às demais patentes desta universidade, as eco-patentes são mais licenciadas e tem maior proporção de parcerias, principalmente com instituições privadas. Além dessas conclusões pode-se extrair deste trabalho uma revisão teórica a respeito do uso de patentes e eco-patentes por universidades; uma proposta de classificação das mesmas que considera alguns preceitos econômico ecológicos; e uma breve descrição das percepção de alguns inventores da Unicamp a respeito da dinâmica eco-inovativa.

Palavras-chave: economia ecológica, eco-inovação, universidade, patentes.

ABSTRACT

This work uses patent data to discuss State University of Campinas eco-innovation features and determinants. Eco-Innovation definition is based on technological progress neo-shumpterian concept and ecological economics debate concerning technology role on the sustainable development construction. Theoretical review indicates that technology is an essential aspect of steady-state economy construction as it allows service provision growth with constant matter and energy consumption. However, technology use must consider ecosystem limits. This limits has influenced innovation generation dynamics through its effect on selective environment, driving national innovation system agents towards environmentally friendly solution generation and adoption. Considering University one of its agents, patent data is used to identify if it is under the same sort of influence. Unicamp's patent descriptive analysis show's that it has both similarities and differences comparing to other institutions as private companies. Institutional and legal changes are able to increase university patent activities as its private firms interactions. Nevertheless, selective pressures impulse in university innovation creates different effects. They are predominantly eco-innovation product instead of process and cleaner technology instead of end-of-pipe. Compared to the others patent within the university, eco-innovations are more transferred and has larger share of collaborative initiatives, especially with private institutions. Beyond this conclusions this work provides a theoretical review concerning university patent and eco-patent use, as well as a classification standard's proposition witch attain economic ecological aspects and a brief description of Unicamp's inventors perception on eco-innovation dynamics.

Keywords: ecological economics, eco-innovation, university, patents.

Lista de Figuras e Gráficos

Figura I: Mundo vazio e mundo cheio. 13

Gráfico I: Intensidade da utilização de recursos materiais em relação ao PIB. 23

Gráfico II: Nível de utilização de combustíveis e PIB mundial. 24

Gráfico III: Utilização de minerais metálicos. 24

Gráfico IV: Número de depósitos das quatro principais Universidades. 59

Gráfico V: Número de pedidos de patentes de pesquisadores da Unicamp. 76

Gráfico VI: Número de pedidos de patentes de pesquisadores da Unicamp x número de institutos que depositaram pedidos de patente. 77

Gráfico VII: Participação percentual dos Institutos da Unicamp no total. 78

Gráfico VIII: Número de pedidos de patentes do Instituto de Química e demais institutos da UNICAMP. 80

Gráfico IX: Proporção de pedidos com co-autoria em relação ao total (2002 – 2008). 81

Gráfico X: Proporção de pedidos com parceria privada e pública (2002 – 2008). 82

Gráfico XI: Número de pedidos de patentes total e de eco-patentes (1989 – 2007) 84

Gráfico XII: Proporção entre eco-patentes de produto e processo. 85

Gráfico XIII: Proporção entre eco-patentes *Clean Technology* e *End-of-pipe*. 86

Gráfico XIV: Participação (%) dos institutos na proteção de eco-patentes. 87

Gráfico XV: Proporção de eco-patentes de acordo com a classificação proposta. 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CMMAD – Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CO2 – Dióxido de Carbono

EPODOC - *European Patent Office Documents*

ETAP - *European Commission's Environmental Technologies Action Plan*

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FCM – Faculdade de Ciências Médicas

FEA – Faculdade de Engenharia de Alimentos

FEAg – Faculdade de Engenharia Agrícola

FEEC – Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação

FEM – Faculdade de Engenharia Mecânica

FEQ – Faculdade de Engenharia Química

FOP – Faculdade de Odontologia de Piracicaba

IB – Instituto de Biologia

ICT's –Instituições de Ciência e Tecnologia

IDS – Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

IFGW – Instituto de Física Gleb Wataghin

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IQ – Instituto de Química

LPI – Lei de Propriedade Intelectual

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*

ONU - Organização das Nações Unidas

PCT - *Patent Cooperation Treaty System*

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PIB – Produto Interno Bruto

PNUD - *United Nation Environment Programme*

TRIPS - Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

WMO - *World Meteorological Organisation*

SUMÁRIO

Introdução 1

Capítulo I - Função da Tecnologia para a Economia Ecológica 7

1.1 Desenvolvimento Sustentável 7

1.2 Desenvolvimento Sustentável Segundo a Economia Ecológica 9

1.2.1 Recursos Naturais (Bióticos e Abióticos) 14

1.2.2 Limites Ecossistêmicos 19

1.2.3 O Mito do Descolamento 22

1.2.4 Critérios Econômicos Ecológicos para a Atividade Econômica 26

Capítulo II – Dinâmica da Inovação e Eco - Inovação. 31

2.1 Definições de Inovação Tecnológica 31

2.1.1. Eco- Inovação. 33

2.2 Determinantes da Inovação e da Eco-Inovação 37

2.2.1 Teorias do Indução pela Demanda (demand-pull) e Impulso pela Tecnologia (technology-push) 38

2.2.2 Teoria Evolucionista e a Eco-Inovação 41

2.2.3 Políticas Públicas como Determinantes da Eco-Inovação 47

2.3 Conclusões Preliminares 49

Capítulo III - Inovação e Universidade 51

3.1 A Universidade e os Sistemas Nacionais de Inovação 51

3.1.2 Universidades 53

3.2 Uso de Patentes e a Eco-Inovação 62

3.2.1 Patentes 62

3.2.2 A Análise das Patentes 64

3.3 Conclusões Preliminares e Hipóteses 69

Capítulo IV – Características das Patentes e Eco-Patentes da Unicamp. 73
4.1 Metodologia 73
4.2 Atividade Patentária 75
4.3 Eco-Inovações 83
4.4 Entrevistas com Pesquisadores 90
4.5 Conclusões Preliminares 92

Conclusão 95

Bibliografia 103

Apêndice I- Modelo de Entrevista Aplicado aos Pesquisadores da Unicamp 111
Anexo I – Lista de Sistemas Terrestres e seu Limites 112
Anexo II – Lista de Eco-Patentes da Unicamp 114
Anexo III – Proposta de Combinação de Palavras-Chave e Classificação Internacional de Patentes 116
Anexo IV – Primeira página de um pedido de patente. 118

Introdução

A institucionalização e aprofundamento do debate a respeito da problemática ambiental fez surgir campos teóricos que pretendem explicar e propor soluções para estes problemas.

Na teoria econômica, a discussão a respeito do termo desenvolvimento sustentável tomou duas claras direções: a Economia Ecológica e a Economia Ambiental. A despeito de haverem interseções, existe um ponto que serve como "divisor de águas" entre as duas correntes, a saber: o papel da tecnologia na mitigação dos problemas ambientais e na construção do desenvolvimento sustentável.

As diferenças de concepção residem, em última instância, nas visões pré-analíticas de ambas as correntes. Segundo a economia ambiental, o meio-ambiente não representa um limite último à expansão da economia, pois o progresso técnico seria capaz de reduzir a intensidade no uso dos recursos de modo a garantir a provisão dos mesmos.

Do outro lado, a economia ecológica defende que o sistema econômico é limitado pelo ecossistema, que fornece *inputs* e processa rejeitos do sistema econômico. Esse ecossistema tem limites tanto de fornecimento de matéria-prima, quando de recepção e processamento de poluentes.

Não obstante, Daly (1997), considerado um dos "pais" da economia ecológica, não descarta a relevância da tecnologia para se chegar ao estado estacionário (ou economia de crescimento zero). Qual é, portanto, a extensão em que a tecnologia pode participar da construção do desenvolvimento sustentável, considerando os critérios de análise econômico ecológicos?

Este é o primeiro tema sob o qual esta dissertação se dedicará. A resposta servirá de base para a discussão posterior à medida que esclarece os critérios sob os quais uma tecnologia pode ser considerada eco-tecnologia, ou tecnologia ambiental.

Quando se trata de tecnologia, invariavelmente aparece a questão da geração das mesmas ou da chamada inovação. Muitos problemas ambientais ainda não dispõem de

uma solução mitigadora. Mesmo quando esta existe, a melhora na sua eficiência pode incorrer, por exemplo, em redução da utilização de matérias e energia, maior reutilização, dentre outras características benéficas ao meio-ambiente. A consolidação de um modelo de desenvolvimento mais ambientalmente amigável passa pela geração de inovações que forneça as bases técnicas necessárias.

A inovação na teoria econômica vem sendo discutida a pelo menos um século. Como fruto dessa discussão houve a criação de um arcabouço teórico que se propõe a explicar a dinâmica de geração das tecnologias.

A despeito das diferentes concepções a respeito dos determinantes da inovação, neste trabalho considera-se que a geração de tecnologias é um processo dinâmico e complexo que acontece em um ambiente de constante interação entre os diversos agentes que o compõe.

A problemática ambiental é um elemento relativamente novo a este ambiente e pode exercer influência sobre o mesmo, direcionando a inovação para soluções mais amigáveis do ponto de vista ambiental.

Mas o que pode ser considerada uma eco-inovação, dadas as restrições impostas pelo ecossistema? De que maneira essas restrições podem influenciar o processo de geração das mesmas?

Essas perguntas serão abordadas ao longo do trabalho, mas principalmente no capítulo II, que consiste em uma revisão teórica a respeito da inovação, eco-inovação e seus determinantes.

A discussão desses dois grandes temas (tecnologia na economia ecológica, definição e determinantes da eco-inovação) fornecem as bases teóricas e a contextualização necessária para investigar em maior detalhes o problema de pesquisa principal deste trabalho.

Problema de pesquisa

A geração de inovações é um processo dinâmico e complexo, composto por uma variedade de agentes que influenciam a seleção das trajetórias e paradigmas tecnológicos. Neste contexto, destaca-se o papel das universidades. Essas instituições vêm ampliando seu papel na geração de invenções e mesmo de inovações, deixando de ser somente um provedor de mão-de-obra especializada e assumindo uma função cada vez mais empreendedora.

No caso brasileiro, este fato é ainda mais relevante. Estudos do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial), notadamente Gullo & Guerrante (2006) e Nunes e Oliveira (2007), apontam que as instituições públicas de pesquisa respondem pela maior parte da geração de tecnologias[1] no país.

Neste trabalho, o nível de atividade inventiva é medido através de pedidos de patentes. Naturalmente, este não é o único método possível, mas é adotado devido à riqueza de informações que estes documentos oferecem, bem como pela possibilidade de endereçar outro tema adjacente a esse, a saber, o uso do sistema de patentes pela universidade.

Qual a função das instituições públicas na geração de inovações? As proposições teóricas a respeito do aumento da atividade inovativa e patentária na universidade se confirmam como uma tendência nacional? Além disso, a universidade gera eco-inovações? De que tipo?

Essas são algumas perguntas que gravitam em torno da pergunta principal, qual seja: As especificidades técnicas e determinantes da geração de eco-inovações na universidade, em especial na Unicamp, se aproximam do observado para a inovação em geral?

Essa investigação é baseada em uma revisão teórica que procurou identificar as principais características das eco-inovações e inovações em universidades, bem como no sistema nacional de inovação em geral. A literatura consultada levanta hipóteses que serão testadas para o caso da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

[1] Tecnologias medidas pelo número de patentes.

A resposta a essa pergunta baseia-se na hipótese de que as característica e determinantes das inovações (medidas por patentes) e eco-inovações da universidade guardam aspectos semelhantes à dinâmica observada para inovações em geral, contudo, possui especificidades que as diferenciam.

Inovação na universidade é um tema relativamente pouco explorado na literatura econômica, eco-inovação também. Analisar eco-inovação em uma universidade é um esforço quase pioneiro no Brasil.

A delimitação de um arcabouço teórico adequado para esta análise passa pela revisão de noções básicas como o papel da tecnologia, ou da inovação, bem como a definição de inovação, eco-inovação e seus determinantes. Essas questões estão trabalhadas no capítulo I e II.

O capítulo III se volta para a inovação dentro da universidade, considerando a teoria dos Sistemas Nacionais de Inovação e discute a relevância, limites e potencialidades do uso de patentes para mensurá-la.

Esses três capítulos constituem os pilares para a análise desenvolvida no capítulo IV, onde são descritas as características de cerca de 560 pedidos de patentes depositados por pesquisadores da Unicamp, dentre os quais se encontram as eco-patentes.

Essas últimas são classificadas de acordo com critérios sugeridos no capítulo I. No capítulo IV, as características das patentes e eco-patentes apontadas pela literatura são confrontadas com os dados existentes para a Unicamp. Para qualificar os resultados obtidos, são apresentadas algumas percepções a respeito da dinâmica de geração de eco-tecnologias por parte de pesquisadores da Unicamp, captadas por meio de entrevistas.

As considerações finais (Capítulo V) somam-se às demais cinco partes (Introdução, Capítulos I, II, III e IV) para compor o corpo desta dissertação. Em resumo, pode-se obter três principais contribuições deste trabalho.

Em primeiro lugar, uma proposta de classificação de inovações que leve em conta os critérios econômicos ecológicos, como limite ecossistêmico, redução da intensidade energética, etc.

Em segundo lugar, a revisão de um arcabouço teórico adequado para analisar a geração de eco-inovações em universidades.

E em terceiro lugar, a descrição detalhadas das características dos pedidos de patentes depositados pela Universidade de Campinas, destacando o potencial ecológico das mesmas.

Capítulo I - Função da Tecnologia para a Economia Ecológica

Este capítulo tem como objetivo explicitar a função da tecnologia na construção do desenvolvimento sustentável. Tendo em vista o grande número de definições para este conceito, a primeira parte do capítulo é destinada ao esclarecimento do significado destes termos considerando aspectos da teoria econômico ecológica. Feito isso, poderá ser identificado quais as funções que a tecnologia deverá desenvolver, bem como definir critérios para classificá-la.

A despeito da noção de sustentabilidade estar geralmente imbuída de três dimensões: econômica, social e ambiental (CMMAD, 1992), este trabalho será focado na dimensão ambiental da sustentabilidade e da tecnologia. Isso não significa que as questões sociais sejam consideradas menos importantes ou já resolvidas, mas a abordagem de todas as três dimensões vai além do objetivo deste trabalho.

O presente capítulo é dividido em três seções, a primeira trata das diferentes definições do termo Desenvolvimento Sustentável, a segunda especifica o significado do mesmo para a Economia Ecológica.

Esta segunda sessão conta com 4 sub-seções, a primeira é uma análise das características do recursos naturais a partir da proposta de Daly & Farley (2004); a segunda trata dos limites ecossistêmicos; a terceira se baseia no trabalho de Jackson (2009) para desmontar o mito do descolamento; enquanto a quarta seção discute critérios econômicos ecológicos para o uso das tecnologias.

As considerações finais são feitas na terceira seção e reúnem os principais elementos discutidos ao longo do capítulo.

1.1 Desenvolvimento Sustentável

A partir da publicação do *Limits to Growth* (Meadows et al., 1972), da conferência da ONU sobre o meio ambiente em Estolcombo no ano de 1972 e, principalmente, após a publicação do Relatório Brundtland (1987) e subsequente conferência da Terra (conhecida como Rio-92), o movimento em defesa do meio-

ambiente tomou dimensões globais e institucionais inéditas (NOBRE & AMAZONAS, 2002).

Estas reflexões teóricas e suas implicações políticas decorrem de uma mudança mais ampla que diz respeito à percepção da atividade humana na terra e seus impactos sobre o meio-ambiente. Este tema não é novo, nem mesmo na teoria econômica, onde a relação entre homem e ambiente já foi discutida por diversas obras clássicas como Stuart Mill (1884), Ricardo (1817) e Malthus (1820).

No último quarto de século, o surgimento e disseminação da problemática ambiental incorreram na aparição de diferentes concepções a respeito do melhor caminho a ser seguido para solucioná-la. O termo *Desenvolvimento Sustentável* é um dos resultados desta reflexão e foi utilizado pela primeira vez durante o simpósio das Nações Unidas sobre as inter-relações entre Recursos, Ambiente e Desenvolvimento (no ano de 1979). Desde então se iniciou um processo de institucionalização e legitimação deste conceito (VEIGA, 2006).

Este tomou ainda mais corpo com a definição proposta pelo Relatório Brundtland, que procurou conciliar abordagens antagônicas entre desenvolvimentistas e preservacionistas. Como resultado, definiu *desenvolvimento* como eficiência econômica, equilíbrio ambiental e equidade social; e *sustentável* como a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades, sem comprometer a sobrevivência das futuras gerações (CMMAD, 1988).

A generalidade com que este termo foi definido implicou em um uso também generalizado, mas carente de uma definição teórica precisa (NOBRE & AMAZONAS, 2002). Veiga (2006), quando aborda as diferentes interpretações a respeito da sustentabilidade, sugere uma classificação em três grandes grupos:

Os **otimistas**, que baseados na "hipótese panglossiana", aceitam a possibilidade de uma curva de Kuznetz ambiental[2]. Alinhados com o pensamento de Solow, e herdeiros da filosofia iluminista e positivista, esses economistas convencionais tendem a professar a fé de que o progresso (representado por seu braço econômico, o sistema de preços) dará

[2] Segundo a qual o crescimento da economia geraria danos ao meio ambiente somente até um determinado nível de renda, a partir do qual esses danos passariam a ser reduzidos.

conta de resolver todo e qualquer problema ambiental, mesmo que seja de longo prazo, referente a bens públicos, a externalidades globais, etc.

Os **pessimistas**, que na linha de Georgescu-Roegen, entendem que a economia deverá ser "engolida" pela ecologia, e que a economia um dia precisará decrescer. Esta concepção é baseada, principalmente, no trabalho *The Entropy Law and the Economic Process* (1971), onde a lei da entropia é incluída como um limitador da atividade econômica, tal qual explicado na próxima seção.

O **caminho do meio** é representando pelas idéias de Herman Daly, que inspirado no economista clássico John Stuart Mill, defende o conceito de uma economia de estado-estacionário.

A despeito da divisão acima apresentada, tanto a lei da entropia, quanto a noção de estado estacionário dialogam na construção da teoria econômico ecológica. Na seção seguinte há uma descrição mais detalhada a respeito das características dessas correntes com o objetivo de esclarecer a proposição da economia ecológica para o desenvolvimento sustentável.

1.2 Desenvolvimento Sustentável Segundo a Economia Ecológica

Nos trabalhos *Beyond Growth* (DALY, 1997) e *Ecological Economics: principles and applications* (DALY & FARLEY, 2004) são apresentados os fundamentos do desenvolvimento sustentável segundo a concepção econômico ecológica. Este significa uma mudança radical de uma economia do crescimento, para uma economia estacionária (*Stady State Economy*).

A economia do crescimento a que o autor se refere diz respeito ao aumento do fluxo de matéria e energia que sustentam a atividade econômica produtiva e o consumo de commodities. Uma sociedade do estado estacionário pressupõe que este fluxo, denominado *throughput*, seja constante.

Esta concepção de crescimento diverge da tradição neoclássica, pois entende o sistema econômico como um subsistema do ecossistema global, portanto, limitado por ele (ROMEIRO, 2003). Na visão pré-analítica da tradição neoclássica, a economia é entendida como um sistema isolado onde os valores são transacionados de forma circular

entre família, firmas e governos. Esse fluxo não diz respeito à materialidade da economia, mas somente aos valores de troca, não havendo espaço para os limites ecossistêmicos (CLEVELAND, 2003).

Esta teoria entende crescimento econômico como sinônimo de desenvolvimento, e este como resultado do crescimento dos fatores que compõe a função de produção, a saber: capital e trabalho. A posterior inclusão dos recursos naturais nesta função foi condicionada à permanência da possibilidade de substituir seus componentes em qualquer escala (hipótese da infinita substutibilidade) (AMAZONAS, 1994; ROMEIRO, 2003).

Esta hipótese é conhecida como sustentabilidade fraca e significa dizer que o crescimento econômico poderia se perpetuar indefinidamente e, em última instância, reduzir o estoque de capital natural a zero desde que compensado pelo aumento mais que proporcional dos outros dois fatores, trabalho e/ou capital feito pelo homem (*man-made capital)* (SOLOW, 1974).

Após ter recebido duras críticas, Solow (1997) admitiu a existência de um limite para a substituição entre capital humano e natural, todavia argumenta que este limite pode ser ignorado, dado que o processo de extinção desses recursos seria tão longo que fugiria ao escopo da análise econômica.

A partir deste marco conceitual neoclássico, se desenvolveu a chamada Economia dos Recursos Naturais, ou Economia Ambiental, que assume a não existência de um limite para o crescimento do produto. Tendo em vista que o progresso técnico poderá aumentar a eficiência no uso de insumos naturais enquanto o mecanismo de preço, via regra de Hotelling[3], garantiria a alocação eficiente dos mesmos (AMAZONAS, 1994; LABANDEIRA; LEÓN & VASQUEZ, 2006).

Por conseguinte, desenvolvimento sustentável é o crescimento permanente e sustentado da economia, em outras palavras, permanente crescimento do fluxo de *throughput* para dentro do sistema. Nesta concepção, a tecnologia corresponde à última, e principal, solução para os problemas ambientais.

Segundo esta corrente teórica, os instrumentos que permitiriam a ampliação indefinida dos limites ambientais ao crescimento econômico se baseiam em mecanismos

[3] A regra de Hotelling estabelece que o retorno de um ativo não renovável consiste inteiramente da observação do seu custo de oportunidade e que o equilíbrio de mercado requer que este curso de oportunidade cresça à taxa de juros do mercado.

de mercado. Considerando recursos naturais com preço de mercado, o aumento de sua escassez seria traduzido em elevação dos preços, induzindo a introdução de inovações que permitam substituí-los por um recurso mais abundante (ROMEIRO, 2003).

No caso dos bens públicos (sem valor de mercado), deveria ser criadas condições para que o livre funcionamento do mercado regule a sua disponibilidade. Um dos mecanismos sugeridos é a valoração econômica destes bens e imposição de taxas controlar seu uso. Este procedimento resultaria na formação de um curva marginal de degradação ambiental, criando um *trade-off* entre o custo de controle e custo da degradação (LABANDEIRA; LEÓN & VASQUEZ, 2006).

Esta visão é irreal à medida que considera a existência de suaves curvas de custos marginais de degradação e ignora a existência de incerteza e descontinuidades. Alem disso, mantêm viva a noção de que a elasticidade de susbstituição entre capital e recursos naturais é igual a um (CLEVELAND, 2003).

Diferentemente desta visão, Daly (1997) afirma que os fatores componentes da função de produção não são substituíveis entre si, mas complementares. Significa dizer que não há possibilidade de um aumento de capital feito pelo homem, ou trabalho, prescindir de um aumento no uso de recursos naturais.

Portanto, considerando que a atividade econômica, ou seja, a utilização de matéria e energia necessariamente incorre em depleção de recursos e poluição, fica clara a existência de limites biofísicos dados pela finitude do planeta, pela entropia e pela interdependência ecológica das atividades humanas.

A inclusão da lei da entropia para o estudo dos condicionantes biofísicos do planeta foi proposta por Roegen (1971), para quem, os fluxos energéticos e materiais que compõe a economia obedecem às leis termodinâmicas, descritas a seguir:

- ✓ Primeira lei (da conservação), no universo, a energia total existente sob diversas formas é invariável. Pode ser transformada de uma forma em outra, mas sob a constância do total existente.

- ✓ Segunda lei, a energia disponível (que pode ser convertida em trabalho) tende a diminuir, ou seja, a entropia do universo não para de crescer, tendendo para um máximo (a posição de equilíbrio termodinâmico).

A segunda lei da termodinâmica, conhecida como lei da entropia, define que mesmo a energia sendo invariável, a utilização da mesma pelos seres humanos e animais provoca uma depreciação constante e inexorável de sua qualidade, devido a que todas as formas de energia quando utilizadas convertem-se em calor, o qual se distribui para os corpos mais frios, dissipando-se no ambiente e tornando-se indisponível para uso futuro (CAVALCANTI, 1996).

As atividades humanas demandam *inputs* de baixa entropia e geram *outputs* de alta entropia depositados no sistema, que é finito e tem limites tanto de fornecimento (insumos) quanto de recepção (rejeitos) (DALY, 1997).

Sendo assim, em uma sociedade sustentável, o nível de *throughput* deve estar dentro dos limites ecossistêmicos do planeta, limites esses que podem ser observados pela destruição de serviços ecossistêmicos essenciais e desencadeamento de fenômenos indesejáveis, como por exemplo: chuvas ácidas, desflorestamento e aquecimento global (VEIGA, 2007).

Portanto, para chegar a uma concepção mais realista da relação entre o sistema econômico e o meio-ambiente, é preciso mudar para uma visão que considere a macroeconomia como um sistema aberto que se relaciona com o ambiente sendo alimentado por ele e recebendo seus rejeitos. Devido à sua característica de ver o ecossistema como limitante da atividade econômica, está concepção terá que direcionar esforços para a definição de qual a escala desejável (DALY, 1997; AMAZONAS, 2002; ROMEIRO, 2003).

A escala de uma economia pode ser definida pela multiplicação do uso de recursos naturais por pessoa, multiplicado pela população. O que tem sido verificado, ao menos no último século, é o aumento da intensidade na utilização dos recursos, no tamanho da população, ou em ambos os fatores, incorrendo na mudança de um "mundo vazio" para um "mundo cheio", tal qual definido por Daly (1997), Daly & Farley (2004) e ilustrado na figura abaixo.

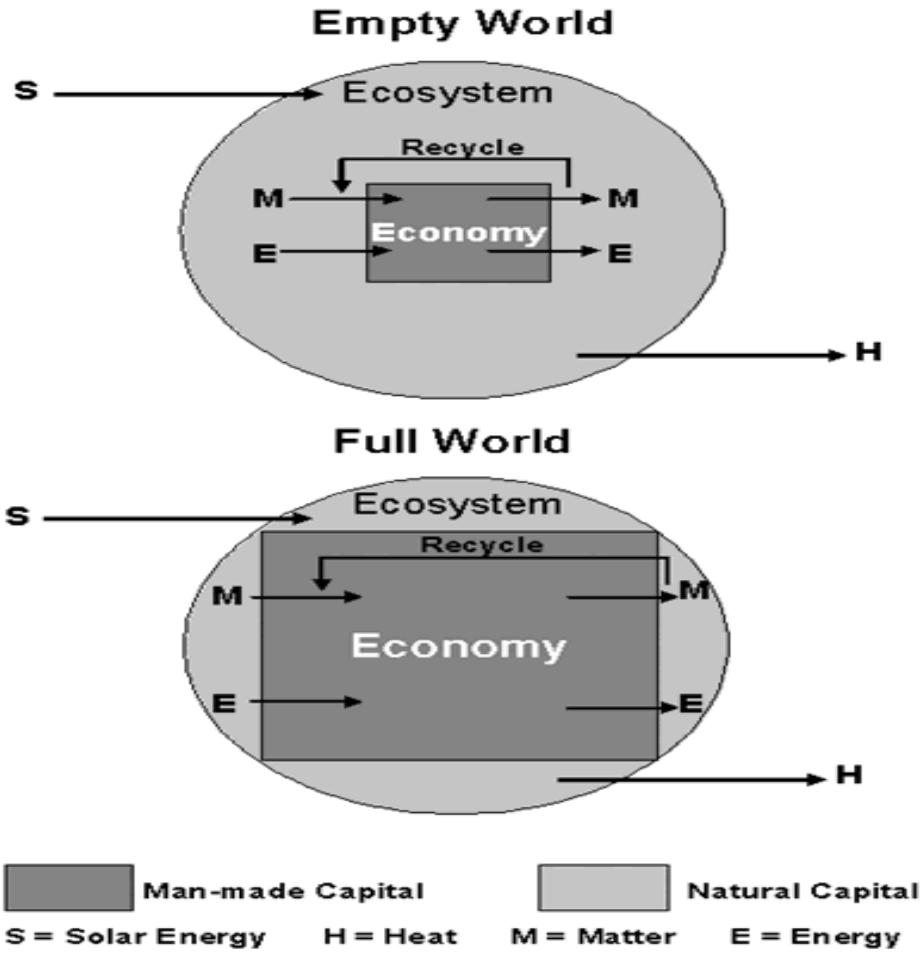


Figura I: Mundo vazio e mundo cheio. Fonte: Daly & Farley, 2004.

Cabe então saber qual a escala que possibilita o bem-estar da população e o respeito aos limites ecossistêmicos. Este bem-estar da população a que se refere o autor é definido como o serviço decorrente da utilização do estoque de capital, seja ele natural ou feito pelo homem, tal qual demonstrado na equação abaixo.

$$\frac{\text{Serviços}}{\text{Throughput}} = \frac{\text{Serviços}}{\text{Estoque}} \times \frac{\text{Estoque}}{\text{Throughput}}$$

Portanto, o crescimento qualitativo (ou desenvolvimento sustentável) é resultado do crescimento dos serviços decorrente de um aumento na eficiência na utilização dos estoques, mantendo o *throughput* constante (DALY, 1997).

Daly (1997) destaca três fatores que podem aumentar a eficiência dos serviços, a saber, o design da tecnologia, a alocação eficiente desses recursos ao longo da economia e a questão distributiva (pois uma mesma massa de renda distribuída igualitariamente possibilitará maior serviço a todos[4]).

A tecnologia pode contribuir para a construção de um Estado Estacionário, ou seja, crescimento zero do *throughput*, ampliando a eficiência da utilização desse fluxo de matéria e energia. Diferentemente do que defendem alguns economistas neoclássicos, o capital natural deverá permanecer constante e não há possibilidade da economia se descolar de sua base material (JACKSON, 2009).

A partir dessa concepção de desenvolvimento sustentável alguns aspectos teóricos deverão ser aprofundados. Dentre eles destacam-se, um novo olhar sobre os recursos naturais, a noção de limites ecossistêmicos, o desmonte do mito do descolamento (*decoupling*), para enfim chegarmos ao levantamento de critérios de sustentabilidade aplicados à tecnologia.

1.2.1 Recursos Naturais (Bióticos e Abióticos)

Daly & Farley (2004), diferentemente da divisão usual entre recursos renováveis e não renováveis, classifica os recursos naturais entre bióticos e abióticos, identificando o papel de cada um no sistema da economia ecológica.

No que diz respeito aos recursos abióticos, lembra que sua classificação em um único grupo decorre mais de suas diferenças para com os recursos bióticos do que por suas semelhanças internas. No entanto, existem características comuns, tais qual sua indestrutibilidade[5] e a impossibilidade de serem renováveis.

Apesar dos minerais e os combustíveis fósseis não serem renováveis, os minerais podem ser, em parte, reciclados, enquanto a energia despendida pelos combustíveis fósseis não. Esta característica (não reciclabilidade) indica um dos limites da tecnologia, pois mesmo que se possa aumentar a eficiência de motores e reduzir o uso de

[4] Princípio baseado no benefício marginal. O consumo de uma unidade a mais de produto por um indivíduo de baixo nível de renda tende a gerar um benefício maior do que para outro no qual este nível é elevado.

[5] Indestrutibilidade, diz respeito à característica de não ser processado, por exemplo, pelo corpo humano que transforma alimento em carboidratos e energia. Os minerais podem ter sua disposição alterada, mas não há destruição de seus elementos.

combustíveis fósseis por serviço gerado, sempre haverá perda de energia (CAVALCANTI, 1996).

A água é um dos recursos abióticos mais difíceis de categorizar, pois pode ser similar a um mineral, se considerada um estoque que não volta de onde saiu, ou similar a um recurso biótico contando com o ciclo de renovação em toda a sua extensão, podendo apresentar as características de estoque fluxo e fundo de serviço ao mesmo tempo (DALY & FARLEY, 2004).

Quando o autor se refere ao estoque fluxo e fundo serviço se baseia na concepção aristotélica de causa material e causa eficiente, tal qual demonstrado na citação abaixo.

> *Aristotle discussed this important distinction and divided causation (factors) into material cause, that which is transformed, and efficient cause, that which causes the transformation without itself being transformed in the process. Raw ingredients are the material cause, and the cook and kitchen are the efficient cause.* (DALY & FARLEY, 2004: 71).

Essa distinção também é útil para entendermos a complementaridade entre o capital natural e o capital feito pelo homem, sendo mais um argumento que contradiz o mito do descolamento que será discutido em uma próxima seção.

No que se refere aos combustíveis fosseis, cerca de 80% de toda a energia consumida no mundo deriva de hidrocarbonetos e seu estoque é fixo, tendo como parâmetro o tempo de vida de um ser humano (BARROS, 2007). Apesar de não se saber ao certo o tamanho deste estoque, sua exploração depende da existência de uma *oferta recuperável*, que pode ser entendida como aquela onde o preço de obtenção seja menor que o de venda.

Em termos termodinâmicos, significa dizer que o gasto de energia para obtê-lo seja inferior à energia que o tanto extraído pode gerar. Enquanto extraímos aqueles que estão com o acesso mais fácil, mais caro será obter os estoques remanescentes (RODRIGUES DA SILVA, 2003).

Além dessa constatação, existe a poluição gerada pela queima desses combustíveis. Antes de se chegar aos limites do estoque chegaremos ao limite da capacidade do planeta de absorver esses poluentes (GIBSON, 2000). Neste caso, há

espaço para a tecnologia, à medida que pode reduzir a emissão de poluentes no uso do mesmo, estendendo o limite existente.

Daly & Farley (2004) analisaram outros quatro recursos abióticos, quais sejam: recursos minerais, água, terra ricardiana e energia solar. Além do combustível fóssil, este trabalho exporá algumas considerações a respeito dos recursos minerais e a partir desses dois exemplos sugerir as conclusões relevantes.

Este recurso (mineral) também é considerado não renovável e pode ser analisado em termos de estoque fluxo. Seu estoque é finito e impõe um limite ao crescimento material da economia (RODRIGUES DA SILVA, 2003; LABANDEIRA; LEÓN & VASQUEZ, 2006).

Uma diferença importante em relação aos combustíveis fósseis é a possibilidade dos minerais serem reutilizados, mesmo sabendo que é impossível reciclar 100%. A possibilidade de reciclagem, bem como o elevado estoque desses materiais novamente coloca na primeira ordem os problemas advindos dos resíduos gerados na exploração e utilização (ALIER, 1997; CAVALCANTI, 1996).

Existem dois tipos de resíduos, aquele que não é mais utilizado e não será viável reciclá-lo e aquele degradado naturalmente pela erosão ou oxidação que o tornará indisponível para o uso humano, mostrando que apesar de termos controle sobre o resíduo gerado no descarte de bens, não temos sobre a ação entrópica (DALY & FARLEY, 2004).

A partir dessa breve análise podemos concluir que o limite para sua utilização não parece ser dado pela sua disponibilidade, mas sim pela poluição advinda da sua extração e utilização em larga escala.

Em comparação aos recursos abióticos, a análise dos recursos bióticos carrega uma dose extra de incerteza. Que decorrente da complexidade dos processos que sustentam a sua reprodução e do elevado nível de interação entre os diversos indivíduos, população e espécies que compõe os ecossistemas (DALY & FARLEY, 2004).

Segundo Begon et. al. (2007), a estrutura de um ecossistema é composta por indivíduos e comunidades de animais e plantas, sua idade, distribuição espacial, interação com os recursos abióticos. Uma característica do estudo desses sistemas é que a análise de um indivíduo ou comunidade separadamente pouco esclarece o funcionamento do

ecossistema como um todo, que é resultado de múltiplas interações que geram ordens e resultados espontâneos e imprevisíveis.

Os elementos estruturais agem juntos para criar um todo maior que a soma das partes. Mesmo sabendo que esse todo unido gera uma série de serviços à natureza, (chamados de serviços ecossistêmicos) pouco se conhece a respeito de como essas funções emergem da complexa interação da estrutura ecossistêmica (BEGON et. al. 2007).

Daly & Farley (2004) partem dessa constatação para caracterizar os recursos bióticos, a saber:

- ✓ Recurso renovável, os elementos da estrutura que fornecem material para o funcionamento da natureza;
- ✓ Serviços ecossistêmicos, correspondem aos serviços prestados pela interação dos organismos que gera algum benefício para o homem;
- ✓ Capacidade de absorção, que não deixa de ser um serviço ecossistêmico, mas merece destaque pela sua função primordial que é a capacidade de reciclagem de nutrientes e materiais.

Segundo esses autores, os recursos bióticos podem ser classificados tanto como estoque fluxo quanto como fundo serviço. Estoque fluxo porque nos fornecem uma diversidade de matéria-prima que atende às necessidades humanas (alimentação, vestuário, etc) e fundo serviço porque compõe a estrutura do ecossistema.

No que diz respeito à utilização dos recursos bióticos como matéria-prima (estoque fluxo), cabe lembrar que a taxa de crescimento de uma população na natureza não é infinita, existe um limite onde a taxa de natalidade se equipara à taxa de mortalidade. Neste ponto a taxa de crescimento da biomassa é zero, qualquer colheita acima deste valor provocará uma redução líquida no estoque de biomassa, o contrário acontece com uma colheita inferior à curva de crescimento (ALIER, 1997; DALY & FARLEY, 2004).

Portanto, a necessária manutenção do estoque de recursos naturais implica em uma taxa de extração, no máximo, igual à taxa de reprodução do mesmo (ALIER, 1997; HUSSEN, 2007). Neste caso, soluções tecnológicas podem ampliar a produtividade de

culturas (elevando a taxa de natalidade), aprimorar a eficiência da colheita reduzindo perdas, dentre outras possibilidades.

Como já dito, esses recursos também podem ser caracterizados como fundo serviço, que correspondem aos benefícios intangíveis derivados da interação entre os diversos componentes do ecossistema, tal qual definido abaixo.

> Os benefícios tangíveis (fluxos de recursos naturais, como madeira e alimentos, por exemplo) e intangíveis (amenidades como beleza cênica e regulação do clima) provenientes do capital natural podem ser classificados numa definição ampla de serviços ecossistêmicos. As complexas interações entre os elementos estruturais do capital natural dão origem às chamadas *funções ecossistêmicas*, as quais são reconceitualizadas como serviços ecossistêmicos na medida em que trazem implícita a idéia de valor humano. Uma função passa a ser considerada um serviço ecossistêmico quando ela apresenta possibilidade/potencial de ser utilizada para fins humanos. (ROMEIRO & ANDRADE, 2009: 11).

A utilização da matéria-prima pelos processos de produção deixa de prover (aos seres humanos) os benefícios decorrentes dos serviços que prestam e voltam ao ecossistema na forma de resíduos de alta entropia (DALY, 1997). Esses resíduos são, parcialmente, absorvidos pela natureza por meio de um importante serviço ecossistêmico intangível.

A economia tem controle sobre o quanto de matéria será transformada em resíduo de alta entropia e depositada no ambiente, mas a taxa de absorção desses resíduos é fixa em um dado intervalo de tempo, podendo ser diminuída com a degradação da estrutura ecossistêmica (VEIGA, 2007; ROCKSTROM et. al. 2009).

Caso a degradação cesse, alguns ecossistemas podem se recuperar, no entanto, a resiliência desses não é infinita (BEGON et. al. 2007) e há incerteza quanto ao limite do mesmo. Por exemplo, pode haver casos onde a poluição atingiu um nível tal que não é possível o meio se recuperar sem a intervenção humana.

Tanto no uso dos recursos abióticos (combustíveis fósseis e minerais) quanto dos bióticos, ficou claro a existência de limites que decorrem, não somente, da taxa de reprodução ou disponibilidade dos mesmos, mas também dos danos ambientais decorrentes de sua utilização.

1.2.2 Limites Ecossistêmicos

O reconhecimento de que o processo de industrialização, crescimento populacional e elevação da intensidade do consumo, geram impactos negativos no meio ambiente não é uma novidade no meio científico, mas a definição do grau de irreversibilidade e gravidade desses ainda foi pouco explorada.

O presente trabalho enfatizará como esses impactos impõem limites à atividade econômica e, consequentemente, ao uso da tecnologia. Lembrando que o limite pode ser dado não pelo esgotamento dos recursos, mas pelo acúmulo de resíduos resultantes da sua utilização.

Um notável esforço nesse sentido são os estudos realizados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change)*, indicando as possíveis e efetivas conseqüências da emissão de CO2 (e outros gases do efeito estufa) para o (des)equilíbrio climático do planeta. Essa organização corresponde a um grêmio científico da ONU (Organização das Nações Unidas), fundado em 1988 pela WMO (*World Meteorological Organisation*) e pelo PNUD (*United Nation Environment Programme*).

A despeito das controvérsias ainda existentes a respeito da participação antrópica na promoção das mudanças climáticas, Oreskes (2004) reafirma o fator antropogênico no aquecimento da terra. Em seu trabalho, foram analisados 928 periódicos da base *ISI Web of Knowledge* entre 1993 e 2003 e conclui que 75% dos autores afirmam ser determinante a influência do homem no processo. Além dele, Stern (2006), defende que as evidências que corroboram esta tese têm aumentado à medida que novos dados são analisados.

Mesmo assim, a complexidade e incerteza que ainda envolvem os tomadores de decisão em uma nuvem de dúvidas, levantam a possibilidade de aplicação do princípio da precaução. Este resulta da substituição da noção de probabilidade pela de incerteza, decorrente da elevação da complexidade dos riscos inerentes ao funcionamento da sociedade moderna, principalmente do que diz respeito ao uso do meio-ambiente (ROMEIRO, 2001).

> A aplicação desse princípio tem por objetivo precisamente tratar de situações onde é necessário considerar legítima a adoção por antecipação de medidas relativas a uma fonte potencial de danos sem esperar que se disponha de certezas científicas quanto às relações de causalidade entre a atividade em questão e o dano temido. (ROMEIRO, 2001: 22).

Um desses danos temidos, segundo o IPCC (2007), é a elevação do nível do mar estimado, em 3,1mm/ano desde 1993, este aumento decorre, majoritariamente, do degelo resultante do aumento da temperatura média do planeta. Este mesmo relatório afirma que onze dos últimos doze anos estão entre os mais quentes desde 1850. Além do aumento do nível dos oceanos, somam-se aos impactos do aquecimento global, a extinção massiva de espécies e perdas agrícolas decorrente da mudança no regime de chuvas e temperaturas.

A partir dessas constatações, o relatório apresenta diferentes cenários para o futuro, cada qual com um determinado nível de emissão. As causas dessas emissões não são únicas, mas se concentram principalmente na queima de combustíveis fósseis. No caso particular do Brasil, o principal fator de emissão (75%) é o desmatamento via queima das florestas (IDS, 2008).

Neste caso a noção de limites está implícita, pois se define um nível de emissão razoável, chamada de meta (ou alvo) de estabilização (*stabilisation target*), estabelecido em 450 ppm, que corresponderia a uma redução de quase 400 bilhões de toneladas de CO2 até 2050 (IPCC, 2007).

Esse limite serve de base para que os agentes de instituições internacionais e nacionais se organizem política e economicamente para limitar suas emissões e evitar uma potencial catástrofe global.

A tecnologia tem um papel relevante neste cenário, reduzindo a emissão desses poluentes por unidade de produto, o que corresponde ao aumento de eficiência ecológica de um processo produtivo, tal qual explorado mais detalhadamente nos capítulos II e III.

Além desta pesquisa, existem outras que tem procurado identificar a existência de limites planetários. Dentre essas, destaca-se a de Rockstrom et. al. (2009) chamado "*Planet Boundaries: exploring the safe operating space for humanity*". Segundo estes autores, o crescimento da atividade humana tem aumentado a preocupação a respeito das futuras pressões antrópicas desestabilizadoras dos sistemas biofísicos cruciais, passíveis de disparar mudanças ambientais abruptas e irreversíveis, potencialmente catastróficas

para a espécie humana.

Partindo deste pressuposto, foi feito um esforço preliminar para identificar processos chave do sistema terrestre e quantificar um nível limite. Para cada processo chave, o estudo definiu uma variável de controle que poderia indicar o comportamento geral. Esta variável deve obedecer a três critérios básicos:

- ✓ Ser universalmente aplicável para qualquer subsistema ligado ao limite em questão;
- ✓ Ser um indicador robusto da mudança;
- ✓ Haver suficientes dados a respeito.

As relações entre variáveis e os diversos processos não são lineares e estão sujeitos a um elevado grau de incerteza, mesmo assim são úteis para indicar sob quais limites é seguro a economia operar.

> *Much of the uncertainty in quantifying planetary boundaries is due to our lack of scientific knowledge about the nature of the biophysical thresholds themselves, (...), the intrinsic uncertainty of how complex systems behave, the ways in which other biophysical process like feedback mechanisms interact with the primary control variable, and uncertainty regarding the allowed time of overshoot of a critical control variable in the Earth System before a threshold is crossed*. (ROCKSTROM et. al. 2009: 5).

Foram identificados nove limites planetários, que cobrem os ciclos biogeoquímicos do nitrogênio, fósforo, carbono e água; os grandes sistemas físicos de circulação do planeta como clima, estratosfera e sistemas oceânicos; características biofísicas da terra que influenciam a capacidade de resiliência e auto-regulação, diversidade marinha, terrestre e sistema de ocupação de terras; e ainda duas características fundamentais associadas à ação humana, a emissão de aerosol e a poluição química.

Cada um dos sistemas considerados, com suas variáveis chave, limites, possíveis conseqüências de um avanço além deste limite e estado do conhecimento estão resumidos no anexo I.

A exposição de trabalhos que corroboram a existência de limites ecossistêmicos para as ações humanas reforça a proposição econômico ecológica de que a economia está inserida em um sistema maior, o ecossistema, e depende deste à medida que recebe constante fluxos de matéria e energia e nele deposita seus rejeitos.

1.2.3 O Mito do Descolamento

Além de constatar a existência de limites ecossistêmicos, outra importante contribuição da economia ecológica para a definição do desenvolvimento sustentável diz respeito à limitação do papel da tecnologia como solução final para a problemática ambiental.

A hipótese da existência de um limite para a contribuição da tecnologia não é unânime no pensamento econômico. Conforme visitado anteriormente, autores advindos da tradição neoclássica a rechaçam e colocam no lugar a possibilidade da atividade econômica se descolar de sua base material, proposta essa conhecida como descolamento (*Decoupling)* (LABYS, 2004). Jackson (2009) contesta essa tese e para tal, qualifica este termo, separando o descolamento relativo do absoluto.

Descolamento relativo significa produzir mais com menos, ou seja, aumentar a eficiência do uso do *throughput* ou aumentar a atividade econômica reduzindo danos ambientais. Esse descolamento é relativo porque diz respeito à redução da intensidade energética e material da sociedade em relação ao PIB (Produto Interno Bruto). No entanto, o descolamento absoluto consistiria em uma redução absoluta na utilização de energia e materiais provenientes da natureza.

Para fundamentar sua análise a autor discute dados relativos às emissões de CO2, intensidade energética e grau de utilização de recursos minerais de algumas economias avançadas.

No que diz respeito ao descolamento relativo, Jackson (2009) afirma que recursos usados como *inputs* representam custos para os produtores de maneira que a própria obtenção de lucro motiva a redução na utilização dos mesmos, ampliando a eficiência do processo. Como resultado, a quantidade de energia primária necessária para produzir uma unidade de produto tem caído ao longo da segunda metade do século XX, de modo que a intensidade energética global é 33% menor hoje do que era na década de 1970 (JACKSON, 2009).

A reboque dessa mudança observou-se uma redução na intensidade no uso dos recursos materiais. No entanto, este quadro se restringe aos países desenvolvidos, os demais não apresentam uniformidade quanto à redução da intensidade energética ou material de sua economia.

A intensidade do uso de energia caiu três vezes mais rápido ao longo dos últimos 25 anos nos países da OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) no que nos demais.

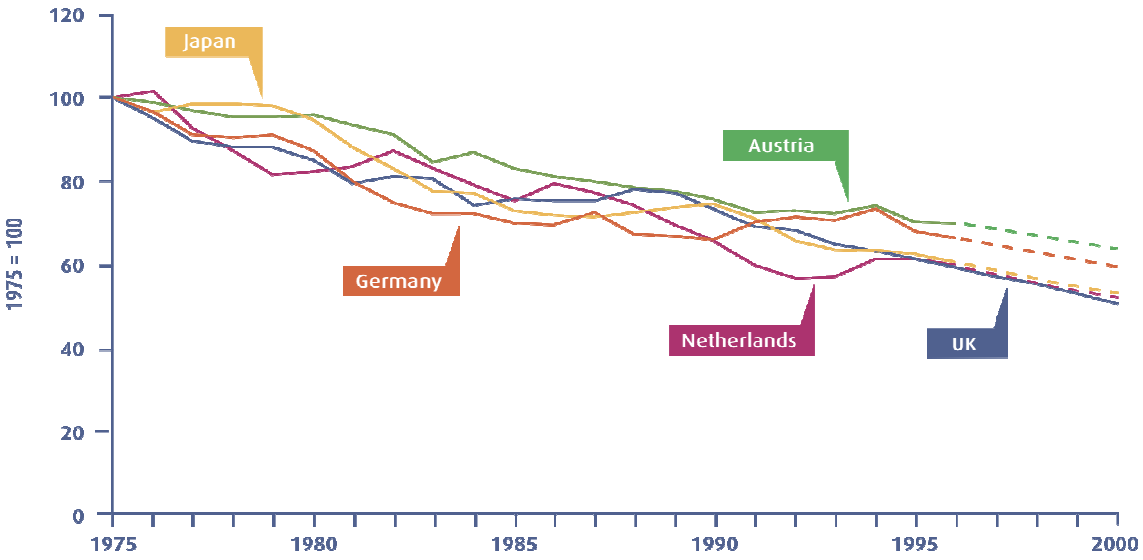


Gráfico I: Intensidade da utilização de recursos materiais em relação ao PIB.

Fonte: Jackson, 2009.

A despeito da existência desse descolamento relativo, o autor discorda da tese de haver um descolamento absoluto (*absolute decoupling*) e fundamenta essa afirmação em dados que relacionam a emissão de dióxido de carbono e o crescimento do PIB *per capita*, onde fica evidente que *mesmo* havendo uma redução na intensidade *per capita* das emissões, seu volume absoluto continua crescendo (gráfico II).

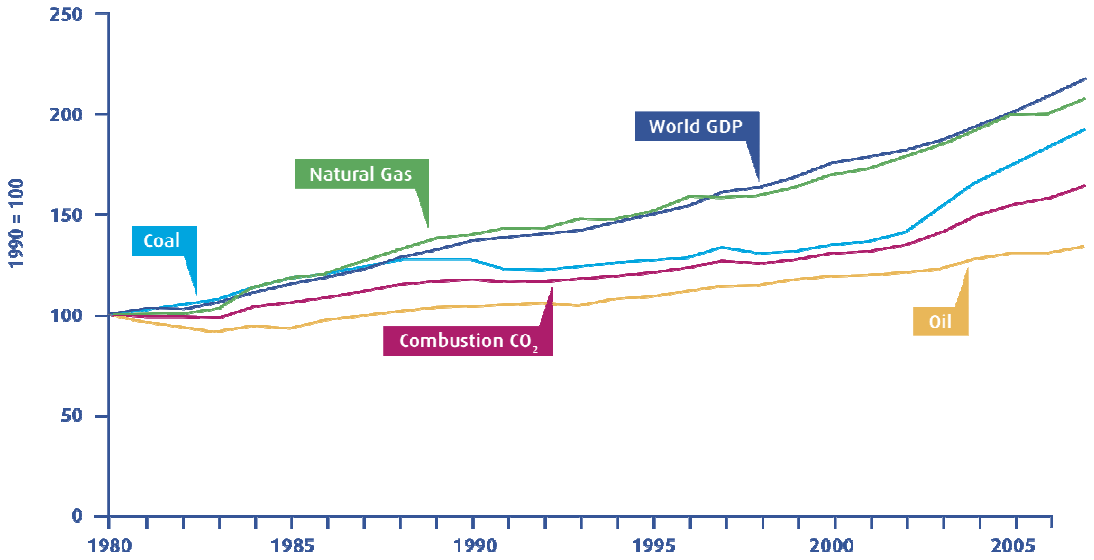


Gráfico II: Nível de utilização de combustíveis e PIB mundial.

Fonte: Jackson, 2009.

No que tange à utilização de materiais como minerais metálicos, não se observa, nem mesmo, um descolamento relativo.

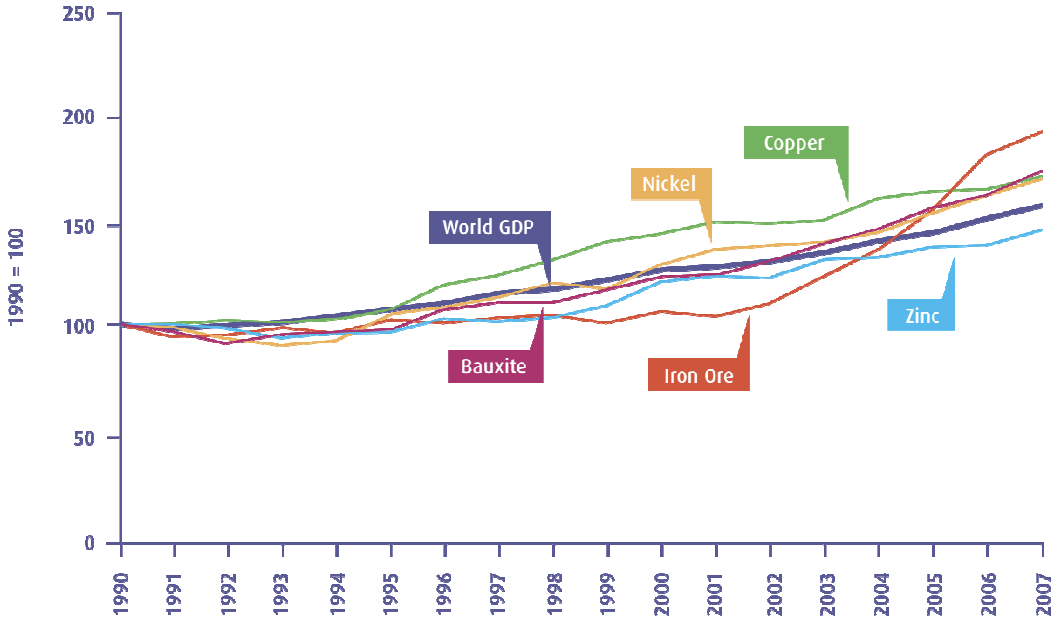


Gráfico III: Utilização de minerais metálicos.

Fonte: Jackson, 2009.

Dosi & Grazzi (2006), analisam o uso de combustíveis fósseis ao longo do século e chegam à conclusão semelhante, ou seja, mesmo havendo um redução da quantidade de energia usada para cada unidade de produto, permanece o aumento do consumo total de energia e dos efeitos negativos ao meio ambiente provenientes deste consumo.

Esses autores discutem também o potencial da tecnologia como redutora da demanda energética total, considerando o aumento do PIB e da população mundial. A conclusão é que esta não tem sido suficiente para reduzir os danos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. Para tal, seria necessário o surgimento de um novo paradigma tecnológico ainda por vir.

Jackson (2009) reforça o argumento acima descrito a partir da equação de Ehrlich, onde o impacto da ação humana (I) é resultado da combinação de três fatores: o tamanho da população (P); renda *per capita*, cuja sigla em inglês é (A); e fator tecnologia (T) que mede o impacto associado ao gasto de cada unidade monetária[6].

Com a queda em T (redução do impacto gerado por produto) podemos viver um descolamento relativo, mas o descolamento absoluto significa uma queda em I. Isso implica em que a queda em T seja a taxas superiores ao crescimento de A e P, fato não observado na atualidade. Mesmo que o avanço da tecnologia seja rápido suficiente para compensar o aumento nos outros dois fatores, sabemos que o capital natural não pode ser degradado ao seu limite.

Baseado na observação empírica da intensidade do uso dos recursos pela economia, este trabalho evidenciou a impossibilidade da mesma se descolar da sua base material e a necessidade da manutenção dos estoques de capital natural. Novamente, a tecnologia pode promover o descolamento relativo via maior eficiência no uso dos recursos, no entanto, sua função é limitada e não viabiliza a redução na utilização total dos mesmos, o que implicaria em uma mudança no padrão de consumo da sociedade.

[6] Este fator tecnologia é o impacto do gasto no meio-ambiente, ou seja, quanto menor for T, maior a produtividade do dispêndio.

1.2.4 Critérios Econômicos Ecológicos para a Atividade Econômica

Tal qual indicado nas seções anteriores, a impossibilidade de a tecnologia substituir a disponibilidade de recursos naturais para a promoção do bem-estar da sociedade, implica no estabelecimento de critérios e limites para sua utilização alinhados aos princípios da economia ecológica.

Segundo Holmberg *et al*. (1996), para que a atividade econômica esteja dentro dos limites ecossistêmicos, seu funcionamento deve observar quatro princípios básicos, através dos quais a geração e aplicação de novas tecnologias devem se basear.

A compreensão da proposta dos autores passa pelo esclarecimento do conceito de ecosfera, essa é composta pela biosfera, atmosfera, hidrosfera, pedosfera (solo) e litosfera. Seus elementos constituem o sistema geofísico que sustenta a biosfera, que por sua vez é a base para a esfera humana.

A esfera social pode se dividir em esfera técnica e esfera humana, sendo que a primeira utiliza matéria e energia originária das demais esferas para prover serviços a segunda.

As interações entre as diferentes esferas, principalmente, entre a esfera técnica (também entendida como tecnologia) e a ecosfera devem seguir os princípios abaixo relacionados.

- ✓ As substâncias extraídas da litosfera não devem ser sistematicamente acumuladas na ecosfera.
- ✓ As substâncias produzidas pela sociedade não devem ser sistematicamente acumuladas na ecosfera.
- ✓ As condições físicas de produção e diversidade, dentro da ecosfera, não devem ser sistematicamente deterioradas.
- ✓ O uso dos recursos deve ser efetivo (*effective*) e justo no que diz respeito ao atendimento às necessidades humanas.

Um exemplo do primeiro critério é a mineração, retira substâncias da litosfera e as coloca em circulação no sistema econômico, no entanto, em algum momento estes

recursos serão dispensados e depositados na ecosfera. O acúmulo destes pode gerar efeitos degradantes ao meio-ambiente, tal qual a poluição de rios e efluentes por metais pesados.

No que tange a este primeiro princípio, a tecnologia pode agir de diversas formas, primeiro elevando a eficiência na utilização desses recursos de maneira que mais serviços sejam obtidos através de uma menor quantidade de matéria-prima, reduzindo o nível de acumulação dos resíduos por serviço adquirido. A tecnologia pode também se voltar para a pesquisa e desenvolvimento de substitutos renováveis ou técnicas de reciclagem que introduzam estes recursos novamente no sistema econômico evitando sua acumulação.

O segundo princípio assemelha-se ao primeiro, mas diverge porque trata especificamente do acúmulo de substâncias desenvolvidas pela esfera técnica, cuja natureza não dispõe de mecanismos para introduzi-las em seu ciclo biogeoquímico.

Nestes casos, a obtenção de um equilíbrio econômico ecológico exige que o sistema prescinda completamente do uso destes materiais, cabe à esfera técnica não mais usá-los, desenvolver substitutos mais amigáveis ao meio ambiente e/ou promover o desenvolvimento de técnicas recicladoras dos mesmos.

O terceiro princípio, implicitamente reconhece a importância da manutenção dos ecossistemas para o fornecimento de serviços ecossistêmicos, tal qual já indicado em seção anterior. Um exemplo onde podemos ver o desrespeito a este princípio envolve a produção agrícola monocultural, sem rotação de cultura, onde a riqueza mineral do solo é rapidamente deteriorada a ponto deste se tornar estéril.

Esta prática, portanto, reduz a produção de serviços da ecosfera como a fertilidade do solo e a biodiversidade local, tornando a produção mais suscetível a pragas e à proliferação descontrolada de espécies específicas. Portanto, a adoção de uma tecnologia deve observar esta necessidade de manter a biodiversidade, garantindo os serviços ecossistêmicos dela proveniente (ALTIERI, 2002; ROCKSTROM et. al. 2009).

O princípio quatro trata mais diretamente da tecnologia tal qual explicitado pela citação abaixo.

> *To increase the service flow to the human sphere without increasing the exchange and manipulation, the efficiency of the technosphere must increase (...) To fulfill more human needs and obtain better benefits from the resource use, one can use the resource better through more efficient technology or better organization* (HOLMBERG *et a*l. 1996: 36).

Como dito, além da eficiência tecnológica, os autores ressaltam a importância da organização como mecanismo de aumentar a eficiência do uso dos recursos. Cita o exemplo de que, para economizar água, o método que se lava a louça é mais importante que o formato da torneira.

1.3 Conclusões Preliminares

Segundo os princípios da economia ecológica, desenvolvimento sustentável é entendido como uma mudança qualitativa na economia que mantenha constante o fluxo de energia e matéria utilizada, considerando que este fluxo seja inferior à capacidade do planeta (noção de limite). Esta definição é, em grande medida, resultado da incorporação das leis da termodinâmica à análise econômica, o uso da energia incorre em perda inexorável e constante de energia (ROEGEN, 1971).

Considera-se ainda que a melhoria técnica e organizacional aumenta os serviços oferecidos pelo sistema, portanto, apesar de reconhecer a existência de limites para a ação da tecnologia, esta corrente teórica não prescinde de sua contribuição (DALY, 1997; DALY & FARLEY, 2004).

Esse aumento dos serviços a ser obtido com um *throughput* constante depende, parcialmente, de um aumento de eficiência. Todavia, para que esse aumento não incorra em outras perdas, alguns pontos devem ser observados.

Primeiro, tal qual explicitado na seção 1.2.1, os recursos têm características distintas e sua utilização deve considerar essas diferenças. Os recursos minerais, apesar de parcialmente recicláveis, inexoravelmente sofrem uma perda quando processados e utilizados, além disso, os resíduos derivados do seu uso podem ser altamente danosos ao meio, tal qual indicado pela seção 1.2.2 (DALY & FARLEY, 2004; ROCKSTROM et. al. 2009).

Quanto à escala de utilização desses recursos, à semelhança de Daly (1997) e Alier (1997, 2007), sugere-se que seja utilizado a uma taxa igual ao desenvolvimento de substitutos renováveis.

No entanto, cabe ressaltar que os recursos renováveis contêm características tanto de estoque fluxo quanto de fundo serviço e sua utilização também está sujeita a limites ecossistêmicos (ver anexo I). Além disso, existe um limite originário de sua própria taxa de reprodução, sendo assim, para garantir a manutenção dos estoques, a exploração desses recursos deve ser inferior a esta (ALIER, 1997; DALY & FARLEY, 2004).

Outro ponto relevante diz respeito à capacidade do ambiente em absorver resíduos, essa habilidade ecossistêmica não é infinita, portanto, as atividades econômicas devem se desenvolver de forma que a emissão de rejeitos seja inferior à absorção do meio-ambiente (ALIER, 1997, BEGON et. al. 2007; VEIGA, 2007).

Conforme destacado pelo princípio dois, descrito na seção 1.2.3, esse problema de absorção se agrava quanto tratamos da emissão de produtos desenvolvidos pela esfera técnica (pela tecnologia) os quais o meio ambiente não dispõe de recursos para absorvê-los em uma escala de tempo razoável (HOLMBERG et. al. 1996).

A tecnologia pode, no entanto, amenizar esses danos, desenvolvendo técnicas de produção mais limpas e eficientes, em que seja preciso menos recursos para um mesmo resultado em serviços, desenvolvendo uma produção que gere menos resíduo, e/ou com nível de toxidade inferior. Além dessa função, pode-se destacar a reciclagem ou técnicas de reutilização. Apesar de esse processo não ser termodinamicamente perfeito, a reutilização de resíduos e materiais, tanto bióticos quanto abióticos aumenta a eficiência do sistema como um todo e reduz a exploração de novos recursos.

Capítulo II – Dinâmica da Inovação e Eco - Inovação

O presente capítulo tem o objetivo de identificar, do ponto de vista teórico, quais as características da inovação e eco-inovação, bem como seus principais determinantes. Esta digressão teórica será dividida em duas seções, sendo que a primeira conta com uma subseção e a segunda com três, além das conclusões.

A primeira seção, "Definições da Inovação Tecnológica", é destinada à discussão de autores que empreenderam esforços em definir a inovação, considerando como ponto de partida a teoria schumpeteriana. Neste item, há uma subseção que trata especificamente da Eco-Inovação e constitui-se em uma revisão teórica que abrangerá diferentes propostas de definições e classificações para as mesmas.

A segunda seção, denominada "Determinantes da Inovação", está dividida em três subseções. A primeira traz um histórico a respeito da investigação dos principais determinantes da inovação, abordando autores de inspiração neo-shumpteriana.

Já a segunda e a terceira seção serão destinadas à investigação dos principais determinantes da eco-inovação, sendo que a última enfoca aspectos ligados às políticas públicas voltadas à sua promoção.

2.1 Definições de Inovação Tecnológica

Schumpeter (1982), em seu livro Teoria do Desenvolvimento Econômico (publicado pela primeira vez em 1911) estabeleceu a inovação como centro do debate desenvolvimentista.

Introduziu a noção de crescimento qualitativo da economia e mudança no patamar de desenvolvimento da sociedade. Para isso desferiu críticas a noção de fluxo circular. Estas mudanças representaram um câmbio paradigmático na teoria do desenvolvimento econômico.

> O desenvolvimento, no sentido em que o tomamos, é um fenômeno distinto, inteiramente estranho ao que pode ser observado no fluxo circular ou na tendência para o equilíbrio. É uma mudança espontânea e descontinua nos canais de fluxo, perturbação do equilíbrio, que altera e desloca para sempre o estado de equilíbrio previamente existente (SCHUMPETER, 1982: 47).

Um dos elementos que corrobora essa mudança é a idéia de que o desenvolvimento passa a ser resultado das próprias forças dinâmicas e não mais de fatores exógenos.

Neste contexto, as inovações são definidas como uma alteração relevante em uma das cinco esferas a seguir relacionadas: introdução de um novo bem; introdução de um novo método de produção (baseado na descoberta de uma nova tecnologia ou nova maneira de manejar comercialmente uma mercadoria); abertura de um novo mercado; descoberta de uma nova fonte de oferta de matéria prima; e reorganização de um processo produtivo, ou mudança significativa na posição de concorrência.

O caráter dinâmico de movimentação da economia capitalista faz com que qualquer recombinação das forças produtivas que gere algo novo subsidie o início de um processo de prosperidade deflagrado de forma coletiva.

Ainda de acordo com esse autor, as mudanças espontâneas que ocorrem na direção do desenvolvimento são movidas pela possibilidade de obtenção do lucro extraordinário. O empresário inovador[7] obteria lucros extraordinários advindos da exploração de sua inovação. No entanto, esse benefício extra só seria obtido até que outros empresários também incorporassem esta inovação em seus processos produtivos, reduzindo esta taxa a um patamar comum.

A despeito deste trabalho ter sido publicado pela primeira vez em 1911, ainda é relevante para entender o que é a inovação tecnológica e quais são seus determinantes. Um exemplo da atualidade desta teoria é a definição de inovação adotada pelo manual de OSLO, publicado no Brasil em 2004.

Este manual consiste em uma proposta elaborada pela OCDE com o objetivo de criar padrões de coleta, análise e interpretação de dados referentes à inovação tecnológica que sejam compartilhados por diversos países.

Segundo este, a inovação é a implementação de um produto (bem ou serviço), processo, método organizacional novo ou significativamente melhorado, conforme explicitado na citação abaixo.

[7] Conceito Shumperiano, o empresário inovador é o agente promotor da inovação por excelência. Este é quem faz a recombinação das forças produtivas e obtém os lucros resultantes da inovação.

> Uma inovação tecnológica de produto é a implantação/comercialização de um produto com características de desempenho aprimoradas de modo a fornecer objetivamente ao consumidor serviços novos ou aprimorados. Uma inovação de processo tecnológico é a implantação/adoção de métodos de produção ou comercialização novos ou significativamente aprimorados. Ela pode envolver mudanças de equipamento, recursos humanos, métodos de trabalho ou uma combinação destes (OCDE, 2004: 21).

Comparando as definições sugeridas pelo manual e pela teoria schumpeteriana, pode-se notar que não existem contradições. Mas nota-se que a adotada por Schumpeter é mais restritiva à medida que foca, exclusivamente, o âmbito da firma.

Outra característica do processo de inovação proposto pelo autor, que permanece até hoje, é a já referida motivação de obtenção de lucros extraordinários decorrente da adoção de inovações.

Esses lucros podem ser obtidos devido à um posicionamento monopolista no provimento de um produto à sociedade ou no caso de inovações de processo, pelo aumento da produtividade da firma, consequente redução de custos e aumento da margem de lucro. Não obstante, este não é o único motivo pelo qual as firmas geram e adotam inovações, outros elementos serão acrescentados à análise nas próximas sessões.

Um terceiro aspecto a ser destacado diz respeito à própria definição de inovação. Segundo Schumpeter, há uma diferença entre invenção e inovação. Ambas podem ser um produto, ou processo, novo ou melhorado, mas se diferenciam por resultar, ou não, em aplicação industrial. Portanto, uma das condições para que uma invenção se torne uma inovação é a sua potencial e efetiva aplicação para fins comerciais.

2.1.1. Eco- Inovação

O termo eco-inovação é freqüentemente usado como uma abreviação para inovação ambiental (*environmental innovation)* e pode ter diversas definições. Rennings (2000) as define como: todas as medidas de atores relevantes que levam ao desenvolvimento e aplicação de novas idéias, comportamentos, produtos e processos, que contribuam para a redução da degradação ambiental e para atingir metas ecológicas específicas.

Isso inclui inovações de produto e processo, mudanças na gestão organizacional e, no que tange ao nível político e social, mudanças na regulação ambiental, comportamento do consumidor ou forma de viver em geral.

Essa definição se assemelha à de Kemp (1997), onde as inovações ambientais são entendidas como processos, produtos, técnicas e sistemas de gestão novos ou melhorados que evitam ou reduzem impactos ambientais negativos. Segundo Arundel & Kemp (2009), estas são coerentes com a definição de tecnologia ambiental adotada pela ETAP (*European Commission's Environmental Technologies Action Plan*).

Essa comissão considera as tecnologias ambientais como sendo processos que fazem a gestão da poluição (controle de poluição do ar, gestão de águas), produtos e processos menos intensivos em recursos (tanto materiais quanto energéticos) e outros mecanismos de gestão mais eficiente dos recursos.

Arundel & Kemp (2009), na tentativa de reunir os diversos conceitos apresentados, chegaram à definição descrita na citação abaixo.

> *eco-innovation is the production, assimilation or exploitation of a novelty in products, production processes, services or in management and business methods, which aims, throughout its life cycle, to prevent or substantially reduce environmental risk, pollution and other negative impacts of resources use (including energy use). Novelty and environmental aim are the two distinguishing features.* (ARUNDEL & KEMP, 2009: 16).

Além dessas definições, há também um termo mais geral, tecnologia mais limpa (*Cleaner Technologies*), que consiste em toda a técnica, processo ou produto que diminui, ou elimina, danos ambientais e/ou o uso de matéria primas não renováveis, recursos naturais ou energia (KEMP, 1997).

Este autor faz ainda a distinção entre *Clean(er) Technologies* e *Cleaning Technologies*. O primeiro grupo se refere às tecnologias que reduzem insumos ou os substitui; mudanças de processos integrados que previnem poluição; tecnologias recicladoras; e que produzem produtos mais limpos.

As tecnologias *cleaning,* correspondem àquelas conhecidas como *end-of-pipe* e outras formas de tratamento de resíduos, sendo que o primeiro grupo é freqüentemente visto como superior ao segundo devido ao seu caráter preventivo e estrutural de mudança (GONZÁLES, 2009).

Ainda no que se refere às definições de eco-inovação, existe o conceito de eco-eficiência, que pode ser aplicado àquela tecnologia ou inovação que causa menos danos ambientais por unidades de produto, ou serviços, tal qual exposto da fórmula abaixo.

$$\textit{Eco-efficiency} = \frac{\textit{product or service value}}{\textit{environmental impact}}$$

Segundo o WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*, 2000), a eco-eficiência não é uma medida simples de se identificar na prática, mas geralmente atendem à pelo menos um dos seguintes requisitos:

- ✓ Redução da intensidade material
- ✓ Redução da intensidade energética
- ✓ Redução da dispersão de substâncias tóxicas
- ✓ Aumento da reciclabilidade
- ✓ Maximização do uso de renováveis
- ✓ Aumento da durabilidade dos produtos
- ✓ Aumento da intensidade do serviço

Esses conceitos estão em consonância com os critérios de classificação exposto na seção 1.2.4. que, por sua vez, incorporam elemento advindos da teoria econômico ecológica pois dizem respeito ao aumento da eficiência no uso de matéria e energia.

No entanto, este aumento de eficiência deve observar o limite dado pela finitude dos mesmos. Deve haver o reconhecimento de que a capacidade da natureza em absorver e transformar substâncias tóxicas também é limitada. O aumento da durabilidade dos produtos e de sua reciclabilidade estão ligados à melhor utilização dos insumos, redução da intensidade da extração e do depósito de resíduos.

Baseada na definição apresentada anteriormente, Arundel & Kemp (2009) desenvolveram uma tipologia aplicada às eco-inovações. Os autores distinguiram quatro tipos de inovação: tecnologias ambientais; inovações organizacionais; inovações em produtos e serviços com benefício ambiental; e mudanças em sistemas verdes (*green systems change*), conforme descrito a seguir:

A. Tecnologias Ambientais (*Environmental technologies*):

- ✓ Tecnologias de controle da poluição inclusive de tratamento de resíduos e água. Tecnologias que limpam (*Cleaning*) e tratam a poluição lançada no meio ambiente;
- ✓ Tecnologias de processo mais limpas: novos processos de manufatura que sejam menos poluentes e/ou mais eficientes;
- ✓ Equipamento de gestão de resíduos;
- ✓ Instrumentação e monitoramento ambiental;
- ✓ Tecnologias de energia verde (Green energy technologies);
- ✓ Fornecimento de água;
- ✓ Controle de barulho e vibração;

B. Inovação organizacional para o meio ambiente: A introdução de métodos organizacionais e sistemas de gestão para lidar com os problemas ambientais na produção e em produtos. Uma possível classificação é:

- ✓ Método para prevenção de poluição: prevenção da poluição através da substituição de insumos, uma operação mais eficiente dos processos e pequenas mudanças nas plantas produtivas;
- ✓ Sistemas de gestão ambiental e de auditoria: sistema formal de gestão ambiental envolvendo mensuração, relatórios e responsabilidades ao lidar com o uso de materiais, energia, água e resíduos;
- ✓ Gestão da cadeia: cooperação entre companhias para aproximar a troca de materiais e reduzir danos ambientais ao longo da cadeia;

C. **Inovação de produto e serviços** que ofereçam benefícios ambientais: Produtos novos ou ambientalmente melhorados e serviços ambientalmente benéficos.

- ✓ Produtos novos ou ambientalmente melhorados, incluindo eco-casas e prédios;
- ✓ Serviços ambientais (*Environmental services*): gestão de resíduos sólidos e líquidos, gestão de águas, consultoria ambiental, testes e engenharia, serviços de análise;
- ✓ Serviços que são menos poluentes e intensivos em recursos;

D. **Inovação em sistema verdes** (*Green system innovations*)

- ✓ Sistemas alternativos de produção e consumo que sejam mais amigáveis do ponto de vista ambiental do que os já existentes: agricultura biológica e sistemas baseados em energias renováveis.

Estes conceitos podem ser usados para classificar e identificar a existência de uma inovação ambiental, ou eco-inovação. Mesmo tendo estes à mão, dizer se uma tecnologia é ambientalmente amigável (*environmental friendly*) ou mesmo se é eco-eficiente depende de uma análise caso a caso (ARUNDEL & KEMP, 2009). Contudo, as definições aqui descritas servirão de base para uma tipologia de classificação a ser aplicada às tecnologias desenvolvidas pela Unicamp.

2.2 Determinantes da Inovação e da Eco-Inovação

Dadas as características das inovações, tanto a partir das proposições Schumpeterianas, quanto das inovações de cunho ambiental, ou eco-inovações, o próximo passo consiste em uma investigação a respeito dos determinantes dessas inovações. À semelhança da sequência adotada na seção anterior, primeiramente será abordada a literatura a respeito da inovação em geral e posteriormente são focadas as eco-inovações.

2.2.1 Teorias do Indução pela Demanda (*demand-pull*) e Impulso pela Tecnologia (*technology-push*)

O debate a respeito dos determinantes da inovação tecnológica no âmbito da teoria econômica foi pautado por duas visões antagônicas, cuja divergência se origina em suas próprias raízes teóricas. Essas visões podem ser denominadas: *demand-pull* e *technology-push*. Esta seção recupera este debate com o objetivo de situar a discussão atual e facilitar o entendimento da dinâmica de determinação de inovações sob a ótica evolucionista (tema da próxima seção).

A abordagem que estabelece a demanda como principal determinante da inovação, conhecida como *demand-pull*, se origina do pensamento ortodoxo da economia e representa uma formalização e interpretação da tradição mais ampla do pensamento econômico ocidental, cuja linha de descendência intelectual pode ser traçada a partir de Smith e Ricardo através de Mill, Marsahll e Walras (NELSON & WINTER, 1982).

A identificação de falhas estruturais desse corpo teórico pode ser estendida à abordagem *demand-pull*. Segundo Nelson & Winter (1982), as firmas do modelo ortodoxo operam sob um conjunto de regras externas e internas, que refletem o comportamento maximizador das mesmas. O modelo maximizador é composto por três elementos básicos: o objetivo da firma; suas competências; e a firma como resultado da escolha da ação.

A manutenção de pilares como o equilíbrio, maximização e racionalidade dos agentes fez com que fosse necessário abstrair a incerteza, os ganhos e perdas transitórios, o caráter irregular do avanço técnico e a heterogeneidade das firmas.

A visão da empresa como uma função de produção maximizadora de ganhos impõe estratégias e reações semelhantes frente às flutuações da demanda. A diferenciação entre as firmas passa a ser resultado, tão somente, das combinações distintas de seus fatores de produção. Essa semelhança é corroborada pelo pressuposto de que as informações e recursos técnicos estão igualmente disponíveis para todos os agentes.

Como o próprio nome diz (*demand-pull*), essa abordagem considera que o principal determinante do progresso técnico é a mudança de comportamento da demanda, que são percebidos pelas empresas e traduzidos em novas tecnologias que melhor atendam este novo desenho do mercado (MOWERY & ROSENBERG, 1969).

O processo de sinalização da mudança faz-se através da expressão das preferências do consumidor via mecanismos de preços e sua tradução nas curvas de demanda.

Segundo Dosi (1982), as críticas a essa proposição teórica decorrem de vários aspectos, dentre eles, definir a teoria geral dos preços como determinante da demanda, ou as dificuldades em identificar uma função de demanda a partir da utilidade, ou ainda, as dificuldades práticas em interpretar o processo inovativo sob essa perspectiva.

Mesmo considerando possível vencer as dificuldades acima relacionadas, este modelo não explica a complexidade do processo de inovação, principalmente, no que diz respeito à interação entre a ciência, tecnologia e produção. Essa concepção de mudança técnica também não explica a existência de mudanças radicais ou paradigmáticas durante o desenvolvimento da economia (DOSI, 1982).

> Mas, o argumento básico sustenta que, geralmente, existe a possibilidade de se saber *a priori* (antes do processo de invenção ocorrer) a direção na qual o mercado está induzindo a atividade inventiva dos produtores e, além disso, afirma que parte importante do "processo de sinalização" se dá por meio de movimentos dos preços relativos e das quantidades. (DOSI, 1982: 32).

Quanto a este ponto, destacam-se as dificuldades práticas de uma firma ter clareza da curva de demanda com a qual deverá trabalhar (para não dizer de suas mudanças). Além disso, a heterogeneidade das mesmas incorreria em forte distinção quanto às reações frente às mudanças na demanda, contradizendo o pressuposto de que as condições técnicas estão igualmente disponíveis para todos e a fronteira tecnológica é claramente conhecida (SAVIOTI & METCALFE, 1991; LALL, 1992).

Em resumo, Dosi (1982) identifica três fragilidades básicas na versão "forte" das abordagens "indução pela demanda": em primeiro lugar, um conceito passivo e mecânico de "reatividade" à mudança tecnológica vis-à-vis as condições de mercado; em segundo, a incapacidade de definir por que e quando de certos desenvolvimentos tecnológicos em vez de outros; em terceiro lugar, a desconsideração das mudanças ao longo do tempo, da capacidade de invenção, que não mantêm qualquer relacionamento direto com as condições mutáveis do mercado.

Apesar disso, a existência de uma demanda (ou percepção positiva do mercado) é

condição necessária para o progresso técnico (MOWERY & ROSENBERG, 1979). Sendo assim, as empresas devem ter capacidade de captar possíveis alterações no comportamento da mesma e traduzi-las em novas rotinas e dinâmicas inovativas, mesmo que este processo não se de por meio das curvas de utilidade.

Além deste ponto, uma teoria da inovação deve reconhecer que a fronteira tecnológica não é igualmente conhecida por todas as firmas e que ela pode ser alterada pelas empresas e outras instituições de pesquisa (LALL, 1992; NELSON & ROSENBERG, 1993).

Esta constatação representa um passo na direção da endogenização do progresso técnico. Significa que as firmas podem não só adotar soluções tecnológicas já existentes, como também desenvolvê-las através da pesquisa e parcerias com outras instituições.

Esse é mais um ponto a ser incluído para fortalecer uma análise a respeito da inovação, dado que as empresas dispõem de recursos técnicos, tácitos ou não, acumulados ao longo dos anos que as diferenciam (KATZ, 1976; LALL, 1992, DOSI & NELSON, 2009).

Estes recursos poderão ser orientados na direção da busca pela inovação para atender a possíveis exigências do mercado (alterações da demanda, ou ameaça de concorrentes), ou mesmo para aproveitar o potencial inovativo existente em uma nova descoberta científica.

A idéia de aproveitamento do potencial de uma nova descoberta pode ser extraída de uma linha da teoria da inovação conhecida como *technologie push.* Esta propõe que a inovação decorra, no caso de sua versão forte, exclusivamente do desenvolvimento de novas alternativas tecnológicas que viabilizem a geração de novos produtos, processos, etc.

Também segundo Dosi (1982), essa teoria tem contribuições relevantes, mas pode incorrer no erro de não levar em consideração a inerente importância dos fatores econômicos no direcionamento do processo de inovação.

Este processo não decorre de um fluxo unidirecional da "ciência-tecnologia-produção", mas é composto por uma complexa estrutura de retroalimentação (*feedbacks*) entre ambiente econômico e as direções das mudanças tecnológicas (DOSI,

1982). A teoria evolucionista procurou absorver aspectos relevantes de ambas as proposições teóricas descritas.

No que tange ao objetivo do presente trabalho, destaca-se a noção de que as inovações não são exclusivamente derivadas de impulsos da demanda e que a ampliação dos limites do desenvolvimento técnico resultado de avanços tecnológicos é relevante à medida que torna as instituições que realizam pesquisa e desenvolvimento agentes ativos na dinâmica inovativa.

2.2.2 Teoria Evolucionista e a Eco-Inovação

A concepção teórica onde a inovação é tida como um processo dinâmico e endógeno tem em Nelson & Winter (1982) uma de suas principais expressões. Estes autores propõem uma teoria evolucionária da mudança tecnológica, na qual a inovação é considerada como o equivalente à mutação e variações genéticas, o comportamento das rotinas de pesquisa são os genes e a seleção do mercado a seleção natural.

"Em nossa teoria evolucionária, essas rotinas assumem a função que os genes apresentam na teoria evolucionária biológica" (NELSON & WINTER, 1982: 33). Definem o comportamento possível, são hereditárias e selecionáveis, certas rotinas podem ser mais vitoriosas que outras. Consistem em uma capacidade adquirida por uma organização de repetir tarefas que geralmente incorporam o aprendizado relativo à solução de problemas e são as bases para a construção de diferentes capacidades tecnológicas entre as empresas (DOSI & NELSON, 2009).

Essas rotinas podem assumir mais de uma classe. Dentre essas destacam-se as voltadas à modificação das características operacionais ao longo do tempo, "Haverá uma caracterização de uma população de modificações de rotina ou de rotinas novas que podem ser encontradas por meio de busca" (NELSON & WINTER, 1982: 38).

Este conceito de busca constitui a contrapartida das mutações na teoria evolucionária biológica. E o tratamento da busca como parcialmente determinada pelas rotinas da firma é paralelo ao tratamento da mutação na teoria biológica, parcialmente determinado pela constituição genética do organismo. A despeito das semelhanças com a evolução biológica, Dosi & Nelson (2009) afirmam a importância do esforço humano e

do corpo de conhecimento e técnicas usados por aqueles que buscam o avanço da tecnologia.

> Busca e seleção são aspectos simultâneos e interativos do processo evolucionário: os mesmos preços que geram o *feedback* da seleção também influenciam as direções da busca. As firmas evoluem ao longo do tempo através de ação conjunta de busca e seleção, e a situação do ramo de atividade em cada período carrega as sementes de sua situação no período seguinte. (NELSON & WINTER, 1982: 40/41).

Ao considerar a inovação como um processo dinâmico (e complexo) onde a firma tem papel central, esta teoria se distancia da análise neoclássica. O foco passa a ser o desequilíbrio e a incerteza, o processo de aprendizado, adaptação e a atenção para os aspectos institucionais[8] envolvidos no processo de decisão.

Mudanças organizacionais nas empresas são reflexos de diferentes competências internas desenvolvidas ao longo dos anos que, cumulativamente, as dotam da capacidade tanto de responder às mudanças nas condições de mercado, quanto de empreender projetos inovadores, promovendo alternativas para o atendimento das necessidades da sociedade (LALL, 1992; MALERBA & ORSENIGO, 1993).

Todavia, essas respostas e novos projetos passam por uma seleção que determinará o sucesso das mesmas. Neste espaço, as empresas lutam para oferecer produtos mais desejáveis e/ou produzidos mais eficientemente. Aquelas que obtêm sucesso não só sobrevivem, como aumentam seu tamanho e participação no mercado (SAVIOTTI & METCALFE, 1991)[9].

Esse processo se dá no ambiente seletivo, que é composto por diversos agentes, como consumidores, governos e outras instituições que podem influenciar a geração e adoção de uma inovação. Essas inovações podem ter diferentes características, tanto quanto ao seu aspecto técnico, de produto ou processo, quanto à sua natureza radical ou incremental (SARTORIUS, 2006).

[8] No que diz respeito a esses aspectos institucionais, Nelson (2009) afirma que mudanças organizacionais e políticas públicas adequadas devem ser consideradas na análise de uma inovação, dada a sua importância no avanço da tecnologia.

[9] A despeito dessa afirmação "clássica" da teoria evolucionista, estudos recentes como Bottazzi et. al. (2009) mostram que a heterogeneidade reduz a aplicabilidade desta regra.

Dosi (1982) também aborda as especificidades da inovação tecnológica sob uma ótica evolucionista. A proposição do autor de diferenciar paradigma e trajetória tecnológica é particularmente profícua para o presente trabalho: um paradigma é entendido como um novo padrão de soluções tecnológicas viabilizado pelo desenvolvimento da ciência, enquanto a trajetória tecnológica é a solução de problemas "normais" definidos dentro de um determinado paradigma.

> *A paradigm embodies an outlook, a definition of the relevant problems to be addressed and the patterns of enquiry in order to address them. It entails a view of the purported needs of the users and the attributes of the products or services they value. It encompasses the scientific and technical principles relevant to meeting those tasks, and the specific technologies employed. A paradigm entails specific patterns of solution to selected techno- economic problems – i.e. specific families of recipes and routines– based on highly selected principles derived from natural sciences, jointly with specific rules aimed at acquiring related new knowledge. Together, the paradigm includes a (generally imperfect) understanding about just how and (to some extent) why prevailing practice works* (Pg, 13. DOSI & NELSON, 2009).

Este olhar sobre a mudança tecnológica possibilita entender o papel da continuidade *versus* descontinuidade da mudança técnica. A inovação incremental *versus* radical pode ser agora descrita em termos de progresso normal da técnica em oposição à emergência de um novo paradigma tecnológico.

As mudanças de paradigmas são muitas vezes resultado de um processo cumulativo e se diferenciam entre si, ao longo do tempo e entre setores, de acordo com a natureza do conhecimento que subsidia as oportunidades para o avanço tecnológico. Determinados paradigmas são majoritariamente resultado do *learn-by-doing* e *learn-by-using*[10], enquanto firmas de alta tecnologia tendem a se basear no avanço da ciência básica e aplicada (DOSI & NELSON, 2009).

Sartorius (2006), dialogando com Dosi, afirma que as eco-tecnologias também podem ser divididas nessas categorias e que a seleção tanto de um paradigma quanto de uma trajetória é influenciada por fatores econômicos, sociais e institucionais que compõe o ambiente seletivo.

[10] Conceitos utilizados para descrever o processo de aprendizado institucional ou tecnológico a partir da experiência. Ver também Rosenberg (1982) e Freeman (1994).

O ambiente econômico e institucional atua no ambiente seletivo em dois momentos (em analogia com o processo biológico de evolução): primeiramente seleciona a direção da mutação (via seleção do paradigma tecnológico) e depois seleciona as mutações realizadas no mercado através de seus diversos mecanismos (DOSI, 1982; SAVIOTI & METCALFE, 1991).

Kemp et. al. (2000) afirma que as inovações envolvem um complexo sistema de interações entre as firmas e o ambiente, sendo que este ambiente pode ser visto de duas maneiras distintas.

Em um primeiro nível, existem interações entre firmas, seus consumidores e fornecedores, particularmente, quando isso envolve estreita interação entre produtores e usuários de tecnologias. O segundo nível envolve fatores mais amplos como: o contexto sócio-cultural, o marco institucional e organizacional, infra-estrutura, o processo de criação e distribuição de conhecimento científico, dentre outros.

Segundo Dosi & Nelson (2009), a existência de paradigmas tecnológicos e oportunidades tecnológicas específicas não significa falta de espaço para a influência de fatores econômicos (como os preços relativos) na geração de inovações.

Esses autores inclusive destacam alguns mecanismos pelos quais os fatores de indução podem influenciar a definição e evolução de um paradigma tecnológico. Em primeiro lugar estão as mudanças dentro de um determinado paradigma, que pode resultar de alterações nos preços relativos, necessidade de vencer gargalos tecnológicos e enfrentar choques de oferta; e pelo lado da demanda, destaca-se as mudanças no comportamento do consumidor.

Em segundo lugar, a indução pode tomar forma de influência dos fatores de mercado sobre a direção relativa dos esforços de pesquisa determinando sua intensidade e, consequentemente, diferentes ritmos de avanço tecnológicos dos paradigmas (DOSI & NELSON, 2009).

A influência de fatores econômicos e institucionais no ambiente seletivo é particularmente relevante para a identificação de determinantes da geração de eco-tecnologias.

A internalização da problemática ambiental nos diferentes setores da sociedade tem influenciado diretamente a conformação do ambiente seletivo, de forma que os

feedbacks gerados por essa influência podem se fazer sentir não só nas estratégias de investimento das firmas como no desenvolvimento da ciência e da tecnologia (KEMP, 2000; ROMEIRO & SALLES-FILHO, 2001).

Ambientalismo hoje trata-se de um fenômeno de massa formado através da mídia e em franco processo de institucionalização. Isso impõe uma mudança de postura por parte dos agentes econômicos, que devem reconhecer a questão como uma condição do desenvolvimento industrial moderno (ROMEIRO & SALLES-FILHO, 2001).

Segundo Porter & Linde (1995), as firmas não costumam inovar em todas as direções, mas direcionar para um, ou outro aspecto, dependendo de sua situação competitiva. A regulação ambiental apropriada pode servir para influenciar essa situação competitiva na direção da sustentabilidade, fazendo com que aumente a relevância do desenvolvimento e adoção de tecnologias ambientalmente amigáveis para a estratégia competitiva das empresas. Dentre os fatores que podem estimular as empresas a tornarem-se sustentáveis destacam-se:

- ✓ As inovações sinalizam às empresas a possível ineficiência de seus processos no uso dos recursos.
- ✓ A regulação reduz a incerteza quanto à disponibilidade de tecnologias voltadas ao meio ambiente.
- ✓ Regulação cria pressões que motivam a inovação e o progresso, fazendo se superar a inércia da empresa, funcionando tal qual pressões de outras empresas ou de consumidores.
- ✓ A regulação possibilita uma garantia às empresas em momentos onde se está fazendo uma transição para um modelo inovador.

Ainda segundo Porter & Linde (1995), a demanda está se movendo na direção de valorizar produtos pouco poluentes e energeticamente eficientes. Observando este movimento, as empresas procuram investir em inovações que as permitam entrar neste segmento de mercado. Isso se nota em países que possuem regulação ambiental mais antiga, como a Alemanha, onde as empresas têm obtido vantagens perante concorrentes internacionais devido ao chamado *early-mover advantage*.

> 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. (ROMEIRO & SALLES-FILHO, 2001: 108).

Essas vantagens foram observadas também por Rennings (1999, 2005, 2006), que a partir de pesquisas junto a empresas européias, constatou que a integração da gestão da inovação e da gestão ambiental, pode aumentar a competitividade das mesmas, confirmando o que ficou conhecido como Hipótese Porter, segundo a qual, poluir é ser ineficiente.

Arundel & Kemp (2009) ressaltam pontos que a empresa pode se beneficiar ao inovar na direção da sustentabilidade. Esses benefícios podem ser diretos: obtenção de vantagens operacionais; redução de custo; melhor produtividade no uso dos recursos; além de maiores vendas decorrente da demanda por produtos verdes. Ou indiretos: melhor imagem; relacionamento com fornecedores; consumidores e autoridades; maior articulação com detentores do conhecimento; melhoria na saúde e segurança; além de melhor satisfação dos trabalhadores.

> *There are many drivers for eco-innovation: regulation, cost reduction, profits from commercialization, pressure from communities, green ethos, improving the company image. In cases for which reducing environmental impact offers no operational benefits or commercialization benefit, then regulation may be the clearest driver for eco-innovation* (ARUNDEL & KEMP, et. al. 2009: 25).

Wagner (2008), a partir da revisão de autores que trataram a questão da influência do ambiente seletivo nas decisões dos agentes, destaca que (ao menos em países europeus) os "consumidores verdes", representam um importante impulso da demanda à geração e/ou adoção de eco-inovações.

Isso não significa que este seja o único, ou mesmo, o principal fator dinamizador dessas inovações. Contudo, a avaliação das preferências desses consumidores através de pesquisas de mercado indica que a provisão de informações aos consumidores a respeito da qualidade ambiental dos produtos e processos de uma firma, seja via certificação ou outros mecanismos, pode ser considerada de relevância similar à regulação (CLEFF & RENNINGS, 1999; WAGNER, 2008).

Cabe ressaltar que, segundo Cleff & Rennings (1999), há um diferença entre a influência exercida sobre as inovações de produto e processo. Sendo que a primeira é majoritariamente determinada por uma política de mercado da empresa, resultado da mudança de percepção dos consumidores, enquanto as novas tecnologias de processo são fortemente estimuladas pelo aparato regulatório.

Nesta mesma linha, Romeiro & Salles-Filho (2001) afirmam que o ambiente seletivo pode ser fortemente influenciado por políticas restritivas, ou mesmo por um processo de crescente conscientização ambiental que sinalizem às empresas a necessidade de adotar tecnologias amigáveis ao meio ambiente.

> 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 (ROMEIRO & SALLES-FILHO, 2001:102).

Estes autores defendem que a incorporação da problemática ambiental na geração de inovações e construção de trajetórias tecnológicas deve ser feito através da gestão dos ambientes seletivos e mecanismos de busca. Significa dizer que no âmbito das políticas públicas, o estabelecimento de regras e a gestão das oportunidades devem visar a incorporação dessa problemática na tomada de decisão dos agentes.

2.2.3 Políticas Públicas como Determinantes da Eco-Inovação

As políticas públicas tem influência relevante na promoção das eco-tecnologias, pois estimulam o desenvolvimento das inovações e direcionam do investimento privado, seja via marco regulatório, que baliza a pesquisa e desenvolvimento, ou através do financiamento direto à geração de inovações em instituições públicas de pesquisa (GONZALES, 2009).

Ainda segundo Romeiro & Salles-Filho (2001), o incentivo à geração de tecnologias limpas não deve se restringir a medidas coercitivas, mas também capacitar tecnologicamente os diversos agentes e instituições que podem contribuir para este desenvolvimento.

Um dos "tipos" de políticas existente são os instrumentos de comando e controle, ou regulação direta, que consiste no estabelecimento de controles, padrões e procedimentos, cuja não adequação implica em multa e outras penalidades (MAY, 2003).

A regulação governamental pode estabelecer padrões mínimos a serem adotados pelas empresas, como por exemplo, o *Clean Air Act* de 1990 nos Estados Unidos que reduziu a emissão de poluentes advindos de veículos automotores.

Apesar de a regulação ser eficiente no controle de algumas variáveis ecológicas, geralmente estimula melhorias incrementais adaptativas de caráter *end-of-pipe* sendo insuficiente para promover a geração de eco-tecnologias "radicais" (KEMP et. al. 2000).

Além disso, o custo de controle e fiscalização das normas estabelecidas por um mecanismo de regulação, ou qualquer outro de comando e controle, pode se tornar demasiadamente elevado, além de não considerar as especificidades dos agentes e os diferentes custos de adaptação (MAY, 2003).

Além desses mecanismos, existem os instrumentos econômicos. Também conhecidos como instrumentos de mercado, buscam internalizar as externalidades, incentivar gastos em uma determinada direção, orientar os agentes a valorizarem os bens e serviços ambientais utilizados, dentre outros (ALMEIDA, 1998). Estes podem ser desdobrados em subsídios, taxas e tarifas, certificados de emissão transacionáveis, etc.

Kemp et. al. (2000) analisaram diversos destes instrumentos para os países da OCDE, identificando pontos fortes e fracos. No que diz respeito aos subsídios, destaca que este foi ineficiente para influir na tomada de decisão dos agentes em alguns países e em outros foi mais eficaz, como no caso da Dinamarca. O diferencial, segundo o autor, está no papel ativo da agência de proteção ambiental em selecionar bons projetos de tecnologia e articular seu desenvolvimento com as empresas.

O autor destaca também a importância do subsídio para a pesquisa científica nas universidades e outras instituições com potencial de gerar soluções inovadoras. No caso brasileiro, esse aspecto é ainda mais importante dado o alto índice de atividade inovativa nas universidades, se comparada ao setor privado (GULLO & GUERRANTE, 2006).

Incentivos econômicos, geralmente, têm sido recomendados por órgãos governamentais e multilaterais, pois teoricamente apresentam benefícios como maior liberdade às firmas para negociar suas obrigações ambientais, permitindo um controle

descentralizado e autônomo por parte do governo, adjacente a isto está a consideração das especificidades de cada firma (HASCIC & OSTERTAG, 2008).

Esses instrumentos também se destacam por possibilitar um incentivo constante às inovações, pois não se restringem a um determinado padrão fixo e seus benefícios podem ser estendidos para a redução total de um dano ambiental (MAY, 2003).

Ainda segundo Kemp et. al. (2000), os instrumentos econômicos também têm problemas como a incerteza quanto à resposta dos agentes e o fato de que geralmente os incentivos são insuficientes para atender às reais necessidades do meio ambiente. Além disso, determinados fatores ecológicos não podem ficar sujeitos à negociação pelo mercado dada a sua essencialidade para o ecossistema.

Tendo em vista que os diversos instrumentos de políticas aqui abordados têm pontos fortes e fracos, o estímulo à inovação deve ser mais eficiente quando composto por um conjunto de ações que, por um lado, subsidie a pesquisa e crie condições institucionais para o desenvolvimento de novas tecnologias, e por outro, adote mecanismos de controle e incentivo para que as empresas apliquem essas tecnologias e operem dentro dos limites ecológicos considerados adequados.

2.3 Conclusões Preliminares

Este capítulo procurou identificar o que é e quais são os principais determinantes da inovação tecnológica e da eco-inovação. O debate não poderá ser esgotado nessas páginas, no entanto, foram levantados elementos suficientes para entender seus aspectos essenciais.

Estas definições levantadas devem ser observadas levando em consideração a função da tecnologia para a economia ecológica, tal qual explicitado no primeiro capítulo. A conjunção dessas duas abordagens subsidiará a elaboração de uma tipologia a ser aplicada às tecnologias analisadas neste trabalho.

A eco-inovação, assim como as outras inovações, são produtos, processos ou serviços novos ou melhorados, no entanto, se distinguem por resultar em uma redução (relativa) do impacto ambiental decorrente de seu uso.

Também à semelhança das demais inovações, estão inseridas em um processo dinâmico de geração, e difusão, onde o encontro das tecnologias com o ambiente seletivo

gera um constante fluxo de *feed-back,* delineando a direção e seleção dos paradigmas e trajetórias tecnológicas a serem adotados.

No caso das eco-inovações, a literatura aponta que o ambiente seletivo têm influenciado decisivamente a geração e adoção das mesmas. Esta influência pode ter diversas origens e atua diferentemente sob as decisões, dependendo das características intrínsecas à técnica em questão.

Ainda no que diz respeito aos determinantes dessas inovações, foi discutido a função da regulação governamental e de outras políticas públicas como o investimento em pesquisa e desenvolvimento para a conformação de um ambiente propício para o surgimento das mesmas.

Capítulo III - Inovação e Universidade

Tal qual descrito nas conclusões do capítulo anterior, a política pública é um importante determinante das inovações e das eco-inovações. Neste contexto, destacam-se as instituições públicas de pesquisa e ensino, capazes de elevar a capacidade tecnológica de um sistema (NELSON, 1993; LALL, 1992).

Dentre essas está a universidade, que vêm ampliando seu papel na geração de invenções e mesmo de inovações, deixando de ser somente um provedor de mão-de-obra especializada e assumindo uma função cada vez mais empreendedora (NELSON & ROSENBERG, 1993; COHEN, NELSON & WALSH, 2003).

Este capítulo tem como objetivo discutir a função da Universidade no Sistema Nacional de Inovação e mostrar a relevância de estudar o caso da Unicamp. A atividade inovativa desta instituição será analisada através da descrição das características dos pedidos de patente gerados por seus pesquisadores, bem com por meio de entrevistas aplicadas à eles.

O presente capítulo é constituído por três seções, a primeira diz respeito ao papel da universidade na dinâmica de inovação tecnológica no contexto nacional. Para isso, é feita uma revisão do arcabouço teórico dos sistemas nacionais de inovação.

A segunda seção trata da atividade patentária, ressaltando quais as características de uma patente (e eco-patente), quais delas devem ser consideradas no caso das universidades e os "cuidados" metodológicos necessários para analisá-las.

A terceira seção resgata pontos relevantes das seções anteriores, dentre outros levantados no primeiro e segundo capítulo, para propor uma estrutura de classificação das eco-tecnologias da universidade e hipóteses a serem observadas na análise do banco de patentes da Unicamp.

3.1 A Universidade e os Sistemas Nacionais de Inovação

Segundo a OCDE (2009a), a inovação opera através de uma vasta gama de interações envolvendo diferentes instituições de mercado e de "não mercado" (*market and non-market intitutions*). As políticas públicas podem garantir condições econômicas

para promover essas interações e viabilizar a superação de falhas de mercado (LALL, 1992). Como exemplo, destaca-se a necessidade de enfrentamento dos problemas ambientais ignorados pelos agentes privados.

> *There is a clear role for innovation in addressing global challenges. Taking the environment as an example, analysis shows the importance of a robust general framework for innovation, the opportunities for learning from others, the need to better understand the balance between collaboration and competition at a multi-country level, and the importance of forming a robust approach to the governance arrangements around multi-country challenges, such as climate change and water. This is essential to leverage the impact of national efforts and ensure all countries can gain from the fruits of innovation* (OCDE, 2009a: 6).

Ainda segundo OCDE (2009a), as ações públicas podem se efetivar no suporte à pesquisa, intensificação da ligação entre academia e indústria, orientação de pesquisas públicas às necessidades do mercado, bem como regulação da propriedade intelectual.

Para aprofundar a discussão a respeito deste tema é relevante delinear a perspectiva analítica dos Sistemas Nacionais de Inovação. Assim como a teoria evolucionária, esta proposição teórica resulta de uma crítica à teoria neoclássica da inovação e do reconhecimento que este processo é complexo e envolve diversos agentes, cuja interação não é linear.

Segundo Lundvall (1992), o Sistema Nacional de Inovação é constituído por elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimentos novos e economicamente úteis. Nelson (1993) define este sistema como uma série de instituições cujas interações determinam o desempenho inovativo das firmas nacionais.

Essa perspectiva teórica é particularmente útil para a elaboração e análise da efetividade das políticas públicas à medida que foca nas interações institucionais em âmbito nacional (FREEMAN, 1988). Essa visão coloca a inovação como principal objetivo do sistema de pesquisa, que por sua vez, integra um sistema maior, composto por governos, universidades, indústrias e o ambiente que os circundam (NELSON, 1993).

As inter-relações entre os agentes que compõe este ambiente formam as estruturas dos sistemas nacionais de inovações. Essa estrutura determina o ritmo e as características da inovação, tal qual exposto por Freeman (1988) quando compara União Soviética, Japão, Europa e Estados Unidos nos anos 1980, destacando a diferença em suas performances tecnológicas.

Segundo OECD (1999), essas disparidades de performances decorrem de diferentes pesos e focos nos setores públicos e privados, no financiamento da P&D, objetivos diferentes, instrumentos de governo utilizados, bem como das diferenças de especialização científica, tecnológica e industrial.

De acordo com OECD (2009b), depois dos anos 1990 a mudança técnica e a inovação se tornaram cada vez mais relevantes para o desempenho econômico. Isso foi indicado pelo crescimento do investimento em inovação, aumento do número de patentes em todas as áreas tecnológicas e a disseminação das atividades inovativas nos mais diversos setores produtivos.

Além deste fato, destaca-se a tendência de internacionalização da pesquisa e desenvolvimento (P&D). Contudo, as grandes multinacionais continuam mantendo suas unidades avançadas de pesquisa em seus países sede, notadamente, Japão, Estados Unidos e países da União Européia (HASCIC & OSTERTAG, 2008). Este fato é particularmente relevante para o Brasil, onde essas empresas atuam, mas mantêm um reduzido volume de atividade científica.

Outra importante tendência é a aproximação entre as empresas e as instituições de pesquisa, tanto públicas como privadas, incorrendo em processos de colaboração tecnológica, licenciamentos, dentre outros.

3.1.2 Universidades

Segundo Mowery & Sampat (2004), as universidades desempenham um importante papel no conjunto do Sistema Nacional de Inovações. Os resultados da pesquisa universitária podem gerar inputs e outputs, tais quais: informação científica e tecnológica, equipamentos e instrumentos, habilidades e recursos humanos, rede de relacionamentos (*network*) científica e de capacidades tecnológicas, além de protótipos de diferentes produtos e processos.

Ainda segundo estes autores, a partir de 1970, os governos (principalmente dos países industrializados) promoveram a ampliação da ligação entre indústria e universidade através da criação de parques científicos, suporte a incubadoras de empresas tecnológicas e organização de instituições "ponte" (*bridging institutions*), como por exemplo, os escritórios especializados em depósitos e transferência de patentes.

Além dessas iniciativas, houve transformações no marco legal com o objetivo de estimular a integração e comercialização das descobertas das universidades, sendo um dos mais marcantes a promulgação do *Baby Dhole Act* na década de 1980 nos Estados Unidos (MOWERY et al., 2004). Este ato jurídico foi um importante instrumento de estímulo ao patenteamento de inovações universitárias, contudo, essa tendência já existia desde 1970 e foi corroborada pela possibilidade de patentear produtos naturais e, principalmente, pelo avanço nas ciências biomédicas (MOWERY et al., 2004).

Portanto, o *Baby Dhole Act*, iniciou uma fase final do processo de patenteamento pelas universidades. Cada vez mais universidades patenteavam, aumentando também a participação das universidades públicas (MOWERY et. al. 2004).

O aumento da interação universidade-empresa e conseqüente elevação da atividade patentária podem ser atribuídos a um conjunto de fatores, dentre eles: o desenvolvimento de novas plataformas tecnológicas (com alto grau de oportunidade tecnológica), como a ciência da computação e a biologia molecular; o crescimento do conteúdo tecnológico da produção industrial de maneira geral; a necessidade de novas fontes de financiamento para a universidade, decorrente da restrição orçamentária; e a proeminência de políticas públicas voltadas para a elevação do retorno econômico das pesquisas públicas via estímulo à transferência de tecnologias (BERCOVITZ & FELDMAN, 2007).

Os fatores que contribuem para o estreitamento das relações entre as universidades e empresas podem ser observados tanto do lado da demanda quanto da oferta. Do lado da demanda, destacam a necessidade de ciclos mais curtos para o desenvolvimento de tecnologias como uma importante vantagem competitiva, os esforços de internacionalizar a produção e consequente elevação do percentual de pesquisas realizados em outros países. Soma-se o fato de as tecnologias de indústrias intensivas em pesquisa requererem a integração com uma ampla gama de conhecimento que não são cobertos pelo programa de P&D da companhia (VELHO, VELHO & SAEN, 2004).

Do lado da oferta, destacam-se as mudanças no contexto fiscal e os constantes cortes de orçamento (principalmente para a pesquisa pública), resultando na impossibilidade dos países fazerem frente ás taxas de crescimento do custo das pesquisas. Portanto, as instituições de pesquisa tem que enfrentar novos desafios como, monitorar as

diversas fontes potenciais de recursos, tomar uma ação proativa na busca por recursos (públicos e privados) e desenvolver estratégias de gerar renda (SALLES-FILHO & BONACELLI, 2010). Adjacente a isso, estão os elevados salários pagos pela indústria forçando às universidades a ampliar as "liberdades" do pesquisador em empreender tarefas colaborativas (VELHO, VELHO & SAEN, 2004).

Salles-Filho, Bonacelli & Mello (2000) consideram as instituições públicas de pesquisa parte do processo evolucionário da inovação à medida que co-evoluem e são, ao mesmo tempo, resultado e determinante de diferentes percepções, comportamentos e articulação entre os agentes, ou seja, parte essencial na coordenação e ordem dos ambientes inovativos.

As mudanças, tanto de demanda quanto de oferta, têm ensejado a reorganização destas instituições que podem ser resumidas na citação abaixo.

> As tendências atuais de organização da pesquisa convergem para um objetivo comum: a busca de modelos organizacionais que engendrem condições de competitividade às instituições num ambiente que exige, crescentemente, capacidade própria de captação de recursos, agilidade e flexibilidade para responder às demandas e capacidade de monitoramento permanente de seu entorno (científico, econômico, social etc.). O objetivo maior é tornar a instituição mais competitiva, ampliando seu grau de autonomia (administrativa, financeira, patrimonial, de recursos humanos), sua flexibilidade institucional e seu "*awareness"* (capacidade de monitoramento e de percepção de tendências). (SALLES-FILHO, BONACELLI & MELLO, 2000: 95).

Este novo desenho do ambiente e das instituições inseridas no sistema de inovação promove maior aproximação entre as universidades e empresas. A esse respeito, Mowery & Rosenberg (1993) defendem que a pesquisa acadêmica é tida como complementar à industrial, portanto, demandada em momentos específicos em que se necessite de novas fontes para pesquisa de ponta e solução para problemas pontuais não contemplados pelo sistema de P&D da firma.

No caso brasileiro, as empresas em geral não detêm unidades próprias de pesquisa, portanto, quando buscam as universidades usam a mesma como substituta no desenvolvimento de tecnologias. Isto torna a relação universidade empresa tênue e menos abrangente (se comparada com os países desenvolvidos) (VELHO, VELHO & SAEN, 2004).

Existem obstáculos tanto externos quanto internos no uso do sistema patentário e transferência de tecnologias. Dentre eles destaca-se a falta de cultura para trabalhar tais temas, falta de pessoal capacitado e falta de empreendedorismo (SALLES-FILHO & BONACELLI, 2010).

Suzigam & Albuquerque (2008), destacam ainda a histórica tendência de favorecimento das importações em detrimento da promoção de um sistema de inovação nacional. Esta característica não é exclusividade brasileira, mas está presente em maior ou menor grau em todos os países periféricos. Quanto mais desenvolvido o sistema nacional de inovações (SNI), mais forte é a relação/interação entre as instituições públicas de pesquisas e as firmas (FERNANDES, *et. al.* 2010).

A despeito disso, Albuquerque *et. al.* (2010) conclui que esta interação gera resultados intelectuais e econômicos positivos para ambas as partes e os canais bidirecionais são particularmente relevantes no Brasil, incorrendo em benefícios produtivos e inovativos para as firmas; e intelectuais e econômicos para a universidade

Essa relação pode ocorrer de diferentes formas. Em geral trata-se da comercialização da pesquisa, notadamente, da pesquisa de base tecnológica que gere outputs de interesse industrial. Todavia, no que tange à influência da pesquisa pública no desenvolvimento tecnológico da indústria, interações "indiretas" como comunicações informais, congressos e outros canais de publicação podem ser tão importantes quanto as transferências diretas (COHEN, NELSON & WALSH, 2003).

Segundo Bercovitz & Feldman (2007), o financiamento da pesquisa em termos colaborativos (*sposored research*) é outro importante mecanismo de interação universidade-empresa. Este modelo estimula o processo de transferência tecnológica à medida que os resultados de uma colaboração deverão ser adotados pela empresa financiadora.

Além dessas, existe o licenciamento da tecnologia gerada dentro da universidade, viabilizada pela obtenção de uma patente. Este processo envolve uma negociação formal baseada em avaliações subjetivas quanto ao valor daquele conhecimento/técnica gerado.

A mensuração do grau de interação entre esses agentes (empresa e universidade) pode ser feitas através de outputs como: o número de patentes, licenciamento, publicações e *spin-offs*[11] (BERCOVITZ & FELDMAN, 2007).

Contudo, a colaboração e a transferência de tecnologias das universidades para as empresas não é um processo simples, pois depende de uma interação entre instituições cujas características e objetivos diferem profundamente.

Segundo David & Hall (2006), a exploração da propriedade intelectual e sua relação com a pesquisa científica fez surgir um conflito localizado nos limites que distinguem as pesquisas conduzidas por entidades públicas (incluindo universidades) e aquelas realizadas por firmas e indivíduos do setor privado.

No primeiro caso, as descobertas científicas tendem a ser disseminadas livre e rapidamente, enquanto no setor privado esses resultados são seletivamente divulgados. Alem disso, essa divulgação geralmente vem acompanhada de alguma forma de proteção legal (DAVID & HALL, 2006).

Ainda segundo estes autores, as diferenças acima descritas não raro incorrem em dificuldade no processo de negociação. Não obstante, no último quarto de século o limite entre esses dois grupos de instituições quanto à busca da proteção patentária não pode mais ser claramente definido.

> *Today, however, universities, research institutes and government laboratories in many parts of the world have become concerned to acquire intellectual property rights based upon the discoveries, inventions and creative cultural works of their employees. Reciprocally, to varying extents in different places and departments of those institutions, some faculty and staff-members (and students) are coming to view the rewards for their scientific efforts as naturally including a share of the income streams derived from the commercial exploitation of those property rights* (DAVID & HALL, 2006: 3)

A tendência das universidades, institutos de pesquisas e laboratórios públicos elevar sua propensão a obter direitos de propriedade intelectual também pode ser observada no Brasil.

[11] Spin-offs é uma nova empresa criada a partir de um grupo de pesquisa, ou de uma tecnologia da universidade. Este processo vem sendo incentvado por meio das incubadoras, onde a universidade da suporte técnico/financeiro aos primeiros estágios do empreendimento.

Cruz & Mello (2006) ressaltam que o país foi o décimo sétimo maior publicador de artigos científicos do mundo em 2005. Contudo, o valor de 1% do PIB gasto em P&D fica aquém dos praticados por países da OCDE (em média 2,2%).

Além disso, cabe destacar a elevada participação do gasto público com P&D no Brasil, que corresponde a cerca de 60% do total, do qual, dois terços são direcionados às universidades públicas.

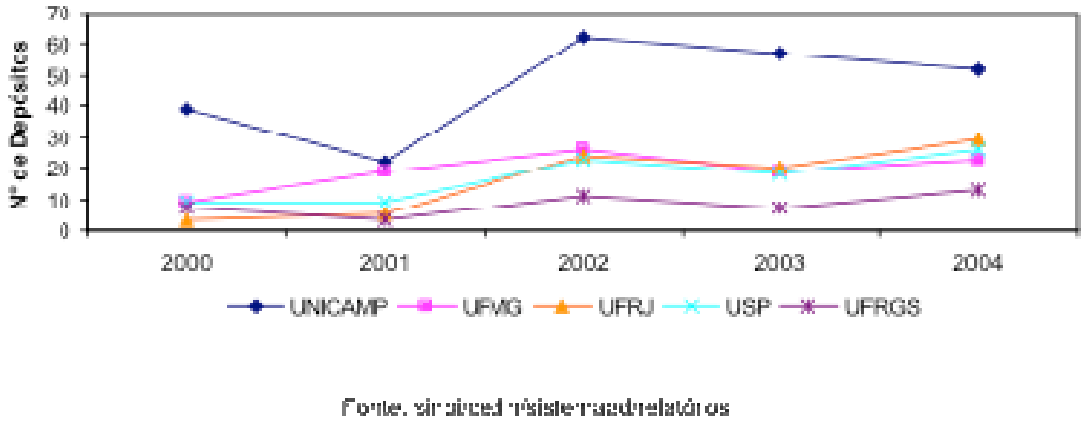
Ainda segundo estes autores, apesar da intensa atividade e financiamento à pesquisa e desenvolvimento (se comparado aos países centro e latino-americanos), o número de patentes gerados ainda é pequeno, fato que pode decorrer da tímida participação do setor privado na geração das mesmas. Essa pequena participação do setor privado contrasta com as instituições do setor público que correspondem às maiores detentoras de patentes.

Gullo & Guerrante (2006), realizaram um trabalho buscando identificar e analisar os 50 maiores depositantes de patentes e modelos de utilidade com prioridade brasileira no período de 1999 a 2003. Este foi realizado a partir da consulta da base de dados paga do escritório europeu o EPODOC (*European Patent Office Documents*).

Os resultados deste trabalho mostram a Unicamp como a maior depositante de patentes no período observado, seguida pela Petrobras, 191 e 177 patentes, respectivamente. No total, as universidades, agências de fomento e empresas públicas respondiam por 30% do total de patentes dos 50 maiores depositantes. A análise destes outputs evidencia a forte participação do setor público na atividade inovativa do país.

O mesmo estudo sugere ainda um aumento de participação das universidades, institutos de pesquisa e agências de fomento públicas no total de depósitos. A análise dos 50 maiores depositantes que tiveram submissões de pedidos em todos os anos da pesquisa evidencia que em 1999 as entidades acima descritas representavam 8% do total, enquanto em 2003 este percentual era de 23%.

Segundo Nunes & Oliveira (2007), que estudaram os depósitos de patentes das universidades no período entre 2000 e 2004, fica evidente a relevância da Unicamp. Em um quadro que soma os depósito de todas as instituições de ensino com 3 ou mais patentes, 29,37% do total foram creditados à esta.



Fonte: sir.inpi.gov.br/sir/estatisticas/relatorios

Gráfico IV: Número de depósitos das quatro principais Universidades.
Fonte: Nunes & Oliveira, 2007.

Dentre os possíveis determinantes deste comportamento, existe a criação de uma agência de transferência tecnológica da Unicamp, a INOVA, conforme descrito na citação abaixo.

> Uma das ações que fundamentou este incremento na Unicamp pode ser identificada como a criação da Agência Inova, em 2003, e a conseqüente formalização das atividades de inovação neste contexto acadêmico, apesar do primeiro pedido de patentes gerado na Unicamp datar de 1984. A missão da Inova Unicamp é fortalecer as parcerias da universidade com empresas, órgãos do governo e demais organizações da sociedade, criando oportunidades para que as atividades de ensino e pesquisa se beneficiem dessas interações, e contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país. A Inova concretizou um novo modelo de gestão, com a incorporação do aprendizado institucional acumulado em sua experiência nas áreas de transferência de tecnologia e inovação, além de sua importante atuação na proteção da propriedade intelectual, nos licenciamentos de patentes, transferências de know-how e parcerias com o setor empresarial privado. (NUNES & OLIVEIRA, 2007: 16.)

Dentre outros fatores que podem explicar esta performance relevante e crescente, destacam-se a aprovação da Lei da Inovação (N°10.193/04), o trabalho do INPI de divulgação e capacitação para o patenteamento de tecnologias, bem como uma mudança de postura dos pesquisadores ligados às instituições públicas (NUNES & OLIVEIRA, 2007). Dois desses aspectos devem ser mais detalhados, a saber: a Lei da Inovação e a atitude dos pesquisadores diante da utilização comercial de sua pesquisa.

A Lei N° 10.193/04 se assemelha às iniciativas adotadas por outros países para promover a interação entre universidades e empresas, estimular a proteção dos resultados

de pesquisas acadêmicas, bem como seu desenvolvimento e comercialização. Esta lei procurou promover a cultura da propriedade intelectual no país, principalmente, através dos seguintes normas:

- ✓ As instituições de ciência e tecnologia (ICT's) precisarão somente publicar um prévio "pedido de licenciamento" para transferir as tecnologias por elas desenvolvidas, ao invés de ter de realizar uma licitação, implicando em maior agilidade do processo, bem como seleção de melhores parceiros.

- ✓ Fica instituída a possibilidade das pequenas e médias empresas utilizarem laboratórios públicos auxiliando no desenvolvimento de seus projetos inovativos, não só as empresas podem usar a universidade como os próprios pesquisadores podem ser licenciados para atuar temporariamente em uma empresa no desenvolvimento de projetos ou em parcerias com as ICT's, sem perder o vinculo institucional.

- ✓ O pesquisador poderá receber royalties advindos da transferência e utilização de sua pesquisa, seja ela resultado de uma colaboração ou patente própria.

- ✓ Além destes fatores existe ainda a possibilidade de fundos públicos aportarem recursos não reembolsáveis diretamente às empresas privadas para financiamento de projetos inovadores.

A despeito destas mudanças, a comercialização do resultado de pesquisas financiadas por fundos públicos depende largamente da propensão do pesquisador em licenciar suas invenções, dado que as motivações para atividade científica podem ir além dos ganhos pecuniários advindos da venda de seus resultados (COHEN & SAUERMAN, 2007).

Segundo Bercovitz & Feldman (2007), existem diversos fatores pelos quais um pesquisador, ou instituição, decidiria não comercializar sua pesquisa. Primeiro, porque os

especialistas em pesquisa básica não teriam interesse em usar seu tempo para a pesquisa aplicada, que por sua vez, é uma etapa essencial do processo de licenciamento. Em segundo lugar, o desinteresse em transferir suas invenções pode advir da necessidade de retardar a publicação das mesmas, à medida que esta publicidade poderia ser desinteressante para o contratante. Em terceiro lugar, está o desinteresse do pesquisador decorrente da crença de que a atividade comercial não seria apropriada para um cientista acadêmico. Esta última proposição reflete um pensamento que ainda permeia fortemente os debates a respeito deste tema, mas está em fase de transição para a aceitação da cultura da inovação (FERNANDES, *et. al.* 2010).

Nelson (2006) afirma que há poucos indícios de que o aumento das atividades de patenteamento pós anos 80 tenha mudado a orientação da pesquisa universitária para longe da pesquisa básica.

Todavia, no caso do conhecimento patenteável ser relevante para futuras invenções, a proteção via patente pode causar alguns efeitos negativos, impedindo o progresso da pesquisa (DOSI & NELSON, 2009). Esta preocupação pode ser ainda maior quando se trata de eco-inovações, pois a restrição de sua aplicação (devido ao direito de monopólio) pode reduzir os benefícios sociais obtidos por sua utilização (DALY & FARLEY, 2004).

Ainda no tocante às motivações dos pesquisadores, Göktepe-Hultén (2008) parte de uma pesquisa realizada na Suécia para reforçar a importância do comportamento empreendedor dos cientistas. Segundo este autor, tão importante quanto as mudanças institucionais e organizacionais, aspectos motivacionais também determinam a taxa de geração de patentes e transferência de tecnologia.

> *In most cases local group norms, and culture, training effects, leadership effects as well as existing links and contacts with firms, and the scientific field of scientists are more influential than the impact of institutions and organizations. A substantial amount of the commercial activities have resulted from individually initiated networks over the years, e.g. between a professor and a former student or sometimes on an ad hoc basis.* (GÖKTEPE-HULTÉN, 2008: 665).

Cabe ainda fazer alguns apontamentos a respeito dos temas abordados nesta seção e como estes serão úteis para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, ressaltar a relevância de estudar a dinâmica inovativa dentro da universidade.

Esta instituição claramente desempenha uma função central no Sistema Nacional de Inovação, sendo que sua participação (ao menos a partir dos anos 1980) vem sendo ampliada, passando de uma simples formadora de mão-de-obra qualificada a um agente ativo e empreendedor cujos resultados tendem a ampliar a capacidade inovativa do sistema como um todo (NELSON & ROSENBERG, 1993).

Esta tendência de crescimento das universidades na geração de soluções tecnológicas passíveis de aplicação industrial é concomitante ao crescimento das eco-inovações, que por sua vez, são influenciadas por mudanças no ambiente seletivo (restrições ambientais).

Portanto, à medida que a universidade passa a integrar a dinâmica da inovação, pode influenciar e ser influenciada por essas mudanças. Um dos caminhos pelos quais as políticas públicas podem dinamizar o desenvolvimento e difusão de inovações ambientais é através dessas instituições públicas de pesquisa, ainda mais por se tratar de um campo de investigação de alto interesse público e que ainda apresenta riscos e resistência por parte dos agentes privados (KEMP, 1993).

3.2 Uso de Patentes e a Eco-Inovação

A utilização de patentes como indicador da atividade inovativa de uma nação, ou instituição, remonta a autores como Pavitt (1988, 1994), Griliches (1990), dentre outros. Baseado nestes e outros trabalhos pode-se destacar as potencialidades e restrições no uso das mesmas. Todavia, antes de entrar nesta discussão, é necessário apresentar o que é uma patente, quais as suas característica legais, função econômica, dentre outras especificidades.

3.2.1 Patentes

Em 1994 o Brasil assinou, no âmbito da Organização Mundial de Comércio, o Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio (Acordo TRIPS). Os termos deste acordo vêm sendo progressivamente

implementados na legislação brasileira, visando homogeneizar critérios e procedimentos de concessão com os demais países signatários.

De maneira geral, a patente representa um título de propriedade sobre uma criação intelectual, cuja função é prover direito de exclusividade sob o uso da mesma. No Brasil, a lei que define esses direitos, dentre outras regulamentações a respeito, é a Lei de Propriedade Industrial (LPI) 9.279/96.

O titular de uma patente de produto, ou processo, tem o direito de impedir terceiros de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar, os mesmos sem seu consentimento.

Este direito de exclusividade é limitado a 20 anos, a partir do depósito da mesma (ou 10 anos a partir da concessão, o que for mais longo). E tem uma finalidade econômica que é a obtenção de uma posição monopolista no uso da tecnologia. Novamente, pode-se remeter à teoria Schumpteriana, onde o objetivo da inovação é dispor de um posicionamento diferenciado no mercado, gerador de lucros extraordinários.

Ainda nos termos do acordo TRIPS, a patente é um direito de validade nacional[12]. Sendo assim, caso se queira proteger a invenção em outro país, é necessário entrar com um pedido no escritório do país em questão. No caso de patentes que serão exploradas comercialmente em diversos países, existe um instrumento para facilitar este processo, o PCT (*Patent Cooperation Treaty System)* que possibilita fazer um depósito em um país obtendo um prazo de até um ano para fazê-lo em outro podendo se valer da primeira data de depósito (anterioridade).

O instituto brasileiro responsável pela concessão de patentes é o INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial), que é quem faz a análise dos pedidos e identifica se a matéria em foco contém as prerrogativas necessárias à obtenção de uma carta patente. Estes parâmetros foram definidos internacionalmente e estão descritos no artigo 7° e 8° da já referida Lei 9.276/96, quais sejam:

[12] Com exceção da Europa onde os países filiados à União Européia podem depositar seus pedidos em um escritório comum.

- ✓ Novidade; são considerados novos quando não estão compreendidos no estado da técnica, que por sua vez, consiste em tudo aquilo disponível ao público, seja de maneira escrita ou oral no Brasil ou no exterior.

- ✓ Inventividade; ou seja, que a invenção, quando analisada por um técnico no assunto, não decorra de maneira evidente ou óbvia do estado da técnica.

- ✓ Aplicação industrial; quando seu objeto for passível ou capaz de ser fabricado ou utilizado em algum tipo/gênero de indústria

3.2.2 A Análise das Patentes

Segundo Arundel & Kemp (2009), os indicadores utilizados para a mensuração tanto das eco-inovações, quanto das inovações em geral, podem ser separados em quatro grupos.

- ✓ Medidas de Input; que agregam os gastos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), recursos humanos utilizados em programas de P&D e investimentos em inovação.

- ✓ Medidas de outputs intermediários; número de patentes, publicações científicas, etc.

- ✓ Medidas de output diretas; numero de inovações, descrição de inovações individuais, dados de vendas de novos produtos.

- ✓ Medidas indiretas de impacto derivadas dos dados agregados; mudanças na eficiência de uso dos recursos e produtividade.

A despeito de ser considerado um output da inovação, do ponto de vista teórico há uma diferença entre invenção e inovação (tal qual descrito no capítulo II). Esta diferença, proposta pela teoria Schumpeteriana, consiste em que para uma invenção se tornar uma inovação deve entrar em uso no mercado.

Para a concessão de uma carta patente, os avaliadores consideram o critério de aplicabilidade industrial, contudo, não há avaliação da "viabilidade industrial" de modo que nem todas as patentes concedidas são efetivamente utilizadas pelas firmas (OCDE, 2007). Este percentual é ainda menor quando consideramos patentes geradas em ambiente universitário.

Segundo OCDE (2009b), este indicador (patentes) é necessário, mas não suficiente para analisar a atividade inovativa por duas razões: primeiro, por ser fortemente influenciado por diferenças nas estruturas industriais; segundo, devido a que grande parte das inovações não é capturada por esta medida.

Portanto, as patentes devem ser consideradas como uma etapa intermediária entre a atividade de P&D e a inovação propriamente dita (correspondente a um input para a inovação). Além disso, também é um input do processo inventivo, pois pode ser utilizada como fonte de informações para a geração de novas tecnologias, servindo como "ponte" entre dados de P&D e dados de inovação (OCDE, 2009b).

Por outro lado, Popp (2005) argumenta que os pedidos de patente geralmente são realizados em estágios iniciais do processo de pesquisa, portanto, parece ser um bom indicador da atividade de P&D, servindo não só como medida para o output inovativo, mas também como da atividade inovativa em geral.

Pavitt (1982), considera as patentes com um indicativo da atividade inovativa e não somente inventiva. Na mesma linha, Arundel & Kemp (2009) afirmam que estas podem ser utilizadas não só para medir os outputs das inovações em geral, mas também das eco-inovações, tal qual explicitado a seguir.

> *Patent counts can be used as an indicator of the level of innovative activity in the environmental domain. In the same way as for innovation in general, patents covering eco-inventions can be used to measure research and inventive activities and to study the direction of research in a given technological field* (ARUNDEL & KEMP, 2009. Pg, 17)

A possibilidade de utilizar patentes para medir o nível da atividade inventiva é defendida também por autores como Cohen *et. al.* (2000) e Lanjow & Mody (1996), que encontraram forte correlação entre atividade de P&D e geração das mesmas. Correlação essa que também existe para as chamadas eco-patentes, tais quais as ligadas à energia alternativa.

O potencial de uma análise desta natureza advém da riqueza de informações contidas em um pedido de patente, dentre as quais pode-se destacar: os tipos de inovação, indicando as diferentes competências tecnológicas de uma organização; as fontes da inovação, se provenientes de pesquisas públicas ou privadas; o nome do inventor; localização geográfica; existência de cooperação entre instituições; dentre outras (POPP, 2005; ANDERSEN, 2005).

Segundo OCDE (2009b), a cobertura espacial e temporal dos dados patentários é única, pois estão disponíveis em todos os países que detém um sistema e em alguns deles os registros remontam ao século XIX.

Contudo, estas análises não estão livres de limitações. Pavitt (1988), Griliches (1990) e Patel & Pavitt (1995), são alguns autores que trataram das fragilidades de uma análise de patentes. OCDE (2009b) agrupou esses apontamentos em cinco grandes eixos:

- ✓ Nem todas as invenções são patenteadas. Além de diversas delas não atenderem aos requisitos necessários para a obtenção de uma carta patente, motivos estratégicos podem fazer com que se opte pela não proteção legal, mantendo a tecnologia como um segredo industrial.

- ✓ Existem diferentes propensões em adotar a patente como mecanismo de proteção. Estas podem variar de acordo com a área do conhecimento, estratégia das empresas, dentre outras. Estudos empíricos indicam que a propensão a patentear costuma ser maior nas áreas farmacêuticas, químicas e de motores.

- ✓ Em geral há uma grande variedade entre o valor das patentes. A despeito dos critérios de concessão, muitas delas não têm aplicação industrial viável, enquanto poucas têm um alto valor. Contudo, essa não é uma característica exclusiva das patentes, tanto gastos com P&D quanto a mensuração da inovação por número de publicações pode incorrer nas mesmas distorções

- ✓ No que tange à comparação de dados entre países, pode haver diferença nos critérios de concessão de maneira que as divergências de valores acima referidas tornem-se ainda mais intensas. Como exemplo, pode-se destacar o caso americano que permite patentear elementos naturais

- ✓ Quanto à análise histórica, devem-se considerar as possíveis mudanças na legislação de proteção das mesmas, a lista de produtos patenteáveis tem crescido ao longo dos anos e em alguns países já incluem softwares e sequência genética.

Apesar dessas fragilidades, existem ponderações que visam ampliar a confiabilidade das análises. Verificar a quantidade de vezes que uma determinada tecnologia foi citada em outros documentos, ou restringir-se à coleta de patentes registradas em mais de um país, são formas de reduzir a heterogeneidade dos valores das patentes (LANJOUW et. al., 1998).

No que diz respeito às diferentes propensões a patentear, as tecnologias de processo são menos patenteadas que as de produto, pois o produto estará publicamente disponível, enquanto a revelação das tecnologias de processo (decorrentes da publicação das mesmas via patente) pode não ser interessante para a empresa (OCDE, 2009b).

No que tange as eco-inovações, nota-se que a utilização das eco-patentes é mais útil para medir invenções de produto (*green products)* do que de processo. Além disso, estudos verificaram a alta patenteabilidade de tecnologias *end-of-pipe* (OLTRA; KEMP & DE VRIES, 2008).

Ainda segundo estes autores, a análise de patentes pode verificar o nível da atividade eco-inovativa, comparando-a com o total, bem como a direção em que as mesmas estão tomando no que diz respeito à área tecnológica. Significa dizer que essa fonte de dados também permite observar características intrínsecas da dinâmica tecnológica de diferentes nações e/ou organizações.

É possível também mapear o processo de difusão das tecnologias a partir das informações contidas nos pedidos de patentes, observando a quantidade e qualidade de tecnologias patenteadas em mais de um país, ou a origem das mesmas, dado que o registro é feito em nível nacional (LANJOUW & MODY, 1996).

Apesar das possibilidades analíticas acima descritas, existem problemas metodológicos que vão além das limitações inerentes a uma análise desta natureza e dizem respeito à identificação dessas eco-patentes junto aos bancos de dados disponíveis (COHEN, *et. al.* 2002; WAGNER, 2008; HASCIC & OSTERTAG, 2008).

Todas as patentes são registradas de acordo com a classificação internacional, o IPC (*International Patent Classification*), que segue um padrão de categorização hierárquico com oito seções e aproximadamente 70.000 subdivisões. Contudo, essa divisão é feita sob a ótica tecnológica e não tem correspondência direta com as eco-tecnologias.

Lanjouw & Mody (1996), em seu trabalho a respeito da geração e difusão de tecnologias ambientais (*environmental technologies*), se valeram de uma estratégia de busca que combinou palavras-chave e categorias de classificação para identificar quais documentos seriam relevantes à sua análise. Feito isso, foram lidos os resumos de uma amostra das primeiras coletas como forma de validar a estratégia. Este estudo teve como um dos resultados a elaboração de uma tabela com sugestões de combinações entre categorias e palavras-chave por segmento de tecnologia ambiental[13].

A despeito destas possibilidades, a identificação das eco-patentes é difícil pois diversas tecnologias que geram benefícios ao meio-ambiente não foram desenvolvidas para este fim e por consequência, tendem a não expressar este potencial em sua descrição (principalmente tecnologias de processo). Outra questão é a definição de eco-tecnologia e

[13] Ver anexo III

eco-patente, cujas divergências teóricas ainda são significativas (ARUNDEL & KEMP, 2009).

A partir das diferentes metodologias utilizadas em trabalhos empíricos que analisaram características das patentes que poderiam incorrer em ganhos ambientais, Hascic & Ostertag (2008), sugeriram alguns passos a serem adotados na identificação das mesmas em bancos de patentes.

- ✓ Compilar uma lista de eventuais palavras-chave baseados em uma revisão da literatura.

- ✓ Procurar nos bancos de dados de patentes pelas palavras-chave, para identificar as classes relevantes.

- ✓ Testar o campo dessas palavras-chave, tanto individualmente quanto em combinação com as classes identificadas.

- ✓ Desenvolver uma estratégia final baseada no resultado dos testes acima realizados.

Apesar dessas possibilidades, o presente trabalho será realizado a partir da leitura direta dos resumos de todas as patentes depositadas na Unicamp, buscando aquelas que se enquadram nas definições de eco-inovações descritas no capítulo II.

3.3 Conclusões Preliminares e Hipóteses

A análise do banco de patentes da Unicamp será feita à luz das hipóteses levantadas neste capítulo e tem como linha de base a comparação entre as características e determinantes das patentes em geral e das eco-patentes.

Dentre essas características, será destacado o nível de atividade inventiva considerando a proposição que o número de patentes das universidades vem aumentando nos últimos anos e que mudanças institucionais, tal qual a Lei da Inovação ou a criação

de um escritório de transferência de tecnologia, podem influenciar positivamente esta atividade (BERCOWITZ, *et. al.* 2001; MOWERY *et. al,* 2004).

Aliado a isso, será medida a participação das eco-tecnologias no total de patentes e a evolução desta ao longo dos anos. Espera-se verificar que, ao menos na última década, a participação das mesmas no total esteja crescendo.

No que tange às propensões a patentear, considera-se que são diferentes entre as áreas do conhecimento. Tanto nas universidades quanto nas indústrias destaca-se a grande participação das patentes na área farmacêutica, química e motores (WAGNER, 2008, COHEN *et. al.* 2002). Segundo Nunes & Oliveira (2007), esta tendência também pode ser verificada na Unicamp. A coleta de dados mais recentes possibilitará verificar a manutenção ou arrefecimento da mesma.

No que tange especificamente às eco-inovações, a literatura sugere que essas são predominantemente de produto e soluções *end-of-pipe* (OLTRA; KEMP & DE VRIES, 2008). A partir da classificação das eco-inovações da universidade em tecnologia mais limpa e fim-de-tubo (*end-of-pipe),* será possível validar ou refutar esta proposição.

Em se tratando de uma universidade, dois aspectos importantes devem ser considerados, quais sejam: a existência e intensidade em que são depositadas patentes cuja autoria é compartilhada com outra instituição (notadamente com empresas privadas) e o nível da atividade de licenciamento (BERCOVITZ & FELDMAN, 2007).

Em ambos será destacada a evolução da quantidade de depósitos, se há predominância de algum instituto ou área tecnológica, bem como as diferenças entre as patentes em geral e as eco-patentes.

No que tange à busca das mesmas no banco da INOVA/UNICAMP, optou-se por uma metodologia direta, ou seja, foram lidos os resumos de todos os pedidos de patentes. Quando este não foi suficiente para determinar se a mesma pode ser considerada um eco-patente, procedeu-se a leitura do documento completo (quando disponível).

Naturalmente, em parte das patentes analisadas nas quais não há alusão direta a seu potencial ecológico, caberá um julgamento (em certa medida) subjetivo baseado nos parâmetros de classificação elencados no capítulo II.

Para relembrar, estes parâmetros foram construídos a partir da revisão da literatura a respeito da inovação, considerando o marco teórico da economia ecológica. Portanto,

esta classificação aqui não será nova. No entanto, foi pouco aplicada a estudos de patentes, principalmente, em universidades.

As eco-patentes a serem analisadas serão divididas, primeiramente, entre produto e processo. A segunda distinção consiste em classificá-las em tecnologia mais limpa (*Cleaner Technology*) ou fim-de-tubo (*end-of-pipe*).

Conforme visto no segundo capítulo, o primeiro grupo se refere às tecnologias que reduzem insumos ou os substituem; mudanças de processos integrados que previnem poluição; tecnologias recicladoras; e que produzem produtos mais limpos. Enquanto as fim-de-tubo, ou *Cleaning Technologies,* correspondem às destinadas à remediação ambiental e outras formas de tratamento de resíduos (KEMP, 1997).

O segundo nível de classificação será baseado na tipologia de eco-inovações proposta por Arundel & Kemp (2009). No entanto, esta tipologia diz respeito à inovação em sentido amplo, ou seja, não se restringe às soluções tecnológicas, englobando o setor de serviços, inovações organizacionais e sistemas de produção e consumo, cujo escopo foge à proteção patentária. Portanto, as sugestões dos autores foram adaptadas, incluindo somente as tecnologias de produto e processo que atendam aos seguintes critérios, tal qual apresentado no capítulo I e II:

Produtos mais limpos são aqueles que substituem outros não renováveis, ou reduzam a toxidade da composição dos mesmos. Definição que se baseia na noção de que a utilização de recursos não renováveis deve ser reduzida dada a possível escassez dos mesmos, não reciclabilidade total de seus resíduos, bem como porque os produtos derivados da escala técnica, não advindo diretamente da ecosfera, resultam em poluentes cuja natureza não dispõe de mecanismos para degradar em um intervalo de tempo que evitasse seu acúmulo. Como resultado, há uma redução da capacidade de resiliência da mesma (HOLMBERG *et al*. 1996).

Tecnologias de reciclagem, baseados na premissa de que apesar de não haver a possibilidade de reciclabilidade total, deve-se, quando possível, aumentar o grau de utilização dos mesmos, reduzindo o despejo de resíduos e extração de recursos do ambiente (DALY, 1997).

Tecnologias mais limpas dizem respeito aos processos e outros mecanismos que reduzam a intensidade na utilização dos recursos tanto materiais quanto energéticos (*throughput*), previstos por Daly (1997), Kemp (1997, 2009).

Tecnologias de controle ou redução da poluição (*Cleaning Technologies*) consistem nos processos e outros equipamentos destinados, principalmente, à limpeza de afluentes e outras técnicas remediantes (KEMP, 1997)

Energia limpa ou renovável, mesmo estando contida na categoria de tecnologia mais limpa, é destacada por se tratar de um aspecto de alta relevância do ponto de vista econômico ecológico e diz respeito ao princípio do aumento de eficiência no uso dos recursos em geral, tal qual evidenciado por Arundel & Kemp (2009).

Essa classificação possibilitará conhecer as características das tecnologias que são patenteadas na Unicamp no que diz respeito ao seu potencial econômico ecológico, além de servir de base para outros trabalhos que possam vir a ser realizados a respeito de eco-patentes.

Capítulo IV – Características das Patentes e Eco-Patentes da Unicamp

Este capítulo apresenta uma análise dos pedidos de patentes depositados por pesquisadores da Unicamp. Serão observados aspectos como a evolução do número de pedidos, participação dos institutos da universidade, eco-patentes e suas características.

Estas características serão confrontadas com as hipóteses teóricas discutidas ao longo do trabalho. Algumas dessas foram confirmadas e outras refutadas, indicando que a dinâmica de patenteamento em uma universidade, apesar de semelhante, guarda especificidades em relação às patentes em geral.

Será aplicada a proposta de tipologia para classificação das eco-patentes descrita no capítulo anterior. Essa classificação objetiva evidenciar peculiaridades da dinâmica eco-inovativa da Unicamp, bem como comprovar a efetividade desta sugestão classificatória.

Além disso, são apresentados os resultados de entrevistas realizadas com alguns pesquisadores da Unicamp que já depositaram eco-patentes, procurando esclarecer a percepção dos mesmos quanto aos temas abordados nesta dissertação, tais quais, determinantes da inovação, fatores indutivos e financiamento.

Este capítulo contém cinco seções: a primeira apresenta uma discussão metodológica a respeito da manipulação do banco de dados de patentes da Unicamp. A segunda seção trata da atividade patentária em geral, a terceira centra foco nas especificidades das eco-tecnologias, enquanto a quarta apresenta os resultados das entrevistas. Por último, os aspectos principais do capítulo são reunidos nas conclusões preliminares.

4.1 Metodologia

A análise empreendida neste capítulo considera todos os pedidos de patentes depositados por pesquisadores da Unicamp e não somente as patentes concedidas. O INPI leva, em média, nove a dez anos para conceder uma patente, contando a partir da data de depósito, sendo assim, uma análise dessas somente incluiria pedidos até 2000.

Considerando que a busca por proteção patentária na universidade cresceu fortemente a partir de 2000 e o objetivo do trabalho é retratar a realidade mais recente da atividade inovativa, optou-se por considerar todos os pedidos realizados. Além disso, a atividade inventiva é retratada não somente pelas patentes concedidas, mas também pelo pedidos. Os trabalhos de Gullo & Guerrante (2006) e Nunes & Oliveira (2007), ambos empreendidos no âmbito do INPI, se valeram do mesmo critério.

Ainda no tocante à escolha dos documentos a serem analisados, no banco de patentes da Unicamp[14] há diferentes pedidos para uma mesma tecnologia. Este fato é resultado da obtenção de registros de pedidos de patentes em outros países. Devido ao seu caráter nacional, quando o pesquisador quiser registrar sua tecnologia em outro país deve encaminhar um novo pedido.

Tendo em vista que o objetivo do trabalho é a análise da inovação, ou seja, da tecnologia para qual foi realizado o pedido, procedeu-se a eliminação de duplicidades mantendo um pedido por tecnologia, de preferência o pedido PCT, que indica haver interesse em registrar a mesma no exterior.

Para identificar os pedidos considerados eco-patentes, bem como para classificá-las entre as áreas eco-tecnológicas, foi realizada a leitura dos resumos dos mesmos e quando estes não eram suficientes para esclarecer o potencial ecológico da tecnologia, precedeu-se a leitura do documento integral[15].

Considerando o período de 18 meses, estabelecido pelo acordo TRPS para publicar os pedidos depositados, foram analisados aqueles realizados até 2007[16], dado que nem todos os feitos em 2008 estão publicados na íntegra.

Houveram pedidos (mesmo anteriores a 2007) cujo documento completo não estava disponível para leitura. Nesses casos, quando o potencial eco-tecnológico não pode ser identificado através do título e resumo, estes foram incluídos no grupo dos demais pedidos, incorrendo em certa subestimação do número de eco-patentes.

[14] Este banco de patentes é disponibilizado pela INOVA no site www.inova.unicamp.br/bancodepatentes. Este pode ser manipulado fazendo busca por inventor, número de protocolo, área de conhecimento, instituto depositário, dentre outras informações.
[15] Ver um exemplo da primeira página de um pedido de patente no Anexo IV.
[16] Em casos onde não era necessária a leitura da publicação, como na mensuração da quantidade total de patentes e participação dos institutos, os dados de 2008 foram considerados.

Cabe ressaltar que a definição de uma tecnologia como eco-tecnologia foi realizada a partir dos critérios descritos na seção 3.3 do capítulo anterior e, assim como realizado pelos avaliadores do INPI, não foi questionada a veracidade das informações contidas no documento. Além disso, é importante ressaltar que as patentes são consideradas um indicativo da atividade inovativa (PAVITT, 1982; POPP, 2005, ARUNDEL & KEMP, 2009).

A discussão a respeito dos determinantes da eco-inovação e suas características conta ainda com entrevistas realizadas a 5 pesquisadores da Unicamp. Foram considerados os pesquisadores que detém mais de três eco-patentes, bem como o coordenador do laboratório de química ambiental do Instituto de Química da Unicamp[17].

As entrevistas, realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2010, foram de caráter qualitativo e tem como objetivo captar a percepção desses pesquisadores a respeito de temas desenvolvidos ao longo do trabalho[18].

4.2 Atividade Patentária

Um dos aspectos levantados pela literatura descrita no capítulo anterior diz respeito ao aumento no número de patentes depositados por universidades. Segundo Mowery *et. al.* (2004), mudanças institucionais como a criação de agências de transferência e mudanças na regulação podem fortalecer essa trajetória. Contudo, o autor ressalta que a promulgação do *Baby Dhole Act* nos Estado Unidos, que objetivava a promoção do patenteamento nas universidades, somente consolidou uma tendência já existente.

No caso da Unicamp, se confirma a tendência de crescimento deste tipo de atividade, tal qual evidenciado pelo gráfico abaixo[19].

[17] Dos 6 pesquisadores enquadrados neste critério, 1 deles não quis contribuir, ficando uma amostra de 5.
[18] Exemplar do questionário no apêndice II.
[19] Na análise das patentes em geral, foi incluído o ano de 2008.

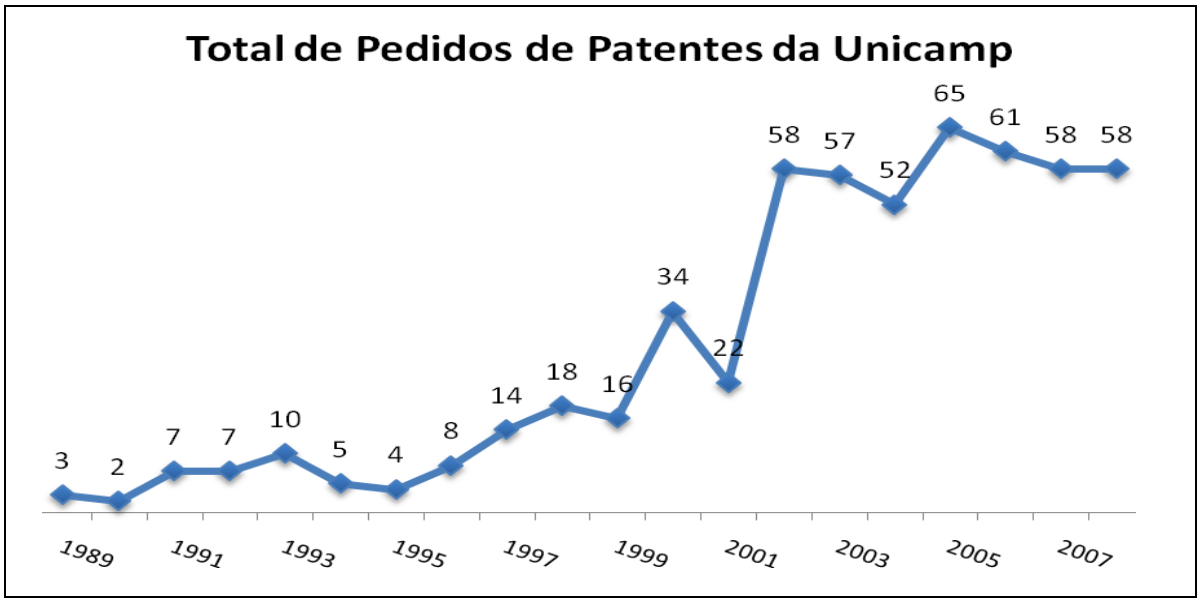


Gráfico V: Número de pedidos de patentes de pesquisadores da Unicamp.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria.

Houve uma elevação expressiva do número de depósitos entre 2001 e 2002, passando de 22 para 58, aumento de 163%. Apesar da Agência de Inovação da Unicamp ter sido criada oficialmente em 2003, suas atividades já mostraram efeitos em 2002, evidenciando a relevância deste tipo de instituição na consolidação de uma tendência de elevação da proteção de tecnologias via patentes[20] (NUNES & OLIVEIRA, 2007).

Contudo, a aprovação da Lei da Inovação em 2004 não parece haver modificado a propensão a patentear dos pesquisadores da Unicamp. Apesar do crescimento de 25% no total de pedidos entre 2004 e 2005, essa taxa não se manteve, sendo negativa nos anos subsequentes.

O crescimento do número de patentes já esta presente a partir de 1995, mesmo que em menor intensidade. Segundo o Nunes & Oliveira (2007), a Lei da Propriedade Industrial 9.279/96 foi fundamental para dar novo impulso ao patenteamento universitário à medida que definiu novo balisamento na proteção patentária, eliminando limitações contidas na lei anterior, ampliando o escopo das patentes para áreas de química, biotecnologia e alimentos, áreas em que a pesquisa universitária se destaca.

[20] A despeito da função positiva desenvolvida pela INOVA estar presente no trabalho de Nunes & Oliveira (2007), não é consenso entre os pesquisadores da Unicamp quanto à relevância desta agência no aumento do número de depósitos de 2001 para 2002.

Não obstante, houve uma mudança no patamar de patenteamento a partir de 2002. No intervalo 2002 a 2008, a média de pedidos anuais foi 58, enquanto de 1995 a 2001 era 16. Este crescimento foi acompanhado de uma diversificação dos institutos da universidade que recorreram à proteção de suas tecnologias. O gráfico abaixo contém uma linha com o total de pedidos e outra com o número de instituição que realizaram depósitos de patentes naquele ano (independentemente da quantidade).

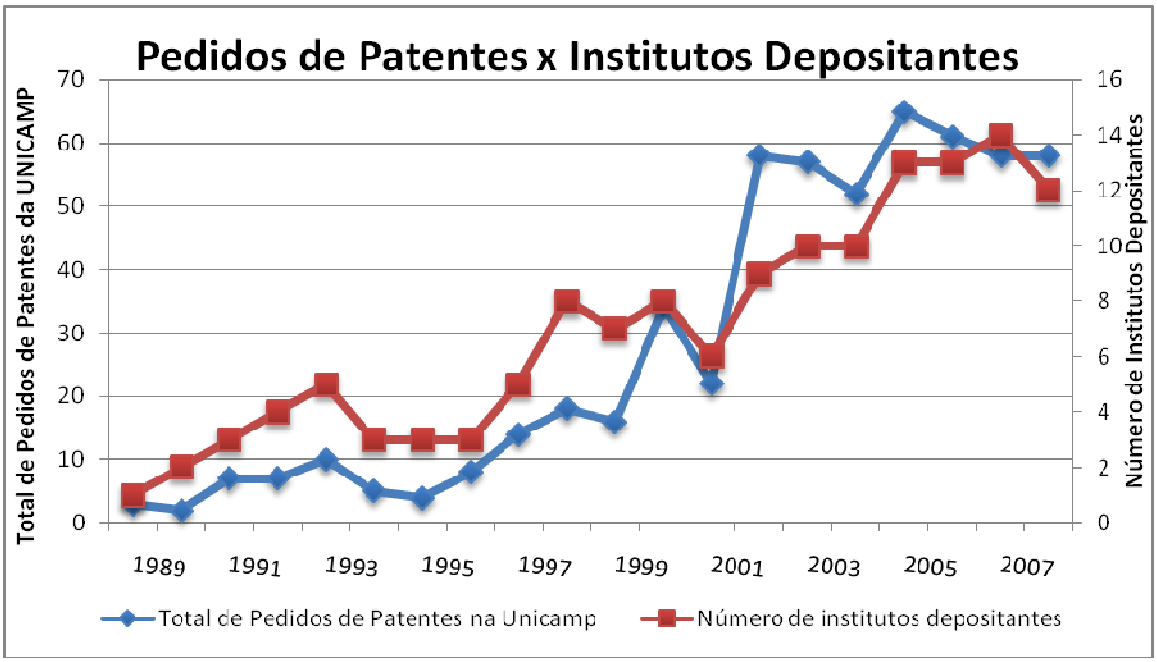


Gráfico VI: Número de pedidos de patentes de pesquisadores da Unicamp x número de institutos que depositaram pedidos de patente.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

A ampliação do uso do patenteamento pelos institutos da Unicamp, apesar de não ser conclusiva, pode indicar uma maior aceitação da proteção patentária por parte da comunidade acadêmica.

No entanto, ainda existem assimetrias entre as propensões a patentear dos institutos. Vide a diferença entre a participação dos mesmos, evidenciada no gráfico abaixo.

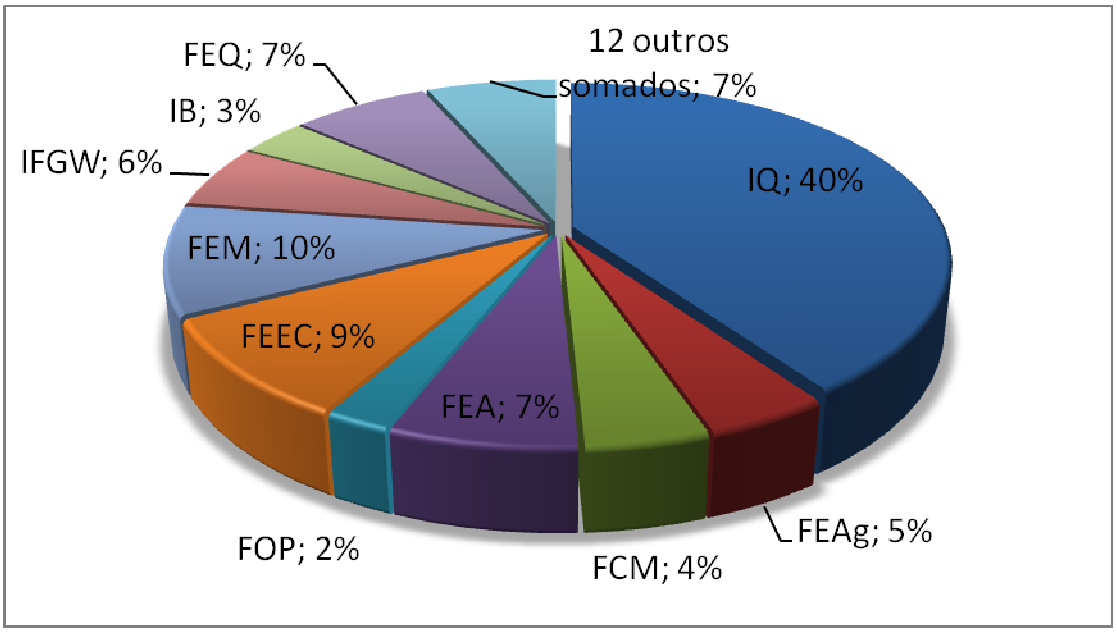


Gráfico VII: Participação percentual dos Institutos da Unicamp no total entre 1989 e 2008.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

O Instituto de Química responde por 40% (225), enquanto a Engenharia Mecânica é o segundo maior depositante, com cerca de 10% (55) do total. Salta aos olhos a proeminência do Instituto de Química na atividade patentária da universidade. Esse Instituto não só é o que detém maior número de pedidos como o único com registros em todos os anos da série.

No que tange às especificidades técnicas dessas patentes, 46,28% dos pedidos são na área de "Química; Metalurgia" identificada com a letra C. Dentro desta área destaca-se a subarea "Tratamento de água, esgotos e lamas" (C02F); bem como "Compostos químicos orgânicos com atividade terapêutica" (C07C e C07D).

A segunda categoria mais patenteada na Unicamp (19,53%) é a "Física", identificada pela letra G, cuja principal subárea é a "Investigação e análise de materiais por suas propriedades físicas ou químicas" (G01N), com 37 pedidos.

Ainda em relação às grandes áreas, o terceiro lugar cabe às "Necessidades Humanas" identificada pela letra A. Dentro desta está a segunda subárea que mais tem pedidos, a saber: "Preparações com finalidades médicas" (A61K), com 30 pedidos.

A análise feita acima considerou 430 dos 560 pedidos, dado que nem todos estavam identificados por esta classificação. Considerando o grau de sub-divisão de três

(letra, número e letra)[21], as que apareceram com maior freqüência são: G01N, seguida da A61K, e em terceiro C02F.

Essa ordem é diferente da apresentada para o caso da Unicamp por Nunes & Oliveira (2007). Neste trabalho, o primeiro lugar cabia à C02F, segundo G01N e terceiro A61K. Esta alternância decorre da diferença nos períodos analisados. Enquanto o presente estudo considera todo o banco de patentes (1990-2008), os pesquisadores do INPI se restringiram aos anos de 2000 a 2004.

Tal qual explicitado no capítulo anterior, a maior propensão para obtenção de patentes na área química é uma característica da inovação, sejam elas desenvolvidas em instituições públicas ou privadas. Isto pode explicar parcialmente a predominância do Instituto de Química sobre os demais.

Contudo, não se deve abstrair a importância das motivações individuais dos pesquisadores, existência de uma estrutura institucional, formal ou tácita, que promova a proteção de tecnologias via patente.

A despeito desta posição de destaque, os demais institutos da Unicamp têm aumentado sua participação no total de patentes. A partir de 2002, este aumento passa a ser resultado tanto da elevação do número de patentes desses institutos como da queda da participação relativa do Instituto de Química.

[21] Nível de classificação iguala ao adotado por Gullo & Guerrane (2006) e Nunes & Oliveira (2007).

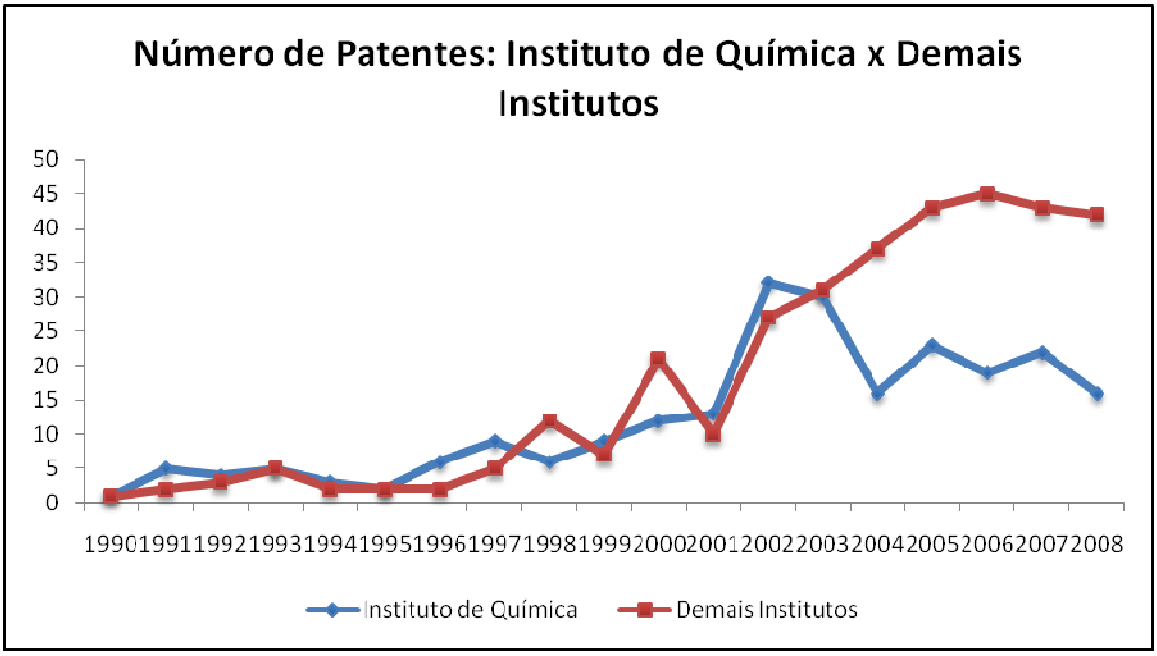


Gráfico VIII: Número de pedidos de patentes do Instituto de Química e demais institutos da UNICAMP.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria[22]

Depois de atingir o ápice (2002) o número de depósitos de patentes deste Instituto cai durante dois anos (2003 e 2004) e segue com uma tendência de estabilização a partir de 2004 (mesmo número de depósitos em 2004 e 2008). Já os depósitos dos demais institutos se elevam de 2001 a 2006, com leve queda a partir de então. Não foram encontrado explicações (nas entrevistas ou na literatura) que explicitassem os motivos dessa variação.

Outro importante aspecto a ser observado em uma análise de patentes em universidades é a existência de pedidos de co-autoria, ou seja, tecnologias cuja pesquisa e os resultados são compartilhados com uma ou mais instituições, fato indicativo de maior ou menor grau de abertura e articulação interinstitucional da universidade.

Esta articulação é um dos pontos que a Lei da Inovação procurou estimular, notadamente no que tange à parceria com o setor privado. No total, 15,56% (87) dos pedidos tem co-autoria, sendo que 54,02% (47) destes são parcerias com instituições privadas e 45,98% (40) com instituições públicas.

[22] Neste caso foi considerado como base o ano de 1990, devido à disponibilidade de informações.

Apesar de haver registros anuais de pedidos com co-autoria a partir de 1998, a participação percentual destas no total se manteve praticamente estável ao longo dos anos (com exceção de 2007). O gráfico abaixo com dados a partir de 2002, ilustra essa afirmativa.

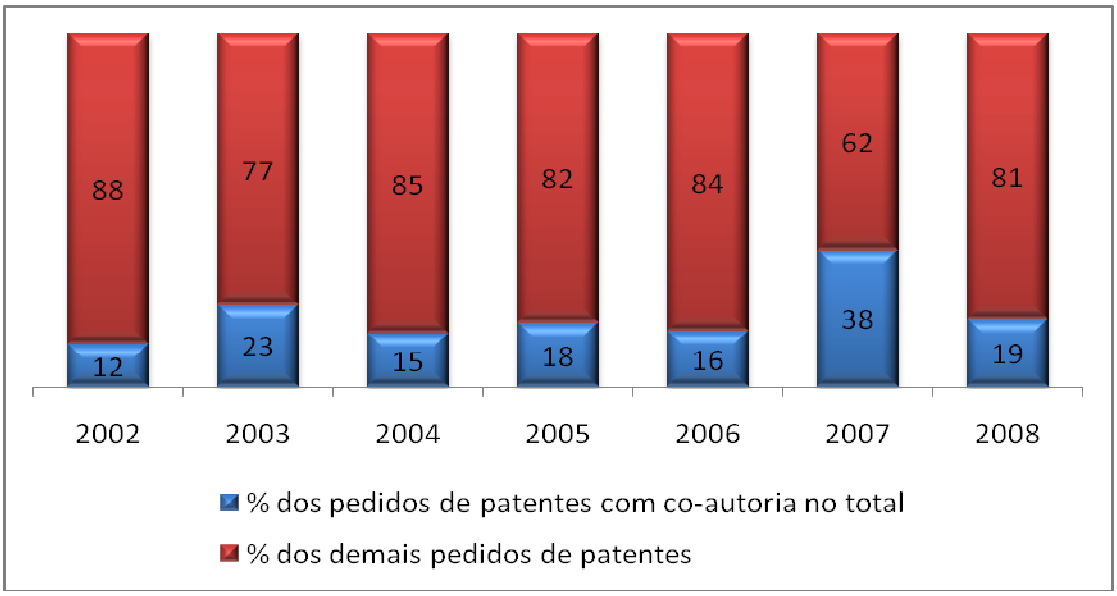


Gráfico IX: Proporção de pedidos com co-autoria em relação ao total (2002–2008)
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

No que tange à proporção entre parcerias públicas e privadas, nota-se elevação da cooperação com instituições privadas na geração de Inovações na Unicamp, tal qual evidenciado pelo gráfico abaixo.

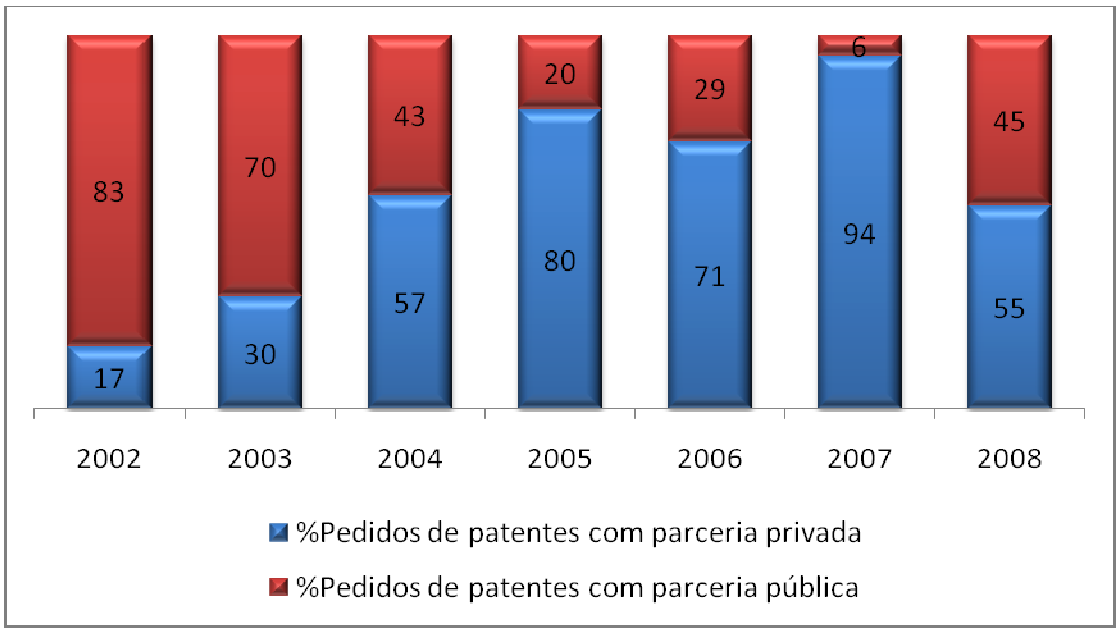


Gráfico X: Proporção de pedidos com parceria privada e pública (2002 – 2008)
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

Este aumento na proporção de parcerias com instituições privadas pode ser resultado da ação da INOVA em combinação com a promulgação da Lei da Inovação de 2004, cujo objetivo é o fortalecimento da interação universidade-empresa.

No que diz respeito às diferenças entre Institutos, existem alguns que apresentaram maior propensão a estabelecer parcerias no desenvolvimento de inovações do que outros. Considerando os 10 institutos que mais patentearam, o destaque é a Engenharia Agrícola com 28,00% (7) de seus pedidos de patentes resultantes de parcerias, seguido pelo Instituto de Física com 27,27% (9).

Apesar de representar 40,23% (35) do total de pedidos realizados em parceria na universidade, o Instituto de Química tinha somente 14,96% de seus pedidos nesta modalidade, mostrando que não há, necessariamente, correspondência entre a realização de parcerias e número de depósitos.

A intensidade da relação universidade-empresa pode ser medida também pelo número de licenciamentos (venda do direito de uso da tecnologia). De um total de 560 patentes, somente 10,73% (60) foram licenciadas.

Verificou-se também que as tecnologias geradas em parcerias com instituições privadas foram, proporcionalmente, mais licenciadas que as geradas em parceria com instituições públicas, 17,00% ante 5,71%.

Ainda no que diz respeito ao licenciamento, o Instituto de Química (IQ) detém a maior participação no total (30,00%), seguido da Faculdade de Engenharia Mecânica (18,33%). No entanto, à semelhança das parcerias, quanto calcula-se a proporção do total que cada instituto licenciou em relação ao seu total de patentes o cenário muda.

Neste caso, o IQ tem somente 8,00% (18) de suas patentes licenciadas enquanto a Faculdade de Ciências Médicas tem 32,00% (8). Novamente considerando os 10 maiores depositantes, destacam-se, o Instituto de Biologia 21,05% (4), a já referida Faculdade de Engenharia Mecânica com 20,00% (11) e a Faculdade de Engenharia de Alimentos com 18,42% (7).

A maior ou menor proporção de patentes licenciadas é um indicativo de eficiência na geração de inovações com aceitação no mercado. No entanto, o processo de licenciamento não depende exclusivamente do potencial tecnológico da patente, dada a relevância de instrumentos institucionais adequados para efetuar a transação.

Em resumo, pode-se observar que houve crescimento no número de pedidos de patentes realizados por pesquisadores da Unicamp, que este aumento foi acompanhado de maior diversificação e participação dos institutos. A ação da INOVA pode ser responsável por parte deste processo, contudo, já havia uma tendência em curso ao menos a partir de 1995.

Além deste aspecto, cabe destacar a diferença entre as áreas do conhecimento e propensão a patentear, cuja liderança cabe ao Instituto de Química. A despeito de deter o maior número de patentes, proporcionalmente não foi o que mais estabeleceu parcerias nem licenças.

4.3 Eco-Inovações

No que tange às eco-tecnologias (potencialmente) patenteadas por pesquisadores da Unicamp, nota-se que houve crescimento na quantidade de pedidos, no entanto, este crescimento tem alta variação anual, tal qual evidenciado pelo gráfico abaixo que relaciona o número de eco-patentes (eixo direito) e demais patentes (eixo esquerdo).

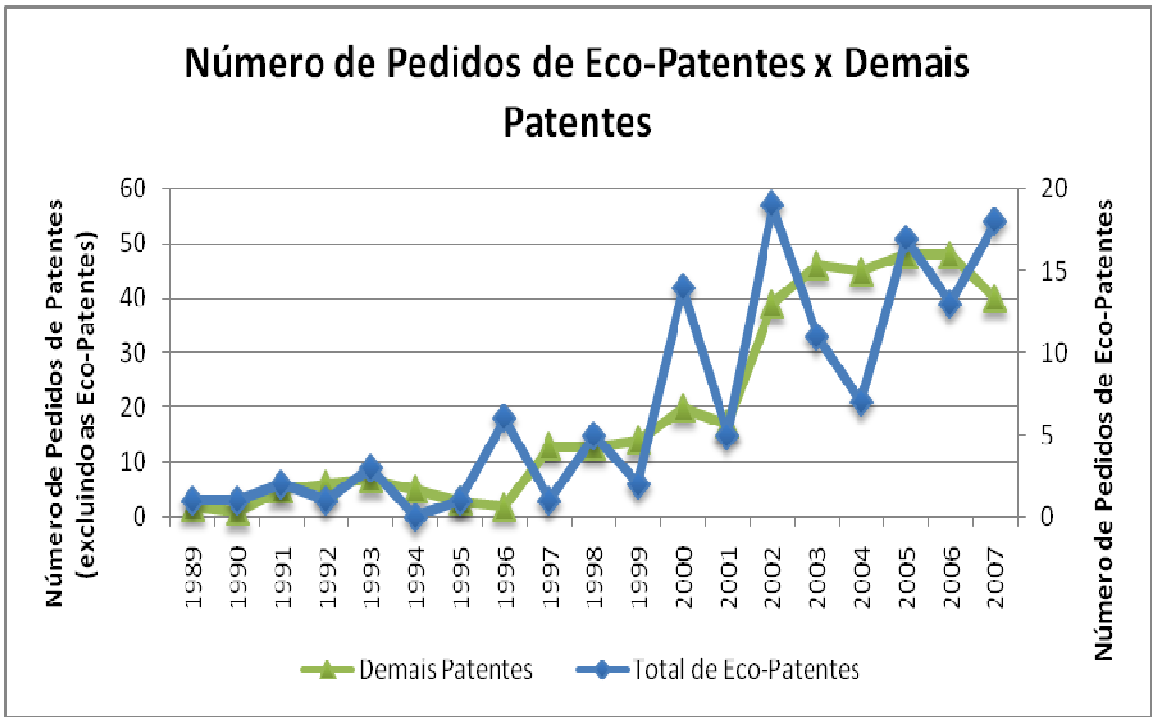


Gráfico XI: Número de pedidos de patentes total e de eco-patentes (1989 – 2007)
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

Considerando todos os pedidos de patentes realizados de 1989 até 2007, as eco-tecnologias correspondem a 25,35% (127)[23] do total, ou seja, um em cada quatro pedidos de patentes da Unicamp pode ser considerado uma eco-tecnologia. Este valor é expressivo, ainda mais considerando que não há política pública voltada exclusivamente para a promoção e financiamento das mesmas.

Este percentual de participação variou ao longo dos anos, passando de 32,76% (19) em 2002, para 13,46% (7) em 2004 e voltando para 31,03% (18) em 2007. Esta variabilidade dificulta a dedução de uma tendência.

No que tange às características dessas tecnologias, nota-se que 65% (82) são de processo, ante 32% (41) de produto e 3% (4) que pode ser classificada em ambas as categorias.

[23] O total de patentes consideradas para este cálculo foram 501, dadas as questões metodológicas abordadas na seção 4.1. As Eco-Inovações estão listadas no anexo II.

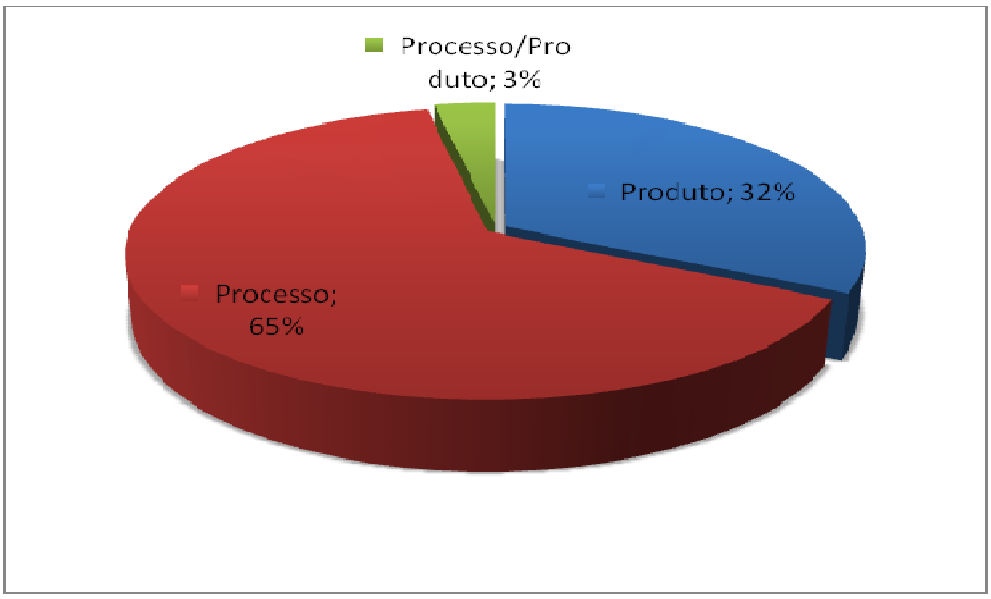


Gráfico XII: Proporção entre eco-patentes de produto e processo.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

Esta constatação refuta a idéia presente na literatura exposta no capítulo anterior, de que as eco-inovações são predominantemente de produto. Podem-se destacar duas principais razões para este fato. Primeiro, a identificação de eco-inovações de processo por busca de patentes não é facilitada pelos métodos mais utilizados, como palavras-chave e classificação internacional. As tecnologias de processo podem não fazer menção explícita a seu potencial ecológico. Este fato também pode ocorrer no caso de tecnologias de produto, mas em menor intensidade. Neste trabalho, a identificação das características "eco-tecnológicas" de um pedido de patente foi feita a partir da leitura de todos os resumos e alguns textos completos do universo pesquisado.

Em segundo lugar, essa diferença pode decorrer de uma peculiaridade da inovação na universidade. Tal qual explicitado no capítulo anterior, a preferência dos agentes pelo patenteamento de produto decorre de que este estará disponível no mercado e pode ser mais facilmente imitado, diferentemente de um processo interno à fábrica cujas especificidades podem ser protegidas por outros métodos (Ex: segredo industrial).

Para que a tecnologia da universidade seja licenciada, ela deve estar formalizada em um pedido de patente registrado no INPI, ou seja, o uso mercadológico da tecnologia pressupõe sua proteção patentária. Sendo assim, tanto os processos quanto os produtos devem ser protegidos.

As eco-patentes da Unicamp são predominantemente *Cleaner Technologies* (tecnologias mais limpas) 62% (79), ante 38% (48) *end-of-pipe* (fim de tubo), contradizendo a hipótese visitada no capítulo anterior.

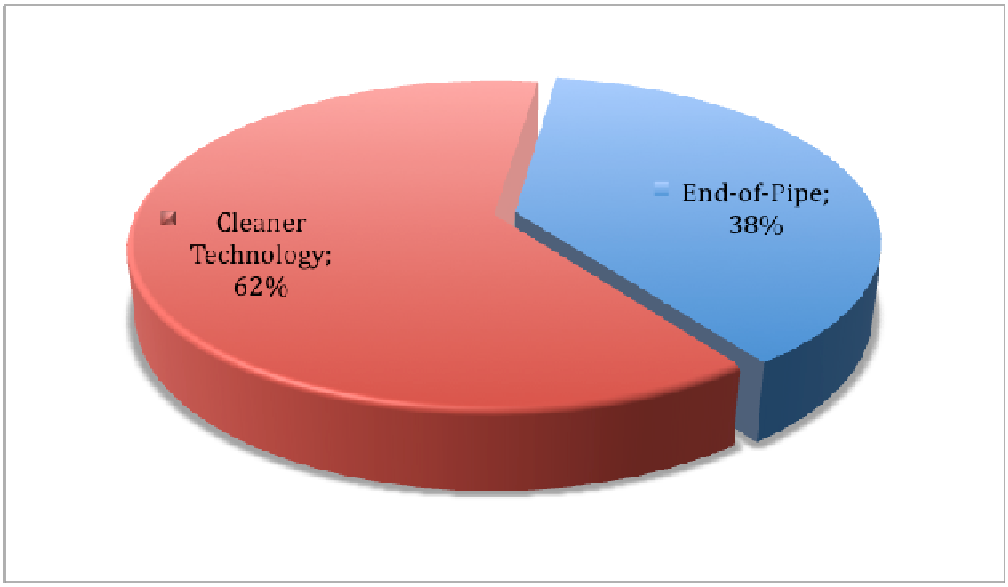


Gráfico XIII: Proporção entre eco-patentes *Clean Technology* e *End-of-pipe*.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

As inovações *end-of-pipe* dizem respeito à remediação de problemas gerados nos processos produtivos, tal qual o tratamento de poluentes. A motivação para geração destas, em geral, reside na necessidade de adequação à legislação ambiental, por exemplo, à limitação da toxidade dos efluentes gerados por uma indústria.

A proteção das inovações pelas universidades tem como objetivo final o mercado, no entanto, estas não estão sujeitas às mesmas restrições impostas às empresas, sendo assim, suas rotinas de pesquisa podem ter maior grau de autonomia, buscando soluções estruturais.

Esta característica faz da universidade um importante agente na construção da sustentabilidade, pois desenvolve soluções tecnológicas capazes não só de reduzir a poluição, mas preveni-la e elevar a eficiência ecológica do sistema produtivo.

No que tange às diferentes participações dos institutos, doze foram os que depositaram ao menos um pedido de eco-patente. Em relação ao total, o destaque é novamente o Instituto de Química com 44,88% (57), seguido pela Faculdade de

Engenharia Mecânica com 17,32% (22) e Faculdade de Engenharia de Alimentos com 11,02% (14).

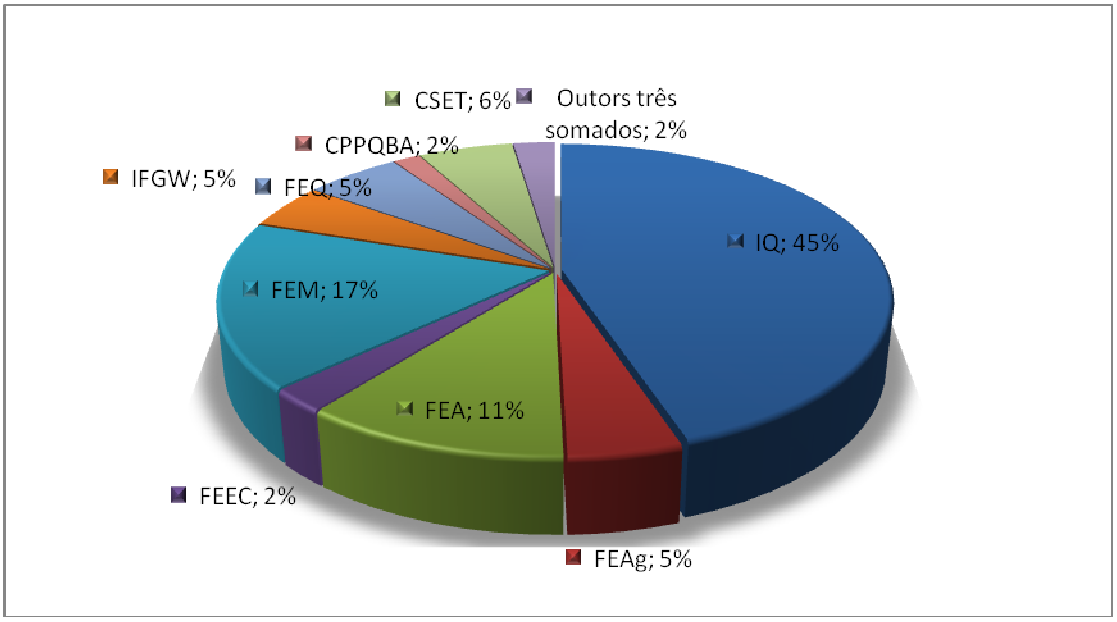


Gráfico XIV: Participação (%) dos institutos na proteção de eco-patentes.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

Os demais institutos somam 26,77%, ou seja, 73,23% estão concentrados em três institutos. Nota-se ainda que desses que tiveram maior participação, as eco-patentes representam parcela relevante do seu total, a saber: 27,27% (57) de todas as patentes do Instituto de Química, 44,00% (22) da Faculdade de Engenharia Mecânica e 38,89% (14) da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

Na Engenharia Mecânica, um fato notável é a alta concentração de patentes depositadas por um só pesquisador, Rodnei Bertazzoli com 72,72% (16), cuja linha de pesquisa diz respeito ao tratamento de afluentes, referenciado pelo código internacional C02F. Nos outros dois institutos não há esta concentração e os depósitos foram divididos entre diversos pesquisadores.

As eco-patentes desenvolvidas em parcerias com outras instituições correspondem a 20,47% (26) do total, sendo que este percentual é de somente 15,17% (76) para as demais patentes. Portanto, a geração de eco-patentes em parceria é proporcionalmente maior.

Dessas parcerias, 61,54% (16) foi realizado com instituições privadas e 38,46% (10) com instituições públicas. Calculando esta proporção para as demais patentes tem-se uma relação de 46,05% (35) para instituições privadas e 53,94% (41) para instituições públicas.

Logo, as eco-patentes são superiores às demais no que diz respeito ao estabelecimento de parcerias com agentes privados. Nota-se ainda que estas foram realizadas somente a partir de 2000 denotando o aumento do interesse de empresas por soluções eco-tecnológicas nos anos mais recentes.

Este interesse pode ser observado quando se calcula o percentual de eco-patentes que foram licenciadas em relação ao total das mesmas, cujo valor é 19,68% (25), ou seja, uma em cada cinco dessas inovações é licenciada. Para as demais patentes essa relação é de 11,98% (60). Este é um forte indicativo do potencial mercadológico dessas eco-inovações e interesse das empresas por esse tipo de solução.

Todavia, existe uma limitação desta análise dado que 68,00% (17) de todos esses licenciamentos foram realizados por somente três professores, o que indica (ao menos no caso da Unicamp) a importância da iniciativa individual para realização deste processo. Consequentemente, esses licenciamentos ficaram, em grande medida, restritos a duas das cinco categorias utilizadas para classificar das eco-patentes, a saber: Tecnologia de controle e redução de poluição (50%) e Tecnologia de Reciclagem (30%).

No que tange às especificidades técnicas das eco-tecnologias, nota-se alta concentração na área de "Química; Metalurgia" identificada pela letra C, com 72,81% (75) do total[24], concentração maior que a observada para o total de pedidos (46%).

Dentro desta área se destaca o "Tratamento de água, esgotos e lamas (C02F)"; com 24,27% (25) do total, enquanto as outras sub-áreas não passaram de 4,83% (5) de participação, mostrando que os critérios de classificação adotados neste trabalho, não tem correspondência com as proposta de classificação internacional.

As eco-patentes aqui identificadas foram divididas em cinco categorias, conforme explicitado no capítulo anterior, a saber: Produto mais limpo; Tecnologia de redução e controle de poluição; Tecnologia mais limpa; Tecnologia de reciclagem; e Energia limpa e renovável.

[24] Considerando aquelas em que esta classificação estava disponível, 103 de um total de 127.

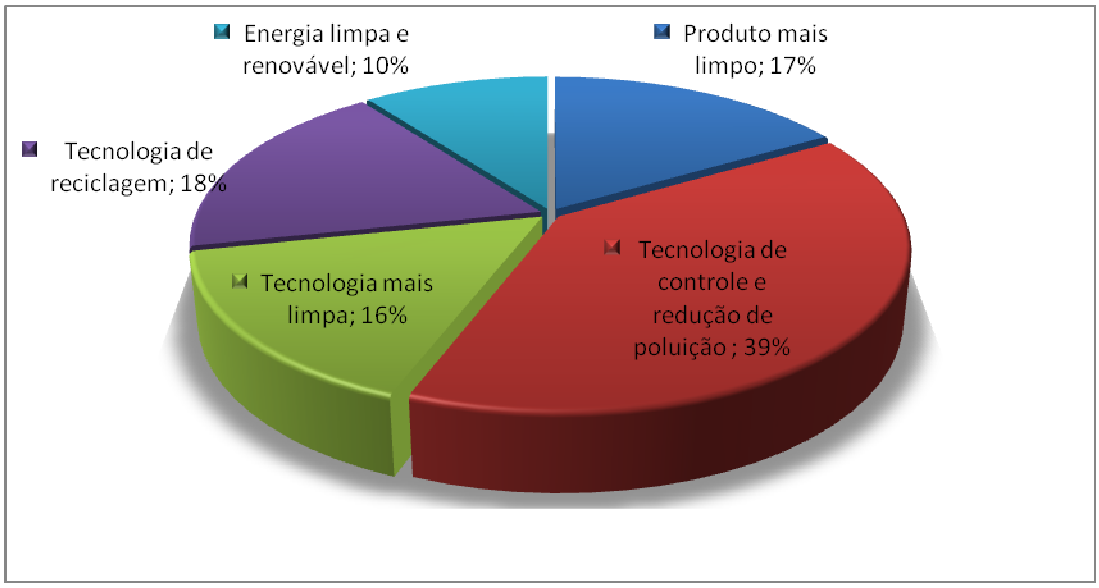


Gráfico XV: Proporção de eco-patentes de acordo com a classificação proposta.
Fonte: INOVA/UNICAMP. Elaboração própria

Observa-se que a categoria "tecnologia de redução e controle de poluição" tem a maior participação, 39,37% (50) do total. Neste caso houve certa correspondência com a Classificação Internacional de Patentes, dado que a categoria C02F trata especificamente deste tema e correspondeu a cerca de 50% das patentes desta categoria.

Nas demais categorias, a regra é a diversidade de subáreas. Nota-se ainda uma participação semelhante entre as demais categorias no total, com exceção da "energia limpa e renovável", com 10,23% (13). Este fato indica que a pesquisa da Unicamp em eco-inovações é realizada em diferentes eixos.

Este resultado mostra também a efetividade desta proposta classificatória, pois todas puderam ser inseridas dentro dessas cinco categorias. Além disso, a mudança de foco para a finalidade e potencialidade econômico ecológica da tecnologia torna mais clara a contribuição desta instituição à construção da sustentabilidade.

A predominância dos licenciamentos de tecnologias de caráter *end-of-pipe* sugere que as empresas buscam as inovações da universidade como forma de remediar prejuízos ambientais, procurando se adequar à regulação ambiental por meio de soluções remediadoras.

A incorporação de uma tecnologia mais limpa geralmente incorre em maiores custos e transformação do processo produtivo vigente, em um primeiro momento. Como já explicitado por Porter & Van de Linde (1995), poluição é ineficiência e corrigi-la pode gerar vantagens competitivas à empresa, contudo, a julgar pelos dados coletados na interação entre a universidade e empresas, ainda predominam as transações de tecnologias remediadoras.

4.4 Entrevistas com Pesquisadores

A descrição dos resultados das entrevistas realizadas será feita de maneira discursiva enfocando as questões qualitativas, dado que a quantidade de pesquisadores consultados não permite um tratamento estatístico mais aprofundado.

Os temas abordados na entrevistas são: determinantes da inovação (discussão entre *technology push* e *demand pull*), fatores indutivos da demanda por eco-tecnologias, o financiamento da pesquisa em eco-tecnologia, a relevância da formação do pesquisador e a existência de políticas públicas voltadas à sua promoção.

No que tange aos determinantes da eco-inovação, os pesquisadores divergem a respeito dos fatores determinantes da inovação serem predominantemente de oferta ou demanda. Apesar de todos reconhecerem a importância da combinação desses dois fatores, bem como a existência da retroalimentação (*feed-backs*). Dois deles afirmaram que o avanço tecnológico seria o fator primordial para a geração de novas tecnologias enquanto os demais afirmaram ser a demanda o grande modelador das agendas de pesquisa.

Esta divergência se origina da diferenciação entre inovações incrementais e radicais, sendo as primeiras mais influenciadas pela demanda do que a segunda. Contudo, considerando inovação apenas as tecnologias a serem utilizadas no mercado, a necessidade de oportunidade de mercado e demanda real é consenso entre os pesquisadores.

Esta concepção vai de encontro com o arcabouço teórico evolucionário, onde as inovações são consideradas resultado de um processo dinâmico e complexo em que predominam as interações entre fatores de demanda e oferta. A indefinição dos

pesquisadores quanto à direção dos determinantes resulta em falta de familiaridade com os conceito *technologic push* e *demand pull,* que dizem respeito à teoria econômica.

Considerando que a recente literatura da inovação tem dado ênfase aos fatores que influenciam a demanda por tecnologia[25], os pesquisadores foram questionados quais os principais motivadores da atividade eco-inovativa. Para guiar as respostas, foram sugeridas algumas varáveis, definidas a partir da literatura utilizada ao longo desta dissertação: novo marco regulatório, mudança na preferência do consumidor, conscientização ambiental por parte de pesquisadores; e por parte das empresas.

Considerando estes fatores indutivos, os pesquisadores entrevistados são uníssonos em defender a importância da regulação como determinante[26]. A mudança na legislação obrigando as empresas a adotar processos e produtos mais limpos, sob pena de prejuízos pecuniários, fomenta a busca por novas tecnologias. Esta proposição está de acordo com a literatura visitada neste trabalho, notadamente Porter & Van der Linde (1995), Cleff & Rennings (1999), Kemp (2000), Gonzáles (2009), dentre outros.

A despeito da necessidade de políticas de comando e controle para disparar a eco-inovação os pesquisadores defendem que, em geral, estas novas tecnologias são mais lucrativas e eficientes do que as anteriores, confirmando a chamada Hipótese Porter descrita na seção 2.2.2.

No entanto, essas políticas públicas carecem de mecanismos eficientes de fiscalização para gerar impacto no potencial de lucro das empresas, pois segundo três pesquisadores o incentivo só surtirá efeito à medida que ameaçar os ganhos empresarias. Os diferentes mecanismos de intervenção pública, bem como a efetividade das mesmas foi discutida na seção 2.2.3 desta dissertação.

Pelo lado da oferta de tecnologia, vimos que mudanças regulatórias podem influenciar positivamente a geração de patentes na universidade. Contudo, todos os professores entrevistados afirmaram que não há políticas públicas específicas voltadas para a promoção de eco-inovações.

Como resultado, as fontes de financiamento utilizadas pelos pesquisadores são diversas. Dois deles afirmaram que a maior parte do recurso provém da CAPES

[25] Ver Dosi & Nelson (2009).
[26] Um dos cinco pesquisadores colocou a regulação como segundo fator mais importante, destacando a preferência do consumidor como primeiro.

(Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), dois afirmaram ser da iniciativa privada e um fonte interna ao departamento. Nota-se ainda que quando a fonte é privada esta já vem destinada à geração de eco-tecnologias, pois se destina a atender uma demanda específica.

Sob um primeiro olhar poderia se supor que os pesquisadores que obtém financiamento privado estariam mais dispostos a obter patentes, bem como se engajar na comercialização de suas descobertas. Todavia, todos os pesquisadores destacaram a importância da formação acadêmica/profissional como fator determinante no direcionamento da pesquisa para a geração de patentes e comercialização da pesquisa, assim como defendido por Bercovitz & Feldman (2007), Goktep-Hultén (2008), dentre outros.

Todos os pesquisadores tiveram experiência no mestrado e/ou doutorado e pós-doutorado onde foi ensinado e incentivado o trabalho em cooperação com a indústria, a identificação de demandas da sociedade e o depósito de patentes. Segundo os pesquisadores, este know-how é fundamental para a elevação da cooperação universidade empresa e deve ser ensinado aos alunos de graduação e pós-graduação.

4.5 Conclusões Preliminares

A análise do banco de patentes da Unicamp pode servir de base para futuras pesquisas com eco-tecnologias ou mesmo tecnologias em geral desenvolvidas por universidades.

Dentre essas, pode-se destacar o crescimento no número de patentes depositadas pela universidade, que foi acompanhado pela diversificação da origem das mesmas no que tange ao instituto depositário. Este crescimento pode ser parcialmente explicado pelas mudanças na legislação ocorridas em 1996 e pela entrada em cena da INOVA/UNICAMP, agência de transferência de tecnologia local.

Estes fatores indicam haver influência por parte do aparato regulatório e/ou institucional na dinâmica patentária da universidade, o que por sua vez, referenda proposições teóricas descritas ao longo do trabalho, principalmente, no que tange à existência de uma ambiente institucional que favoreça tais atividades.

A respeito das diferentes propensões a patentear, a predominância do Instituto de Química ficou clara. As razões dessa superioridade devem ser objeto de futura investigação. A existência de pesquisadores empreendedores, pode ter fomentado uma cultura da inovação neste instituto. Além disso, nota-se que as patentes da área "Química" são mais frequentes, tal qual sugerido pela literatura.

As entrevistas levantaram pistas para investigar as propensões a patentear e sugeriram que esta é fortemente influenciada pela formação acadêmica do pesquisador e suas relações pessoais com a indústria.

Os dados indicam que o número de patentes não é diretamente relacionado com as atividades de parcerias e licenciamentos. Institutos que se destacaram nestes campos não correspondiam aos maiores depositantes. Parcerias essas que foram proporcionalmente maiores com instituições privadas, principalmente a partir de 2004, data da publicação da Lei da Inovação, que, a julgar por estes fatos, tem obtido sucesso em fortalecer a interação universidade-empresa.

A proporção dessas tecnologias que é licenciada ainda é pequena, apesar de maior que quando se considera o total de patentes. Assim como para as parcerias, há diferenças nas proporções de patentes licenciadas por instituto, com destaque para a Faculdade de Ciências Médicas que licenciou aproximadamente 1/3 de seus pedidos.

A semelhança do observado no total de pedidos de patentes, houve crescimento no total de eco-patentes depositadas pela Unicamp. Todavia este crescimento não possibilitou inferir uma tendência devido à grande variabilidade anual. Mesmo assim, em termos absolutos, aproximadamente ¼ das patentes desenvolvidas nesta universidade são eco-tecnologias.

Essas têm como característica a predominância de processos sobre produtos e de tecnologia mais limpas sobre fim-de-tubo. Ambas as proporções diferem do sugerido na literatura exposta no capítulo anterior, denotando que a dinâmica inovativa da universidade, a despeito das semelhanças, tem características próprias.

A proporção de eco-tecnologias desenvolvidas em parceria é maior do que o observado para as demais, assim como a proporção de parcerias com agentes privados, fato indicativo de um maior interesse de empresas por esse tipo de tecnologia, tal qual

sugerido por autores como Romeiro & Salles (2001), Kemp (1997, 2000, 2009), dentre outros.

As eco-patentes são, proporcionalmente, mais licenciadas que as demais e o interesse das empresas em buscar soluções na universidade é maior quando se trata de técnicas de remediação. Este fato indica que a busca de eco-tecnologias pelas empresas está relacionada à necessidade de adequação à legislação ambiental, tal qual sugerido por Kemp et. al. (2000).

Os pesquisadores entrevistados confirmam a influência positiva das mudanças no aparato regulatório na busca e geração de eco-tecnologias. Além disso, as entrevistas reafirmam a importância das demandas privadas por eco-inovações.

Os critérios de classificação aplicas às eco-patentes possibilitou verificar a diversidade de eixos de pesquisa eco-inovativa da Unicamp e a existência de soluções que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável devido a seu caráter estrutural e preventivo.

Conclusão

Primeiramente, o presente trabalho procurou responder algumas perguntas, que possibilitaram identificar as eco-inovações, classificá-las e entender sua dinâmica de geração, ou seja, definir a linha de base para a análise das mesmas.

Portanto, foi feito um esforço para delinear o papel da inovação segundo o arcabouço teórico da economia ecológica, evidenciando as diferenças em relação à proposta da economia neoclássica.

Conclui-se que a melhoria técnica e organizacional pode aumentar os serviços providos pelo sistema econômico, sem aumento do *throughput*. Ou seja, corresponde a um elemento fundamental na construção do desenvolvimento sustentável, que por sua vez é entendido como uma mudança qualitativa na economia que mantenha constante o fluxo de energia e matéria utilizada pelas atividades econômicas (estado estacionário).

Contudo, a geração e uso das tecnologias devem considerar alguns aspectos, dentre os quais as inerentes diferenças entre os "tipos" de recursos naturais (bióticos e abióticos) e a existência de limites ecossistêmicos.

A utilização e processamento de recursos minerais, por exemplo, incorre em uma inexorável perda de matéria e energia, de modo que sua reciclabilidade se torna limitada. Além disso, os resíduos derivados do seu uso podem ser altamente danosos ao meio ambiente.

Os recursos bióticos se diferenciam do anterior por conter características tanto de estoque fluxo quanto de fundo serviço. Mas sua utilização também está sujeita a limites ecossistêmicos, neste caso, dados por sua taxa de reprodução.

Outro ponto relevante diz respeito à capacidade do ambiente absorver resíduos. Essa habilidade ecossistêmica não é infinita, de modo que as atividades econômicas devem se desenvolver de forma que a emissão de rejeitos não seja superior à absorção do meio-ambiente.

Cabe à inovação tecnológica o desenvolvimento de técnicas produtivas mais limpas e eficientes, em que os serviços providos pelo sistema econômico sejam obtidos com menor demanda por matérias primas não renováveis; maior aproveitamento das

renováveis; incremento da reciclabilidade dos produtos; redução da emissão de resíduo; e do nível de toxidade dos mesmos.

A definição de eco-ionvação adotada neste trabalho se baseia em grande medida nas considerações acima discutidas. De maneira geral esta foi delineada como: produtos, processos ou serviços novos ou melhorados, que se distinguem por resultar em uma redução (relativa) do impacto ambiental.

A partir da revisão teórica feita no capítulo II, conclui-se que a geração dessas tecnologias é semelhante às demais. Estão inseridas em um processo dinâmico onde o encontro das tecnologias com o ambiente seletivo gera um constante fluxo de *feed-backs* ao sistema.

As restrições ambientais são elementos constituintes deste ambiente seletivo e podem moldá-lo à medida que existem agentes que traduzam os limites ecossistêmicos em políticas capazes de influenciar esta dinâmica.

Segundo os pesquisadores consultados, a regulação, ou seja, ações públicas de comando e controle, são poderosos motivadores da geração de eco-tecnologia, pois podem moldar o ambiente seletivo e determinar a margem de atividade das empresas, influenciando as condições de lucratividade.

O avanço das eco-ionvações depende de um ambiente institucional propício, que conte com regulação adequada e outros incentivos públicos, como o investimento em pesquisa. Neste contexto, se destaca o papel da universidade.

As características da participação da universidade na dinâmica inovativa foi observada a partir da análise do banco de patentes da Unicamp. A utilização de patentes como indicador da inovação requer uma série de cuidados metodológicos discutidos ao longo do capítulo III. Também neste capítulo foram levantadas as principais características a serem observadas nas inovações da universidade.

As "especificidades técnicas e determinantes da eco-ionvação" à que se refere a hipótese descrita na introdução, foram desdobradas "sub-hipóteses" (capítulo III), quais sejam: há elevação da atividade patentária na universidade; influência positiva de mudanças no aparato regulatório/institucional; predominância da área química; maior aceitação da comunidade acadêmica para este tipo de proteção da tecnologia; elevação da cooperação universidade empresa; elevação da participação de eco-patentes no total; as

eco-tecnologias seriam predominantemente de produto e *end-of-pipe* . Estas sub-hipóteses foram confrontadas com os dados obtidos no banco de patentes na Unicamp e com as opiniões dos pesquisadores entrevistados.

A análise dessas tecnologias possibilitou comprovar que o nível de atividade inovativa, medido por patentes, na universidade vem aumentando nos últimos anos. Este aumento é acompanhado de uma diversificação nos institutos depositantes, indicando maior recepção da comunidade acadêmica pela proteção patentária de inovações.

O aumento do número de depósitos, principalmente a partir de 2002, pode ser parcialmente explicado pela criação de um escritório de transferência de tecnologia INOVA. Instituições dessa natureza, *bridging institutions* (instituição ponte), são reconhecidas como importante agente promotor da inovação e da interação universidade-empresa.

Contudo, esta tendência de aumento já vinha sendo observada, ao menos, a partir de 1996, ano da promulgação da Lei da Propriedade Industrial 9.279/96. Não obstante, a Lei da Inovação de 2004, que potencialmente poderia elevar o número de pedidos de patentes, não surtiu efeito observável.

Por outro lado, o aumento da participação das instituições privadas nas patentes geradas em co-autoria, cujo ápice foi 2007 com 94%, coincide com a promulgação desta Lei, indicando que o objetivo de promover maior interação universidade-empresa na geração de tecnologias vem sendo atingido.

De maneira geral, nota-se que mudanças na legislação e internas à instituição podem influenciar a atividade patentária na Unicamp. Segundo Mowery et. al. (2004), este fato também ocorre em outras universidades e instituições não-universitárias. Neste ponto, portanto, a geração de tecnologias na Unicamp se assemelha às demais organizações.

A propensão a patentear também depende da iniciativa empreendedora do pesquisador que, conforme observado na literatura e nas entrevistas, pode ser influenciada pela formação profissional do mesmo. A disseminação de uma cultura científica voltada para o atendimento das demandas de empresas e da sociedade pode ser estimulada pela educação e treinamento de jovens pesquisadores.

Na Unicamp há uma predominância das patentes na área química (identificadas pela letra C da classificação internacional de patentes). Este fato pode explicar parcialmente a superioridade do Instituto de Química sobre os demais institutos, soma-se a isso a formação dos pesquisadores deste instituto que conta com uma histórica cooperação com a iniciativa privada. Contudo, uma futura investigação pode elucidar melhor esta hipótese.

Apesar de ser o maior depositante, este não detinha a maior proporção de parcerias e licenciamentos. Os dados analisados indicam que institutos que se destacaram pela proporção de parcerias e licenciamentos não correspondiam aos maiores depositantes. Um exemplo é a Faculdade de Ciências Médicas, que licenciou aproximadamente 1/3 de seus pedidos de patentes, mas ocupava somente a oitava colocação no ranking de maiores depositantes.

No que tange às eco-patentes, nota-se o crescimento no total de eco-tecnologias geradas na Unicamp. Todavia, a grande variabilidade anual do número de depósitos não possibilitou inferir uma tendência. Mesmo assim, a partir de 2002 todos os anos (com exceção de 2004) registraram mais de 10 depósitos.

Em termos absolutos, aproximadamente ¼ das patentes depositadas nesta universidade são eco-tecnologias. Esse percentual é ainda mais expressivo considerando que não há linhas de financiamento pública voltadas exclusivamente para este tipo de inovação.

A descrição das características desses pedidos de patente contou ainda com uma classificação desenhada a partir das definições (discutidas no capítulo II), levando em consideração aspectos da teoria econômico ecológica (tema do capítulo I).

A partir dessa classificação observou-se que as eco-patentes da Unicamp estão distribuídas da seguinte maneira:

- Produtos mais limpos – 17%
- Energia limpa e renovável – 10%
- Tecnologia de reciclagem – 18%
- Tecnologias mais limpas –16%
- Tecnologia de controle e redução da poluição – 39%

Uma importante conclusão é que esta classificação não tem correspondência com a classificação internacional de patentes (IPC), frequentemente usada em pesquisas desta natureza. Esta classificação internacional foca nos aspectos técnicos da tecnologia e não em suas finalidades ecológicas.

Com exceção da categoria "tecnologia de controle e redução de poluição", onde 50% das patentes tinham a classificação (IPC) C02F, em nenhuma outra categoria verificou-se repetição do mesmo código da classificação internacional em proporção superior a 15% do total[27].

A despeito da maior participação da categoria "tecnologia de controle e redução da poluição", a soma das três outras categorias, "produtos e tecnologias mais limpas; mais energia limpa e renovável", representa 43% do total. Além disso, as eco-tecnologias da Unicamp se diferenciam das demais pela predominância das *Cleaner Technologies*.

As patentes depositadas por empresas, geralmente são soluções remediadoras voltadas à adequação à legislação ambiental. Por não estar sujeitas às mesma pressões, a universidade pode servir como um importante ponto de pesquisa voltada à geração de soluções estruturantes.

A promoção dessas tecnologias por meio do financiamento público pode tomar ao menos dois caminhos: destinação de recursos especificamente para esses fins, considerando uma agenda de prioridades (baseadas na classificação proposta); ou reformulação dos critérios de concessão de financiamento de todas as novas pesquisas incluindo (ou intensificando) critérios econômicos ecológicos.

Segundo Oltra; Kemp & De Vries (2008) as eco-inovações têm como característica a predominância de produtos sobre processos e de tecnologia fim-de-tubo sobre tecnologias limpas (ou mais limpas). Os dados das eco-inovações da Unicamp contradizem esta proposição, denotando que a dinâmica inovativa da universidade, a despeito das semelhanças, contém características próprias.

Existem duas possíveis explicações para a observação da predominância de tecnologias de processo sobre de produtos. Primeiro porque o método de identificação de

[27] Existem diversos níveis de desagregação desta classificação. Para verificar a existência ou não que relação entre ambas, foi considerada a sequência Letra – Número – Letra. Ex: C02F ou D12H.

eco-patentes utilizado neste trabalho (direto) se diferencia daqueles baseados em palavras-chave e/ou classificação internacional.

A leitura integral dos resumos e documentos a torna mais sensível para captar tecnologias com potencial ecológico, mesmo que isto não esteja explícito no documento. A descrição de uma tecnologia tanto de produto quanto de processo pode não fazer menção a seu potencial ecológico, mas estima-se que este fato ocorra mais frequentemente com estas últimas.

Por outro lado, essa diferença pode não decorrer de um fato metodológico, mas de uma peculiaridade da inovação na universidade. A preferência dos agentes pelo patenteamento de produto decorre da necessidade de disponibilizá-lo no mercado, devido ao risco de cópia. Um processo, por sua vez, pode ser protegido por outros métodos, tal qual o segredo industrial.

Para que a tecnologia gerada na universidade chegue ao mercado, esta precisa ser protegida e licenciada, portanto, a tendência é não haver distinção na propensão em patentear produtos e processos, pois este é passo necessário para a comercialização da mesma.

As eco-inovações são duas vezes mais licenciadas que as demais tecnologias da universidade e esses licenciamentos envolvem, predominantemente, inovações *end-of-pipe*. Essa busca por soluções remediadoras subsidia o argumento de que as empresas adotam eco-tecnologias, majoritariamente, para se adequar à legislação ambiental.

Também em comparação ao total de patentes da Unicamp, nota-se que a proporção de eco-tecnologias desenvolvidas em parceria é maior do que as demais, assim como a proporção de parcerias com agentes privados.

Dentre as categorias propostas, as "tecnologias de produto mais limpo" se destacam pela proporção de parcerias (42%), dentre as quais todas foram realizadas com agentes privados, corroborando a tendência de essas instituições terem maior propensão a patentear produtos.

Essa superioridade das eco-patentes sobre as demais no que tange à interação universidade-empresa sugere haver um interesse maior, e crescente, por esse tipo de tecnologia, tal qual sugerido por autores como Romeiro & Salles (2001), Kemp (1997, 2000, 2008) e pelos pesquisadores entrevistados.

Em resumo, a atividade inovativa na Unicamp se assemelha à tendência geral observada para as universidades à medida que tem aumentado seu número de patentes, é influenciada por mudanças na legislação e pela atuação de instituições ponte (*bridging institutions),* tem elevado sua interação com empresas e predominam as patentes na área de química.

As diferenças das características da eco-inovação da Unicamp em relação às eco-tecnologias em geral, dizem respeito à predominância de processo e *cleaner technology.* Nota-se ainda que essas inovações são fortemente influenciadas pela pressão regulatória sobre as empresas, que passam a demandar soluções mais limpas. As diferentes propensões a patentear são parcialmente determinada pela formação acadêmica/profissional do pesquisador.

A capacidade de articulação com empresas e outras fontes de financiamento por parte dos pesquisadores é relevante devido à falta de linhas de financiamento públicas específicas.

A eco-inovação na Universidade é uma realidade, mas ainda está em fase inicial se comparada a outros países. O potencial da Unicamp foi demonstrado através dos números apresentados e o fortalecimento das relações universidade-empresa, e outros atores, pode fazer desta instituição um elo fundamental na construção de uma sociedade mais ecológica.

Apesar da literatura e dos próprios pesquisadores apontarem as oportunidades econômicas em explorar uma trajetória eco-inovativa, existem entraves que não dizem respeito somente à questões técnicas, mas à percepção do problema ambiental por parte da comunidade científica e empresarial. Uma profícua linha de pesquisa seria identificar quais as principais dificuldades encontradas na disseminação e implementação de projetos eco-inovativos.

Tangente à isso, quais os mecanismos de regulação/controle que poderiam estimular o incremento da adoção de eco-inovações. Todavia esta discussão não poderia deixar de considerar a questão dos limites do papel da tecnologia na construção da sustentabilidade.

Neste sentido, a teoria econômica da inovação deve manter-se alinhadas às recentes medições de limites tal qual experiências como o cálculo da pegada ecológica, e

outros, que indiquem quão longe (ou perto) estamos do nosso *throughput* ideal (se é que isto pode ser mensurado). Estas medidas poderiam direcionar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias no sentido de reduzir o "peso" ambiental de uma sociedade.

A respeito do estudo das eco-patentes nas universidades, esta pesquisa pode ser replicada para as instituições de um estado ou país, bem como comparar o desempenho de duas ou mais instituições. Contudo, é importante observar que à medida que se aplica o número de patentes a ser analisada o método direto se torna inviável, sendo crucial o desenvolvimento e aprimoramento de mecanismos de busca que efetivamente traduzam o potencial ecológico de uma instituição.

Bibliografia

ALIER, M. J. *Da economia ecológica ao ecologismo popular*. Blumenau: Editora da FURB. 1998.

ALMEIDA, L. T. *Política ambiental: uma análise econômica*. São Paulo : Papirus, 1998.

ALTIERI, M. A**.** *Agroecologia: as bases científicas para uma agricultura sustentável*. Guaíba: Agropecuária, 2002.

AMAZONAS, M. de C. (1994), *Economia do Meio Ambiente: uma análise da abordagem Neoclássica a partir de marcos Evolucionistas e Institucionalistas*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia - Unicamp.

ANDERSEN, M. M. (2005) *Eco-innovation indicators*, Background paper for the workshop on eco- innovation indicators, EEA Copenhagen, September 29, 2005

ANDRADE, D. C. & ROMEIRO. A. R. *Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma "Economia dos Ecossistemas"*. Texto para Discussão. IE/UNICAMP n. 159, maio 2009

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

BARROS, V. B. *A matriz energética mundial e a compteitivadade das nações*. In: **ENGEVISTA**, v. 9, n. 1, p. 47-56, junho 2007

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R. & HARPER, J.L. *Ecologia de indivíduos a ecossistemas*. Porto Alegre: Artmed Editora S/A. 2007.

BEISE-ZEE, M. & RENNINGS, K. (2005), *Lead Markets and Regulation: A Framework for Analyzing the International Diffusion of Environmental Innovation*, **Ecological Economics** 52/1, 5-17

BERCOVITZ, J. & FELDMANN, M. *Entrepreneurial Universities and Technology Transfer: A Conceptual Framework for Understanding Knowledge-Based Economic Development*. **Journal of Technology Transfer**, 31: 175–188, 2006.

BERCOVITZ, J. & FELDMANN, M. (2007) *Academic entrepreneurs and technology transfer: who participates and why?* Perspectives on Innovation, Cambridge University Press. 381-398.

BERCOVITZ, J; FELDMAN, M; FELLER, I. & BURTON, R. *Organizational Structure as a Determinant of Academic Patent and Licensing Behavior: An Exploratory Study of Duke, John Hopkings and Pennsilvanya State Universities.* **Journal of Technology Transfer**; 26, 21-35. 2001

CAVALVANTI, C. *Condicionantes Biofísicos da Economia e Suas Repercussões Quanto à Noção do Desenvolvimento Sustentável*. In Ademar Romeiro, Bastiaan Philip Reydon e Maria Lúcia Leonardi (orgs.), **Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão de Espaços Regionais**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia (IE/UNICAMP), 1997, pp. 61-82

CLEFF, T. & RENNINGS, K. Determinants of Environmental Products and Process Innovation. European Environment, Vol. 9: 191-201. 1999.

CLEVELAND, C. J. *Biophysical constraints to economic growth*. In: D. Al Gobaisi, Editor-in-Chief. **Encyclopedia of Life Support Systems**. EOLSS Publishers Co., Oxford, UK. 2003.

COHEN, W.M.; NELSON, R.R. & WALSH, J.P. *Protecting Their Intellectual Assets: Apropriability Conditions and Why US Manufacturing Firms Patent (or Not)*, NBER Working Paper No. W7552, 2000.

COHEN, W. M.; GOTO, A.; NAGATA, A.; NELSON, R. R. & WALSH, J. P. *R&D spillovers, patents and the incentives to innovate in Japan and the United States*. **Research Policy** 31 (2002) 1349–1367.

COHEN, W. & SAUERMAN (2007). In perpspectives of innovations. *Schumpeter's Prophecy and Individual Incentives as a Driver of Innovation*. in MALERBA, F. & BRUSCONI, S. **Perspectives on Innovation**, Cambridge University Press. 73-104.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

CRUZ, C. & MELLO, L. *Boosting Innovation Performance in Brazil*. Economics Department Working Paper No. 532. ECO/WKP(2006)60

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

DALY, H.. & FARLEY, J. *Ecological Economics: Principles and application*. Washington: Island Press, 2004.

DAVID, P. & HALL, B. (2006) *Property and the pursuit of knowledge: IPR issues affecting scientific research*, **Research Policy**, 35:6, pp. 767-771

DOSI, G. *Technical paradigms and technological trajectories – a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.* **Research Policy**, vol.11, no.3. 1982.

DOSI, G & GRAZZI, M. *Energy, Development and the Environment: An Appraisal Three Decades After the 'Limits of Growth" Debate*. Laboratory of Economics and Management Sant'Anna School of Advanced Studies: Working Paper Series, May, 2006.

DOSI, G. & NELSON, R. *Technical Change and Industrial Dynamics as Evolutionary Process*. **LEM Working Paper 2009/07**. August, 2009.

FERNANDES, A. C; CAMPELLO DE SOUZA, B; STANFORD DA SILVA, A; SUZIGAM, W; CHAVES, C. V. & ALBUQUERQUE, E. **Academy–industry links in Brazil: evidence about channels and benefits for firms and researchers.** *Science and Public Policy*, 37(7), August 2010, pages 485–498

FREEMANN, C. *Japan: A new national innovation system?* In: DOSI, G.; FREEMANN, C.; NELSON, R. R.; SILVERBERG. G. & SOETE, L. **Technology and economy theory**, London: Pinter. 1988.

FREEMAN, C., *The Economics of Technical Change*, **Cambridge Journal of Economics**, 18, 463-514. 1994

GIBSON, R.B. *Favoring the higher test: contribution to sustainability as the central criterion for reviews and decisions under the Canadian environmental assessment act*. **Journal of Environmental Law and Practice**, Vol. 10, No.1, pp.39–55, 2000.

GONZÁLEZ, P. R. *The empirical analysis of the determinants for environmental technological change: A research agenda*. **Ecological Economics**, vol. 68, 3, pages 861-878, 2009.

GÖKTEPE-HULTÉN, D. *Academic inventors and research groups: Entrepreneurial cultures at universities*. **Science and Public Policy**, 35(9), November 2008, pages 657–667

GRILICHES, Z. (1990) *Patent statistics as economic indicators: a survey*. **Journal of Economic Literature**, v. 28, Dec.

GULLO, L. & GUERRANTE, R. *Maiores depositantes de pedidos de patentes no Brasil, com prioridade brasileira. (Publicados em 1999 a 2003)*. Disponível em: http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/informacao/estudos_html. 2006.

HASCIC, I.; JOHNSTONE, N.; & OSTERTAG, K. *Environmental policy, technological innovation and patent activity*. In: **Working Party on National Environmental Policies.** ENV/EPOC/WPNEP(2007)5/FINALOCDE. Paris: 2007.

HOFFMANN, E; ANKELE, K. & RENNINGS, K. (2006), *Product innovation impacts of EMAS: results of case studies and a survey of German firms validated according to the EU environmental management and auditing scheme*, **The Journal of Sustainable Product Design** 3, 93-100.

HOLMBERG, J., K-H. ROBÈRT,& K. E. ERIKSSON. *Socio-ecological principles for sustainability*. In: **Getting down to earth: practical applications of ecological economics**, R. Costanza et al. eds. Washington D.C.: Island Press. 1996.

HUSSEIN, A. M. *Principles of Environmental Economics*. Routledge: Oxford. 2004.

INDICADORES de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008. Rio de Janeiro: IBGE. 2008.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Summary for policymakers*. *In*: SOLOMON, S. *et al*. **Climate change 2007: the physical science basis**. **Contribuição do *working group* I para o *fourth assessment report* do IPCC**. Cambridge, Reino Unido, e Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press, 2007. pp. 1 – 18.

IBGE, *Índice de Desenvolvimento Sustentável*, Rio de Janeiro. 2010.

JACKSON, T. *Prosperity without Growth, Report from the Sustainable Development Commission.* London, England: United Nations University Press, 2009.

KATZ, J. (1974), *Importación de tecnología, aprendizaje local e industrialización dependiente*, México, D.F., Fondo de Cultura Económica.

KEMP, R., *Environmental Policy and Technical Change. A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*. Cheltenham: Edward Elgar, 1997.

KEMP, R. & VAN DEN BERGH, J., *Economics and Transitions: Lessons from Economic Sub-disciplines*. UNU-MERIT Working Paper Series 038, United Nations University, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology. 2006.

KEMP, R. & ARUNDEL, A. *Survey indicators for environmental innovation*. IDEA Paper, number 8, 1998.

KEMP, R; SMITH K. & BECHER G. *How should we study the relationship between environmental regulation and innovation?* In: HEMMELSKAMP, J. RENNINGS, K. & LEONE, F. **Innovation-Oriented Environmental Regulation: Theoretical Approaches and Empirical Analysis**. Physical Verlag: Heidelberg, 2000.

LABANDEIRA, X., LEON, C. & VASQUEZ, M.X. (2006) *Economía Ambiental* (Environmental Economics). Pearson, Madrid.

LABYS, (2004). *Dematerialization and Transmaterialization: What Have We Learned?* Research paper 2004-1. WVU Regional Research Institute. Research Paper Series.

LALL, S. (1992). *Technological capabilities and industrialization*. **World Development**, *20*(2), 165-186.

LANJOUW, J. O. & MODY, A. *Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology*. **Research Policy,** 25 (1996) 549-571

LANJOUW, J. O., PAKES, A. & PUTNAM, J. (1998), *How to Count Patents and Value Intellectual Property: Uses of Patent Renewal and Application Data*, **The Journal of Industrial Economics**, Vol. XLVI, No. 4, December, pp. 405-433

LUNDVALL, B. *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*, London: Pinter, 1992

MALERBA, F. & ORSENIGO, L. (1993), *Technological Regimes and Firm Behavior*, **Industrial and Corporate Change**, 2, 45-74.

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

MEADOWS, D. et al. *The Limits of Growth*. Londres: Potomac, 1974

MEYERS, S. & MARQUIS, G. *Successful industrial innovations*. Washington, D.C.: National Science Foundation, 1969.

MOWERY, D. & ROSENBERG, N. (1979), *The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies*. **Research Policy**, v. 8, p. 102-153, abr.

MOWERY, D. & SAMPAT, B. N. (2004). *Universities in national innovation systems*. In: **The Oxford Handbook of Innovation** Fagerberg, D. Mowery and R. Nelson. Oxford, OUP: 209–239.

MOWERY, D. NELSON, R. SAMPAT, B. & ZIEDONIS, A. *Ivory Tower and Industrial Innovation: University-Industry Technology Transfer Before and After the Bayh-Dole Act*. Palo Alto, Calif.: Stanford Business Books, 2004. xiv + 241 pp.

NOBRE, M; AMAZONAS, M. *Desenvolvimento Sustentável: Institucionalização de um conceito*. Brasilia: Ed Ibama, 2002.

NELSON, R., WINTER, S. *An evolutionary theory of economic change,* Cambridge: Belknap Press, 1982.

NELSON, R. *National innovation systems: a comparative analysis*. Oxford: Univ. Press, 1993.

NELSON, R.; ROSENBERG, N. Technical innovation and national systems. In: NELSON, R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University, 1993. p. 3-21.

NUNES, J. & OLIVEIRA, L. *Universidades Brasileiras - Utilização do Sistema de Patentes de 2000 a 2004.* Disponível em: http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/informacao/estudos_html. 2007

OCDE. Manual de Oslo. 2004.

OECD (1999), Managing National Innovation Systems, OECD, Paris.

OECD, *Work on Innovation - Science and Technology Policy A Stocktaking of Existing Work*. STI Working Paper. 2009a.

OECD, *Patent Statistics Manual*. OCDE publishing. Paris. 2009b. 158 Pgs.

OLTRA, V; KEMP, R. & DE VRIES, F. *Patents as a measure for eco-innovation.* Report for MEI project Deliverable 9 Final version of June 3, 20

ORESKES, N. *The scientific consensus on climate change*. **Science**, v. 306, p. 1686, 2004.

PATEL, P.; PAVITT, K. (1994) *The continuing, widespread (and neglected) importance of improvements in mechanical technologies*. **Research Policy**, v. 23, p. 533-545.

PATEL, P. & PAVITT, K. (1995) *Patterns of technological activity: their measurement and interpretation*. In: STONEMAN, P. (ed.) **Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change**. Oxford: Blackwell.

PAVITT, K. *R&D, patenting and innovative activities: A statistical exploration.* **Research Policy** I I (1982) 33-51.

PAVITT, K. (1988), *Uses and Abuses of Patent Statistics*, in A.F.J. van Raan (ed.), **Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology**, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

POPP. D (2005) *Using the triadic patent family database to study environmental innovation*. **OECD Environment Directorate working paper**. OECD, Paris, France.

PORTER, M.E., & VAN DER LINDE, C. *Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship*. **Journal of Economic Perspectives**, 9(4): 97-118. 1995.

RENNINGS, K. *Redefining Innovation - Eco-Innovation Research and the Contribution from Ecological Economics*, **Ecological Economics** 32, 319 - 332. 2000.

ROCKSTROM, et. al. (2009) *Planet Boundaries: exploring the safe operating space for humanity.* **Ecology and Society 14**(2): 32.

ROEGEN, G. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process,* Cambridge, MA: Harvard University Press

ROMEIRO, A. R. & SALLES FILHO, S. *Dinâmica de inovações sob restrição ambiental*. In: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L.A. (Orgs.). **Economia do meio Ambiente: teoria, política e a gestão de espaços regionais.** Campinas: Instituto de Economia/Universidade Estadual de Campinas, 2001. p. 85-124. 2001

ROMEIRO, A. R. *Economia ou economia política da sustentabilidade?* Texto para Discussão. IE/UNICAMP n. 102, set. 2001.

ROMEIRO, A. R. *Economia ou economia política da sustentabilidade*. In MAY, P. H; LUSTOSA, M. C. & VINHA V. **Economia do meio ambiente; teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003

ROSENBERG, N. *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press, Cambridge. 1982

SALLES-FILHO, S.; BONACELLI, M. B. & MELLO, D. *Metodologia para o Estudo da Reorganização Institucional da Pesquisa Pública*. **Parcerias Estratégicas**, n° 9. Outubro de 2000.

SALLES-FILHO, S. L. M. & BONACELLI, M. B. M. *Trends in the organization of public research institutions: lessons from Brasilian case*. **Science and Public Policy**, 37 (3), April 2010

SARTORIUS, C. *Second-order sustainability—conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment*. **Ecological Economics** 58. 268– 286. 2006.

SAVIOTTI, P. P. & METCALFE, J. S. (1991) *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change: Present Status And Future Prospects*, Harwood Academic Publishers.

SILVA, M. *Economia dos recursos naturais*. In MAY, P. H; LUSTOSA, M. C; VINHA, V. **Economia do meio ambiente.** 2ª edição. Rio de Janeiro/RJ: Elsevier, 2003

SOLOW, R. M. (1974). *The Economics of Resources or the Resources of Economics*. Richard T. Ely Lecture, American Economic Review: 1-14

SOLOW, R. M. (1997). *Georgescu-Roegen versus Solow-Stiglitiz.* **American Economic Review**, American Economic Association, vol. 87 (2), p. 433-435, Mat.

STERN. N. *What is the Economics of Climate Change?* **World Economics**, v. 7, n° 2, p. 1- 10, 2006

SUZIAGN, W. & ALBUQUERQUE, E. M. *A interação entre universidade e empresas em perspectiva histórica no Brasil*. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2008

VEIGA, J. *Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond, 2006

VEIGA, J. *Indicadores para a Governança Ambiental.* VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza, 2007.

WAGNER. M. (2008) *The Link between Environmental Innovation, Patents, and Environmental Management*. DRUID Working Paper No. 07-14.

VELHO L; VELHO P. & SAENZ T. *P&D nos setores públicos e privados do Brasil. Complementares ou Substitutos?* **Parcerias estratégicas**, número 19. Dezembro de 2004.

Apêndice I- Modelo de Entrevista Aplicado aos Pesquisadores da Unicamp

Eco-Inovação.
Entrevista a ser aplicada aos pesquisadores da Unicamp que se destacaram na geração de inovações sustentáveis.

Segundo a teoria econômica o desenvolvimento tecnológico/inovação é determinado, majoritariamente, pela demanda, oferta (entendida como o avanço científico) ou por uma combinação dinâmica de ambos os fatores. De acordo com a percepção do pesquisador quais desses são mais decisivos (hierarquizar em uma escala de 1 a 3)?

( ) Demanda de empresas e sociedade
( ) Avanço da ciência
( ) Determinação mútua (múltipla determinação)

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Considerando a influência da demanda, quais fatores são mais relevantes para a geração dessas inovações (hierarquizar em uma escala de 1 a 4)?

( ) Novo marco regulatório mais direcionado ao controle ambiental
( ) Mudança na preferência do consumidor
( ) Conscientização ambiental por parte das empresas
( ) Conscientização ambiental por parte dos pesquisadores

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Dentre as fontes de financiamento utilizadas para o desenvolvidos das eco-patentes, quais as mais relevantes (hierarquizar em uma escala de 1 a 4)?

( ) Interna ao departamento
( ) FAPESPE
( ) Cnpq
( ) Parceria com a iniciativa privada

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Dessas fontes utilizadas, havia alguma especificamente destinada à geração de tecnologias limpas?

( ) Sim
( ) Não

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Estas inovações estão diretamente relacionadas ao interesse/formação acadêmica do inventor (Mestrado, Doutorado, Pós-Doutorado)?

( ) Sim
( ) Não

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Essa inovação é resultado de alguma política pública específica?

( ) Sim
( ) Não

Comentários:_____
_____
_____
_____
_____

Levantar outros fatores que influenciaram a geração dessas inovações/patentes. Em algum momento foi considerado o potencial mercadológico da mesma?

_____
_____
_____
_____
_____

Anexo I – Lista de Sistemas Terrestres e seus Limites

Earth System process	Control variable	Threshold avoided or influenced by slow variable	Planetary Boundary (zone of uncertainty)	State of knowledge*
Climate change	Atmospheric CO_2 concentration, ppm; Energy imbalance at Earth's surface, W m^{-2}	Loss of polar ice sheets. Regional climate disruptions. Loss of glacial freshwater supplies. Weakening of carbon sinks.	Atmospheric CO_2 concentration: 350 ppm (350-550 ppm) Energy imbalance:+1 W m^{-2} (1.0 – 1.5 W m^{-2})	1. Ample scientific evidence. 2. Multiple sub-system thresholds. 3. Debate on position of boundary.
Ocean acidification	Carbonate ion concentration, average global surface ocean saturation state with respect to aragonite (Ω_{arag})	Conversion of coral reefs to algal-dominated systems. Regional elimination of some aragonite- and high-magnesium calcite-forming marine biota Slow variable affecting marine carbon sink.	Sustain ≥ 80 % of the pre-industrial aragonite saturation state of mean surface ocean, including natural diel and seasonal variability (≥80 % - ≥70 %)	1. Geophysical processes well-known. 2. Threshold likely. 3. Boundary position uncertain due to unclear ecosystem response.
Stratospheric ozone depletion	Stratospheric O_3 concentration, DU	Severe and irreversible UV-B radiation effects on human health and ecosystems.	<5% reduction from pre-industrial level of 290 DU (5 - 10 %)	1. Ample scientific evidence. 2. T hreshold well established. 3. Boundary position implicitly agreed and respected .
Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis	Disruption of monsoon systems. Human health effects. Interacts with climate change and freshwater boundaries.	To be determined	1. Ample scientific evidence. 2. Global threshold behaviour unknown. 3. Unable to suggest boundary yet.
Biogeo-chemical flows: interference with P and N cycles	P: inflow of phosphorus to ocean, increase compared to natural background weathering N: amount of N_2 removed from atmosphere for human use, Mt N yr^{-1}	P: avoid a major oceanic anoxic event (including regional), with impacts on marine ecosystems. N: slow variable affecting overall resilience of ecosystems via acidification of terrestrial ecosystems and eutrophication of coastal and freshwater systems.	P: < 10× (10× - 100×) N: Limit industrial and agricultural fixation of N_2 to 35 Mt N yr^{-1}, which is ~ 25% of the total amount of N_2 fixed per annum naturally by terrestrial ecosystems (25- 35%)	P: (1) Limited knowledge on ecosystem responses; (2) High probability of threshold but timing is very uncertain; (3) Boundary position highly uncertain. N: (1) Some ecosystem responses known; (2) Acts as a slow variable, existence of global thresholds unknown; (3) Boundary position highly uncertain.
Global freshwater use	Consumptive blue water use, km^3 yr^{-1}	Could affect regional climate patterns (e.g., monsoon behaviour). Primarily slow variable affecting moisture feedback, biomass production, carbon uptake by terrestrial systems and reducing biodiversity	< 4,000 km^3 yr^{-1} (4,000 - 6,000 km^3 yr^{-1})	1. Scientific evidence of ecosystem response but incomplete and fragmented. 2. Slow variable, regional or subsystem thresholds exist. 3.. Proposed boundary value is a global aggregate, spatial distribution determines regional thresholds
Land system change	Percentage of global land cover converted to cropland	Trigger of irreversible & widespread conversion of biomes to undesired states. Primarily acts as a slow variable affecting carbon storage and resilience via changes in biodiversity and landscape heterogeneity	≤ 15% of global ice-free land surface converted to cropland (15 – 20%)	1. Ample scientific evidence of impacts of land cover change on ecosystems, largely local and regional. 2. Slow variable, global threshold unlikely but regional thresholds likely. 3. Boundary is a global aggregate with high uncertainty, regional distribution of land system change is critical.
Biodiversity loss	Extinction rate , extinctions per million species per year (E/MSY)	Slow variable affecting ecosystem functioning at continental and ocean basin scales. Impact on many other boundaries – C storage, freshwater, N and P cycles, land systems. Massive loss of biodiversity unacceptable for ethical reasons.	< 10 E/MSY (10 – 100 E/MSY)	1. Incomplete knowledge on the role of biodiversity for ecosystem functioning across scales. 2. Thresholds likely at local and regional scales 3. Boundary position highly uncertain.
Chemical pollution	For example, emissions, concentrations, or effects on ecosystem and Earth system functioning of persistent organic pollutants (POPs), plastics, endocrine disruptors, heavy metals, and nuclear wastet.	Thresholds leading to unacceptable impacts on human health and ecosystem functioning possible but largely unknown. May act as a slow variable undermining resilience and increase risk of crossing other threshold.	To be determined	1. Ample scientific evidence on individual chemicals but lacks an aggregate, global-level analysis. 2. Slow variable, large-scale thresholds unknown. 3. Unable to suggest boundary yet.

Fonte: Rockstrom et. al. 2009.

Anexo II – Lista de Eco-Patentes da Unicamp

PI8905035-5
PI9003351-5
PI9103528-7
PI9105181-9
PI9202145-0
PI9301190-3
PI9301378-7
PI9302589-0
PI9504705-0
PI9601599-3
PI9601600-0
PI9601601-9
PI9601686-8
PI9604172-2
PI9604468-3
PI9702823-1
PI9802642-9
PI9803055-8
PI9804165-7
PI9804166-5
PI9900502-6
PI9904004-2
PI0002329-9
PI0002119-9
PI0002455-4
PI0002363-9
PI0003424-0
PI0004093-2
PI0004236-6
PI0004738-4
PI0004986-7
PI0004987-5
PI0004988-3
PI0004989-1
PI0005589-1
PI0005590-5
PI0100257-0
PI0100576-6
PI0101013-1
PI0102556-2
PI0203017-9
PI0203124-8
PI0204008-5
PI0204123-5
PI0205153-2
PI0205154-0
PI0205155-9
PI0300090-7
PI0300184-9
PI0301193-3
PI0301194-1
PI0301282-4
PI0302273-0
PI0303687-1
PI0303853-0
PI0303983-8
PI0303985-4
PI0305589-2
PI0403713-8
PI0403714-6
PI0404146-1
PI0404257-3
PI0404382-0
PI0404588-2
PI0405686-8
PI0500177-3
PI0500712-7
PI0503618-6
PI0501652-5
PI0502243-6
PI0502244-4
PI0502245-2
PI0502246-0
PI0502267-3
PI0502309-2
PI0502311-4
PI0502764-0
P 05 010 3600
EP1807475-A2
PI0504349-2
PI0605425-0
PCT/BR2006/000277
PI0703838-0
PI0700623-3
PI0701341-8
PI0701773-1
PCT/BR2007/000122
PCT/BR2007/000132
PI0701953-0
PI0702137-2
PI0702140-2
PI0702141-0
PI0706009-2
PI0706080-7
PCT/BR2007/000204
US2008038556
PCT/BR2007/000233
PI0703801-1
PI0706115-3
PI0705744-0
PI0802259-3

Continuação

PI0102823-5	PI0505217-3
PI0200354-6	PI0506643-3
PI0201376-2	PI0602512-9
PI0201377-0	PI0600105-0
PI0201464-5	PI0600457-1
PI0201465-3	PI0600460-1
PI0201054-2	PI0600674-4
PI0202608-2	PI0601975-7
PI0201487-4	PI0602099-2
PI0202611-2	PI0603857-3
PI0202300-8	PI0603305-9
PI0202894-8	PI0603833-6
PI0203015-2	PI0604057-8

Anexo III – Proposta de Combinação de Palavras-Chave e Classificação Internacional de Patentes

(1) *Industrial air pollution. Keywords: treat, scrub, remove*			
B01D-53/34	Chemical purification of waste gases	85	24958
B01D-53/36	Chemical purification of waste gases by catalytic conversion	53	7649
C10K-1/3	Purifying/modifying gases containing carbon monoxide	60	4088
		100	1177
C10L-3	Adding materials to fuels or fires to reduce smoke	0	1166
F23B-5	Burning uncombusted material...	33	796
F23J-3	Removing solid residues i.e. soot blowers	80	1751
F23j-15	...devices for treating smoke or fumes	57	4026
		63	45611
(2) *Water pollution. Keywords: treat, waste, sew*			
C02F-1	Treatment of water, waste water, sewage	53	37756
C02F-3	Biological treatment of water, ww, sewage	88	17419
C02F-7	Aeration of stretches of water	80	676
C02F-9	Multistage treatment of water, ww, sewage	71	2342
E03F	Sewers; cesspools	38	12176
		62	70369
(3) *Vehicle air pollution. Keywords: exhaust*			
F01N-3	...apparatus for purifying, treating exhaust	88	16528
F01N-5	Exhaust, devices profiting by exhaust...	100	892
		89	17420
(4) *Solid waste. Keywords: treat, waste, refus, garbage, remov*			
B02C-8/40	Disintegrating by knives, disin. garbage	100	1919
B09B	Disposal of solid waste	77	5481
B65F	Gathering or removal of refuse	73	13279
C10B-53	Distructive distillation – solid materials	75	3268
		75	23947
(5) *Incineration of waste. Keywords: incineration, waste*			
F23B-7	...other solid fuel combustion apparatus	44	895
F23G-5	Incineration of waste	67	9177
F23G-7	Incinerators... for industrial waste	79	8139
		64	18211
(6) *Alternative energy. Keywords: wind, solar, waste, fuel, heat*			
C10J	Production of gas from carbonaceous...	53	11318
E04D 13/18	Roof covering aspects of energy collectors	100	344
F03D	Wind motors	76	8412
F24J-2	Use of solar heat eg. solar collectors	49	5294
		57	25368
(7) *Oil spills. Keywords: remove, spill*			
E02B-15/04	Cleaning the surface of open water from oil	55	4799
		55	4799

(8) *Radioactive waste. Keywords: hazard, radioactive*			
0G21F-9	... treating radioactively contaminated material	62	15080
		62	15080
(9) *Recycling and reusing waste. Keywords: recycl, reus, recover, waste, refuse*			
A23K-1/06	Feeding-stuffs from brewers waste	100	387
A23K-1/08	Feeding-stuffs from waste of diary plants	0	466
B29B-17/00	Recovery of waste plastics	25	1047
B30B-9/32	Consolidating scrap, compacting used cars	67	1275
C04B-7/24	Hydraulic cements from residues or wate	100	315
C04B-11/26	Cements from phosphogypsum or waste	100	195
C05F	... Fertilizers from waste	24	10031
C08J-11	Recovery or working up of waste materials	44	2299
C10L-5/46	Solid fuels based on sewage	0	381
C10M-11/00	Working up used lubricants based on oils	100	1088
C22B-7	Working up raw materials other than ores	46	5113
D21B-1/32	Defibrating waste paper	25	721
D21C-11	Regeneration of pulp liquors	56	3795
D21F-1/66	Re-use of pulp-water	40	694
		42	27787

Fonte: Lanjow & Mody, 1996.

Anexo IV – Primeira página de um pedido de patente.

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0702137-2 A**

(22) Data de Depósito: 28/06/2007
(43) Data de Publicação: **16/09/2008**
(RPI 1967)

(51) Int. Cl.:
C07C 31/02 (2008.04)
C07B 41/02 (2008.04)

(54) Título: **PROCESSO SIMPLIFICADO DE OBTENÇÃO DE POLICOSANOL A PARTIR DE CERA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

(71) Depositante(s): MEGH - Industria e Comércio Ltda (BR/SP) , Usina São Francisco S.A. (BR/SP) , Universidade Estadual de Campinas (BR/SP)

(72) Inventor(es): Cláudia Helena Ribeiro do Rozário

(74) Procurador: Tinoco Soares & Filho Ltda.

(57) Resumo: PROCESSO SIMPLIFICADO DE OBTENÇÃO DE POLICOSANOL A PARTIR DE CERA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Apresenta um processo simples e otimizado, a partir do qual se obtém policosanol a partir de cera de cana-de-açúcar; entre as vantagens observadas, nota-se que uma das principais está relacionada ao tempo e simplicidade de cada etapa envolvida no processo, tornando-se apropriado para produção em larga escala; outra vantagem que pode ser citada se refere ao alto grau de pureza do produto obtido.