



NUMERAÇÃO:244/2011
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Guilherme de Oliveira Marques

Janelas de Oportunidade para *Catching Up* Tecnológico: perspectiva e desafios a empresas brasileiras frente ao advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Política Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo de M. P. Furtado

Campinas - SP
Março/2011

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

M348j Marques, Guilherme de Oliveira.
Janelas de oportunidade para Catching Up tecnológico : perspectiva e desafios a firmas brasileiras frente ao advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais / Guilherme de Oliveira Marques-- Campinas,SP.: [s.n.], 2011.

Orientador: João Eduardo de Moraes Pinto Furtado.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Biotecnologia - Indústria. 2. Organização industrial. 3. Progresso tecnológico. I. Furtado, João Eduardo de Moraes Pinto. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês: Window of opportunity for technological Catching Up: perspectives and challenges that Brazilian firms face in the face of the advent of new biotechnological routes to development and manufacture chemicals.

.Keywords: - Biotechnology - Industry;
- Industrial organization;
- Technological progress.

Área de concentração:

Titulação: Mestre em Política Científica e Tecnológica.

Banca examinadora: - João Eduardo de Moraes Pinto Furtado;
- Mauro Zackiewicz;
- Marcelo da Silva Pinho.

Data da defesa: 18/03/2011

Programa de Pós-graduação em PC&T – Política Científica e Tecnológica



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

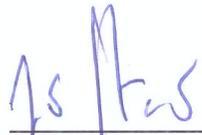
AUTOR: Guilherme de Oliveira Marques

“Janelas de Oportunidade para Catching Up Tecnológico: perspectiva e desafios a empresas brasileiras frente ao advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais”

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Eduardo de Moraes Pinto Furtado

Aprovada em: 18 / 03 / 2011

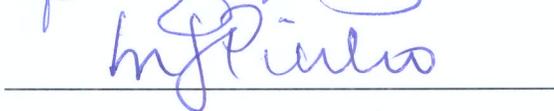
EXAMINADORES:

Prof. Dr. João Eduardo de Moraes Pinto Furtado  Presidente

Prof. Dr. Mauro Zackiewicz



Prof. Dr. Marcelo Silva Pinho



Campinas, 18 de março de 2011.

O homem que pensa
Tem a fronte imensa
Tem a fronte pensa
Cheia de tormentos.
O homem que pensa
Traz nos pensamentos
Os ventos preclaros
Que vêm das origens.
O homem que pensa
Pensamentos claros
Tem a fronte virgem
De ressentimentos.
Sua fronte pensa
Sua mão escreve
Sua mão prescreve
Os tempos futuros.
Ao homem que pensa
Pensamentos puros
O dia lhe é duro
A noite lhe é leve:
Que o homem que pensa
Só pensa o que deve
Só deve o que pensa.

(Vinícius de Moraes)

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e avós, por terem apoiado em todos os sentidos minha formação;

Agradeço ao amigo e orientador João Furtado, pela confiança e pelas oportunidades concedidas;

Agradeço ao pessoal do Grupo de Estudos em Inovação e Desenvolvimento da Escola Politécnica da USP, pelas profícuas discussões que alimentaram este esforço de pesquisa;

Agradeço a Eduardo Urias, pela amizade e pelas contribuições impagáveis a este trabalho e a minha formação;

Agradeço a André Drummond, pelo inestimável apoio à construção dos indicadores utilizados;

Agradeço aos colegas, professores e pesquisadores do DPCT que de alguma forma participaram deste trabalho, em especial aos membros de minha banca de qualificação, Mauro Zackiewicz e Sérgio Queiroz;

Agradeço ao pessoal da secretaria de pós-graduação do DPCT pela solicitude; e

Agradeço a Ana Luiza pela ajuda, pela paciência e pelo amor incondicionais.

Capítulos, Itens e Subitens

1 Introdução.....	p.1
1.1 Contextualização: o surgimento da bioeconomia e das novas rotas biotecnológicas para produção de químicos industriais.....	p.1
1.2 Biotecnologia Branca: A produção de químicos de alto valor agregado.....	p.9
1.3 – Problema de pesquisa, justificativa e método de análise utilizados.....	p.15
2 - Surgimento da bioeconomia e da rota biotecnológica para produção de químicos industriais: análise das oportunidades e desafios para <i>catching up</i> de firmas brasileiras.....	p.19
2.1 Breve caracterização da dinâmica inovativa e de mercado da indústria química.....	p.19
2.2 Análise do surgimento da rota biotecnológica para produção de químicos industriais.....	p.23
2.2.1 O surgimento das novas rotas biotecnológicas para desenvolvimento e produção de químicos industriais: análise da existência e da magnitude de uma janela de oportunidades para <i>catching up</i> tecnológico.....	p.32
2.2.2 Caracterização do fenômeno e abordagem aos desafios tecno-científicos colocados para empreendimento de atividades inovativas em biotecnologia branca.....	p.37
2.2.3. O papel de firmas incumbentes como entes geradores de inovações de ruptura.....	p.41
3. Análise do posicionamento tecnológico de firmas brasileiras com relação a outros <i>players</i> na indústria química frente ao advento das novas rotas biotecnológicas.....	p.47

3.1.1 Metodologia.....	p.47
3.1.2 Construção das <i>queries</i> para biotecnologia, suas subdivisões e outros campos do conhecimento tecnológico.....	p.50
3.2 – Análise de alterações de ruptura nas dimensões do regime tecnológico na indústria química a partir do advento das novas rotas biotecnológicas e do posicionamento de firmas brasileiras incumbentes em comparação a grandes concorrentes internacionais selecionados.....	p.54
3.2.1 Análise de dimensões do padrão de atividades inovativas em biotecnologia branca e insights sobre a existência de uma janela de oportunidade para <i>catching up</i> tecnológico.....	p.55
3.2.1.1 Índice de Concentração.....	p.64
3.2.1.2 – Índice de Assimetria.....	p.68
3.2.1.3 – Índice de Tamanho científico médio das firmas que patenteiam.....	p.70
3.2.1.4 – Índice de Mudança ao longo do tempo na hierarquia inovativa.....	p.72
3.2.1.5 - Interpretação dos resultados dos indicadores relacionados ao regime tecnológico.....	p.74
3.2.2 Análise do posicionamento estratégico de firmas brasileiras incumbentes na indústria química e de grandes concorrentes frente o advento das novas rotas biotecnológicas.....	p.76
3.2.2.1 –Atividade patentária.....	p.90
3.2.2.2 – <i>Technology Share</i>	p.93
3.2.2.3 – Intensidade de cooperação.....	p.93
3.2.2.4 – Escopo Tecnológico Médio (Q1).....	p.97
3.2.2.5 – Escopo Internacional Médio (Q2).....	p.99

3.2.2.6 – Média Citações Recebidas (Q3).....	p.101
3.2.2.7 – Média de Artigos Científicos Citados (Q4).....	p.103
3.2.2.8 - Qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca.....	p.104
3.3 – Força do portfólio de patentes em biotecnologia branca.....	p.108
Conclusão.....	p.111
Referências Bibliográficas.....	p.117

Gráficos e Figuras

Gráfico 1.1 – Consumo mundial de produtos derivados do petróleo (1972 – 2008)	p.2
Figura 1.1 – Composição da biomassa de cana-de-açúcar	p.5
Figura 1.2 – Comparação entre refinaria convencional e biorrefinaria	p.8
Figura 1.3 – Esquematização de possíveis rotas em biotecnologia branca	p.10
Figura 1.4 - Família de Produtos Derivados do Açúcar	p.12
Gráfico 3.1 – Comparação de atividades de patenteamento em biotecnologia branca entre as firmas da amostra.....	p.92
Gráfico 3.2 – Qualidade Média do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca – Basf, Bayer, DuPont e Rhodia.....	p.106
Gráfico 3.3 - Qualidade Média do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca – Braskem, Dow, Ineos, Mitsubishi e Petrobras.....	p.107
Gráfico 3.4 – Força do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca	p.110

Quadros

Quadro 1.1 – Classificação da biotecnologia por campos de atuação	p.4
Quadro 3.1 – <i>Tags</i> utilizados para formação de <i>queries</i> na base Derwent	p.49
Quadro 3.2 – Possíveis <i>queries</i> para patentes em biotecnologia.....	p.50
Quadro 3.3 – Diferenças entre os dois grandes marcos de evolução industrial schumpeterianos.....	p.57
Quadro 3.4 – Características dos padrões de inovação típicos da destruição criativa e da acumulação criativa.....	p.61
Quadro 3.5 – Características e vantagens relacionadas às rotas alcoolquímica e biotecnológica.....	p.77
Quadro 3.6 – Atuação em rotas renováveis das firmas da amostra.....	p.87
Quadro 3.7 – Descrição dos indicadores de atividade, qualidade média e força do portfólio de patentes.....	p.89
Quadro 3.8 – Patenteadores de destaque em biotecnologia branca.....	p.94

Tabelas

Tabela 3.1 – Média de crescimento anual da atividade de patenteamento	p.64
Tabela 3.2 – Índice de Concentração	p.66
Tabela 3.3 – Índice de Assimetria	p.69
Tabela 3.4 – Índice de Tamanho Científico Médio	p.71
Tabela 3.5 – Posições inovativas hierárquicas de maior proeminência	p.72
Tabela 3.6 – Índice de Alteração na Hierarquia de Inovadores	p.73
Tabela 3.7 – Compilação dos indicadores de comparação de campos tecnológicos selecionados.....	p.74
Tabela 3.8 – Gastos em P&D	p.85
Tabela 3.9 – Atividade Patentária.....	p.91
Tabela 3.10 - Mercado tecnológico em biotecnologia branca.....	p.93
Tabela 3.11 – Atividade de co-patenteamento em biotecnologia.....	p.96
Tabela 3.12 – Escopo tecnológico médio.....	p.99
Tabela 3.13 – Escopo Internacional Médio.....	p.100
Tabela 3.14 – Média de citações recebidas.....	p.102
Tabela 3.15 – Média de artigos científicos citados.....	p.103
Tabela 3.16 – Qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca.....	p.105
Tabela 3.17 – Força do portfólio de patentes em biotecnologia branca.....	p.108



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GUILHERME DE OLIVEIRA MARQUES

O advento da chamada bioeconomia está vinculado a um crescente interesse por processos e produtos ambientalmente mais amigáveis, que sejam capazes de suficientemente preservar as condições de vida em nosso planeta. Este advento implica na necessidade de uma redução quantitativa na utilização dos atuais insumos produtivos e uma alteração qualitativa nesta matriz de insumos. Pela sua grande dotação de insumos produtivos renováveis e pela experiência no uso industrial dos mesmos, o Brasil pode ocupar papel central neste contexto.

Na indústria química, é exemplo deste advento a emergência das chamadas novas rotas biotecnológicas, pautadas no uso de recursos renováveis, em especial de biomassa, em contraposição ao modelo pautado no uso de recursos fósseis que, relativamente ao potencial desse método alternativo, é altamente poluente. O modelo capitaneado pelo uso de biotecnologias é representado pelas biorrefinarias, conceito paralelo ao de refinarias tradicionais que operam a base de recursos fósseis. Neste trabalho, é utilizado o termo biotecnologia branca para designar a aplicação deste tipo de tecnologia a produtos químicos, materiais e combustíveis.

O advento da biotecnologia, nos termos colocados, por se constituir em um evento de ruptura com relação ao atual modelo produtivo, pode se constituir em uma oportunidade para que firmas que possuam relativamente um menor comprometimento com o modelo tradicional venham a assumir uma posição inovativa e de mercado de maior proeminência. No entanto, a existência de oportunidades desta natureza deve ser vista com ressalvas, já que alguns ativos e competências constituídos no modelo anterior continuam possuem grande valor para realização de atividades inovativas e de produção em biotecnologia branca.

Este trabalho buscou analisar, em grande medida apoiado em indicadores derivados de patentes, o posicionamento estratégico de firmas brasileiras – Braskem e Petrobras – para aproveitamento destas oportunidades, frente ao de grandes concorrentes internacionais. A renovação do portfólio de competências e ativos, em consonância com o conceito de estratégias de *exploration*, é um dos principais meios pelos quais os líderes incumbentes podem consolidar suas posições, mesmo em face de um evento de ruptura que solape algumas de suas vantagens competitivas.

Como conclusão, a análise dos indicadores construídos revelou que as firmas brasileiras encontram-se mal posicionadas para aproveitamento das oportunidades derivadas do advento da biotecnologia branca, apesar de que a simples existência de patentes desta natureza de propriedade destas firmas revela a construção, mesmo que incipiente, de capacidades dinâmicas. As firmas brasileiras ocupam uma posição marginal na hierarquia inovativa relacionada a estas tecnologias, de modo que, apesar da existência da janela de oportunidades, o baixo acúmulo de ativos e competências impossibilita que estas firmas a aproveitem de forma mais robusta



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ABSTRACT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GUILHERME DE OLIVEIRA MARQUES

The advent of so-called bio-economy is linked to a growing interest in processes and products more environmentally friendly, which are able to sufficiently preserve the conditions of life on our planet. This advent implies the need of a quantitative reduction and a qualitative change in the use of production inputs. For its large endowment of renewable productive inputs and its experience in industrial use of them, Brazil may occupy a central role in this context.

In the chemical industry, it is example of this advent the emergency of the new biotechnological routes, which are governed by the use of renewable resources, especially biomass, that is less polluting of the model based on the use of fossil resources. The model captained by the use of biotechnology is represented by biorefineries, that is a parallel concept of the traditional refineries that operating based on fossil resources. In this paper, we use the term white biotechnology to describe the application of this technology to chemicals products, materials and fuels.

The advent of biotechnology, as it constitutes an event of breaking up with the current production model, can serve as an opportunity for firms that have relatively less commitment to the traditional model to assume an innovative and market position of greater prominence. However, the existence of such opportunities must be look with caution, since some assets and competencies established in the previous model still have great value for development of innovative activity and production in white biotechnology.

This study sought to analyze, largely supported by indicators derived from patents, the strategic positioning of firms in Brazil - Braskem and Petrobras - to take advantage of these opportunities, compared to large international competitors. The renewal of the portfolio of skills and assets, in line with the concept of exploration strategies, is a major means by which incumbent leaders can consolidate their positions, even in the face of a rupture event that will possible undermine some of its competitive advantages.

In conclusion, the analysis of indicators constructed revealed that Brazilian firms are poorly placed to take advantage of opportunities created by white biotechnology advent, despite the mere existence of such patent ownership by these firms reveals the building, even if incipient, of dynamic capabilities. Brazilian firms occupy a marginal position in the innovative hierarchy with respect to these technologies when measured by the strength of their patent portfolio, so that, despite the existence of a window of opportunity, they seem to be poorly prepared for their catch..

Capítulo 1: Introdução

1.1 - Contextualização: o surgimento da bioeconomia e das novas rotas biotecnológicas¹ para produção de químicos industriais

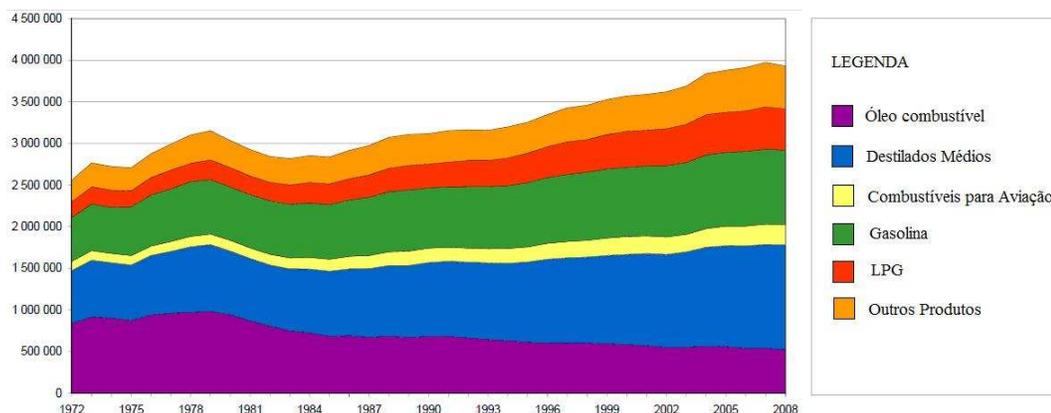
O conceito de desenvolvimento sustentável está baseado em fatores de suporte à vida e sociedade humana. Isto requer a preservação no longo prazo, em boas condições, de: (i) fatores ambientais essenciais à vida, como a biodiversidade, a potabilidade da água, a pureza do ar e a fertilidade do solo; (ii) recursos renováveis como a água, madeira e alimentos; (iii) competências tecnológicas para o desenvolvimento de alternativas ao esgotamento de recursos não-renováveis, como o petróleo, ou para o enfrentamento a desafios ambientais de grande alcance, como o aquecimento global. Uma das características fundamentais deste modelo é a redução quantitativa na utilização dos insumos produtivos, e a alteração qualitativa nos insumos utilizados, de modo a aumentar a sustentabilidade dos processos produtivos a partir, por exemplo, de uma diminuição no montante de poluição gerada por unidade de produto (OCDE, 2009).

No início do século XIX, recursos de origem renovável se constituíam na principal fonte de energia e de insumos aos processos produtivos. Com o advento da revolução industrial, o carvão se tornou rapidamente o principal insumo da indústria química, especialmente para a produção de corantes. Com o passar das décadas, a indústria química sofreu uma alteração em sua matriz de insumos, com substituição da utilização do carvão pela de petróleo. Os principais fatores que induziram esta mudança residem principalmente em vantagens de custo de processamento - embora estas não tenham sido imediatas, logística mais simples e maior versatilidade de usos possíveis devido às cadeias de hidrocarbonetos². Ademais, a expansão do uso de veículos automotores no século XX impulsionou fortemente o consumo de combustíveis derivados do petróleo.

¹ Segundo **EUROPABIO (2003)**, existe uma diferença fundamental entre a biotecnologia tradicional e a moderna. Na tradicional, como na fabricação de iogurte, por exemplo, os microrganismos utilizados não tem suas “rotas” normais de atuação modificadas, atuando como que em estado de natureza. Já nas novas rotas biotecnológicas, utilizam-se microrganismos estrategicamente modificados, a partir do emprego de técnicas como a engenharia genética, por exemplo.

²Fonte: Carnegie Mellon, History of Energy System. Disponível em <http://telstar.ote.cmu.edu/enviro/m3/s3/01history.shtml> . Acesso em 03/11/2010

Gráfico 1.1 – Consumo mundial de produtos derivados do petróleo (1972 – 2008)



Fonte: IEA Energy Statistics (2008) – Consumption of Oil Products, World

Em mudanças estruturais na matriz de insumos produtivos de determinada indústria, três fatores possuem importância central: (i) a disponibilidade de insumos alternativos; (ii) preços relativos entre diferentes insumos com possibilidades de substituição entre si frente ao seu impacto sobre a taxa de produção do produto final e; (iii) avanços nas tecnologias de processo. No entanto, é importante ressaltar que estes não são fatores isolados, mas, ao contrário, interdependentes. Avanços nas tecnologias de processo estão relacionados à disponibilidade segura de insumos alternativos no longo prazo, já que este é um fator central na justificção de um investimento inexoravelmente arriscado, dada a incerteza com relação aos resultados finais do esforço inovativo. Já os preços relativos (ii) podem depender de avanços nas tecnologias de processo, visto que um importante ponto para esforços de pesquisa e desenvolvimento nesta conjuntura é justamente a produção de insumos renováveis a taxas de produção mais robustas. Compreender esta dinâmica é fundamental para uma noção mais clara das reais vantagens competitivas de partida que alguns países e firmas possuem para atuação nas rotas baseadas em insumos renováveis.

O modelo produtivo pautado na utilização de insumos de fontes fósseis é, em geral, altamente poluente, principalmente no que se refere à emissão de CO₂, contribuindo para o agravamento do aquecimento global. Conseqüentemente, um dos problemas de pesquisa que tem recebido mais atenção da comunidade científica internacional é a análise do impacto dos atuais modelos produtivos e de consumo sobre as condições de vida em nosso planeta.

Do mesmo modo, diversas indústrias tem se voltado ao desenvolvimento e à intensificação de uso de novas tecnologias pautadas na utilização de insumos ambientalmente mais amigáveis. Segundo estudo do BNDES & CGEE (2008), a substituição de insumos de origem fóssil pelos renováveis nos processos produtivos pode contribuir fortemente para a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa. Adicionalmente, estes métodos produtivos alternativos consomem uma quantidade de energia muito inferior àquela utilizada na fabricação de produtos a partir de fontes tradicionais.

É neste contexto que se insere o desenvolvimento e a fabricação de produtos químicos a partir de fontes renováveis, especialmente aqueles pautados em novas rotas biotecnológicas de produção, objeto de pesquisa deste trabalho. Segundo Silveira & Borges (2004),

“o termo biotecnologia se refere a um conjunto amplo de tecnologias utilizadas em diversos setores da economia e que tem em comum o uso de organismos vivos (ou parte deles, como células e moléculas) para a produção de bens e serviços”. (p 18)

Este trabalho utiliza uma classificação lúdica das subdivisões da biotecnologia, de modo a tornar mais claro o recorte analítico que pauta este esforço de pesquisa. O Quadro X abaixo apresenta esta classificação

Quadro 1.1 – Classificação da biotecnologia por campos de atuação

Biotecnologia		
Tipo	Definição	Fonte
Branca	Biotecnologia aplicada a produtos químicos, materiais e combustíveis (neste trabalho, denominados doravante de química industrial)	EUROPABIO (2004) Industrial (white) biotechnology
Verde	Biotecnologia aplicada a produtos e processos agrícolas	EUROPABIO (2002) Green biotechnology - a help to the environment
Vermelha	Biotecnologia aplicada a produtos e processos farmacêuticos	EUROPABIO. What is healthcare biotechnology ?

Especificamente, nos voltamos à análise da chamada biotecnologia branca, ou seja, a aplicação de processos biológicos, especialmente o uso de microrganismos, a processos industriais a partir da utilização de biomassa, envolvendo mudanças estruturais em suas matrizes de insumos como anteriormente descrito.

O principal insumo deste novo modelo produtivo é a³ biomassa. É derivada de organismos vegetais – em sua maioria – ou animais. Pode ser classificada como residual, quando composta por resíduos florestais, agrícolas, municipais e industriais ou dedicada, quando composta por culturas aquáticas ou terrestres cultivadas com a finalidade específica de uso como insumo industrial.

No caso brasileiro, a fonte de biomassa com maior potencial para uso no curto prazo como insumo industrial é aquela derivada do processamento de cana-de-açúcar. Segundo Rossel (2007), esta é basicamente composta por celulose⁴ (polímero de seis carbonos), hemicelulose⁵ (polímero de cinco carbonos) e lignina, o material estrutural da planta que a protege contra choques físicos e químicos. A lignina está presente em toda biomassa lignocelulósica, se

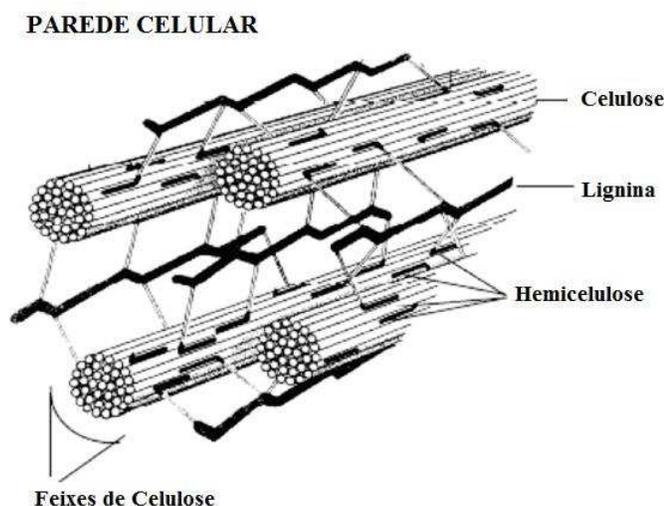
³ Fonte: Biomass FAQs. Disponível em http://www1.eere.energy.gov/biomass/biomass_basics_faqs.html. Acesso em 03/11/2010

⁴ 40% a 60% da biomassa seca

⁵ 20% a 40% da biomassa seca. Compõe-se principalmente de xilose, galactose, glucose e manose, e alguns componentes do grupo dos acetis.

constituindo em um componente com importantes usos potenciais projetados, como discutido no tópico especificamente dedicado a biotecnologia branca.

Figura 1.1 – Composição da biomassa de cana-de-açúcar



Fonte: Rossel (2007)

Especificamente no caso da biotecnologia branca, com destaque para a produção de bioplásticos, é necessário destacar a existência de duas trajetórias de desenvolvimento que, em alguns casos, estão sobrepostas: a de produtos biodegradáveis e a de produtos fabricados a partir de insumos renováveis. É importante fazer essa diferenciação porque nem todo produto feito a partir de matéria-prima renovável é biodegradável, assim como nem todo plástico dito biodegradável vem de fonte renovável. Segundo estudo do BNDES & CGEE (2008), um produto pode ser considerado biodegradável quando, ao ser exposto a condições ambientais específicas, degrada-se por ação microbiana em um curto espaço de tempo.

Correlacionado à emergência desta rota tecnológica, existe um robusto esforço internacional para desenvolvimento e difusão de normas técnicas para produção e certificações que atestem a presença deste atributo, corroborando com a consolidação do mercado para este tipo de produto. A avaliação dos efeitos de cada uma destas alternativas ainda está sob debate, mas é relevante mencionar que alguns estudos, como o de Vasconcelos (2008), argumentam que produtos oxibiodegradáveis⁶ não possuem, em comparação com produtos convencionais, efeitos

⁶ Plásticos oxibiodegradáveis são aqueles que possuem adicionados compostos que aceleram sua decomposição.

ambientais positivos robustos, já que não são plenamente decompostos pelos microrganismos, mas sim apenas fragmentados e transformados em pó que permanece depositado por prolongado período no meio-ambiente, o que parcialmente desautorizaria a reivindicação de que estes materiais são ambientalmente sustentáveis.

No entanto, é necessário ressaltar que existe um limite para alteração na atual matriz de insumos a partir da substituição de fontes de origem fóssil por insumos renováveis. O cenário para 2030 nos mostra que, no atual estado da arte, cerca de 30% da área agricultável no mundo seria suficiente para satisfazer apenas 10% da demanda por petróleo a partir da substituição por combustíveis de origem renovável. Ademais, o uso desta área com este fim competirá em alguns casos diretamente com o cultivo de alimentos para abastecer uma população mundial de cerca de 8 ou 9 bilhões de indivíduos.

Há três campos técnicos e científicos fundamentais, nos quais avanços contribuiriam fortemente para resolução deste problema, todos envolvendo a indústria química, a saber:

- (i) O desenvolvimento de novos processos pautados na utilização da biomassa, que possuam taxas de conversão mais robustas do que as atuais.
- (ii) Desenvolvimento e utilização de novas tecnologias de processo na agricultura. Herbicidas, fungicidas e inseticidas ambientalmente amigáveis são de grande importância para o culturas que estão entre as principais fontes de biomassa, como a cana-de-açúcar, milho, soja e canola. Outros importantes esforços de pesquisa neste campo são aqueles que se voltam a aumentar a taxa de produção de biomassa dedicada para evitar que o crescimento de sua oferta ocorra preferencialmente através da incorporação de novas áreas agricultáveis. Dai a importância de esforços localizados à montante da fabricação de produtos químicos e energia por rota biotecnológica como, por exemplo, o desenvolvimento de culturas com maior teor de açúcar frente às convencionais;

- (iii) Por fim, no longo prazo, será essencial o desenvolvimento de novas e melhoradas fontes de biomassa, com maior produtividade e maior resistência a doenças e a condições físicas extremas, a partir do emprego de novas biotecnologias (Kreider, J. & Curtiss, P. 2007).

O desenvolvimento e consolidação da fabricação de produtos industriais pautados na utilização de novas biotecnologias estão intimamente relacionados à concepção das chamadas biorrefinarias, que exploram a possibilidade de aproveitamento integral da biomassa, com o desenvolvimento e produção de inúmeros produtos químicos a partir dos seus subprodutos – como dos açúcares ou da lignina, por exemplo – com conseqüente redução do custo unitário de produção e aumento de sua competitividade frente aos polímeros de fontes fósseis.

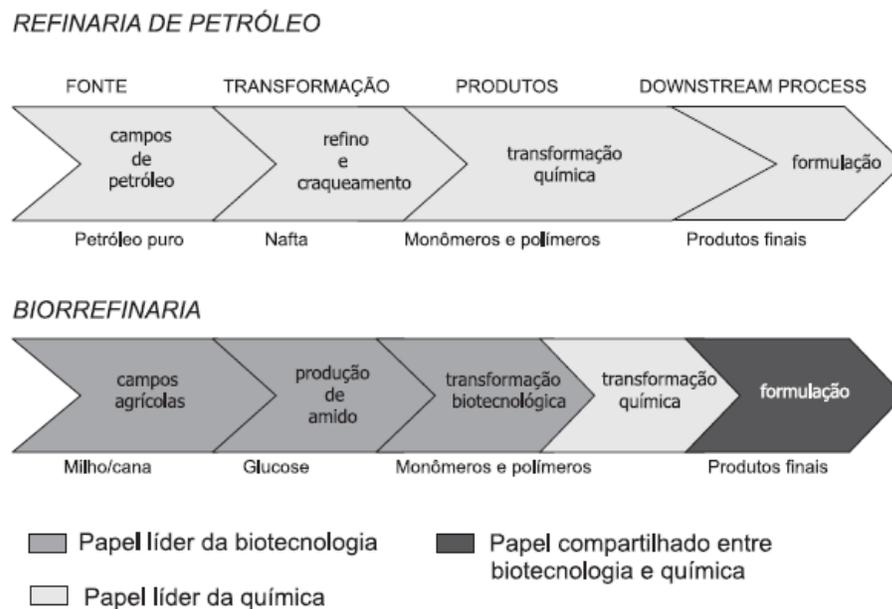
Embora muitas destas plantas ainda necessitem receber suporte financeiro ou mesmo atingir a confirmação de seus conceitos, ou seja, ter suas tecnologias e operação economicamente validadas, a profusão de empreendimentos desta natureza indica a iminente consolidação de métodos alternativos de fabricação de produtos químicos industriais (Bennet & Pearson, 2009).

Neste sentido, em alguns casos, insumos de origem renovável já exercem impacto sobre algumas linhas produtivas, como de solventes, plásticos, lubrificantes e fragrâncias. Por exemplo, bioplásticos como o ácido polilático (PLA) estão atraindo grande atenção, seja de firmas, de consumidores ou de tomadores de decisão política, em grande parte devido a sua compatibilidade biológica e degradação hidrolítica, que possibilita que este material substitua eficazmente produtos de natureza petroquímica. Outra fonte de aumento de interesse neste tipo de produto é o seu potencial de uso em novas aplicações, devido aos seus distintos atributos de qualidade e desempenho. O PLA é atualmente produzido em escala de milhões de quilos nos Estados Unidos, e em escala menor na Europa e no Japão. Este processo fermenta a glicose presente no milho de modo a produzir ácido láctico que é subseqüentemente dimerizada, polimerizada, e utilizada em várias aplicações, incluindo embalagens de alimentos e na indústria têxtil. A produção de ácido láctico por fermentação é economicamente competitiva com a sua síntese tradicional a partir de acetaldeído e cianeto de hidrogênio (Ragauskas et al., 2006).

A história deste conceito não é nova, nem são recentes as tentativas de viabilizá-lo em termos práticos. Um dos passos mais importantes na concepção do conceito de biorrefinarias foi dado em 1925 com a fundação da *Chemurgy* pelo químico W. J. Hale, juntamente com H. Dow, fundador da Dow Chemical, e C. H. Herty, presidente da Sociedade Química Americana, os quais receberam o apoio de outros importantes líderes industriais como Henry Ford e Thomas Edison. Seu objetivo era promover a utilização de produtos agrícolas pela indústria. Um dos seus projetos mais importantes foi o desenvolvimento de um carro, introduzido em 1941 por Henry Ford, cujo estofado interior e corpo consistiam em 100% de material biosintético. Mais especificamente, estas partes eram compostas por celulose, soja e resina de formaldeído nas proporções de 70%, 20% e 10% (Kamm, Gruber and Kamm, 2006).

Conforme representado na Figura 1.2, extraída de Bastos, V. (2007), o conceito de biorrefinaria – especificamente nesse caso, pautada no uso de biomassa de cana e/ou milho - é análogo ao das tradicionais refinarias, as quais desenvolveram e incorporaram ao longo do tempo diversas linhas produtivas a partir, basicamente, do petróleo.

Figura 1.2 – Comparação entre refinaria convencional e biorrefinaria



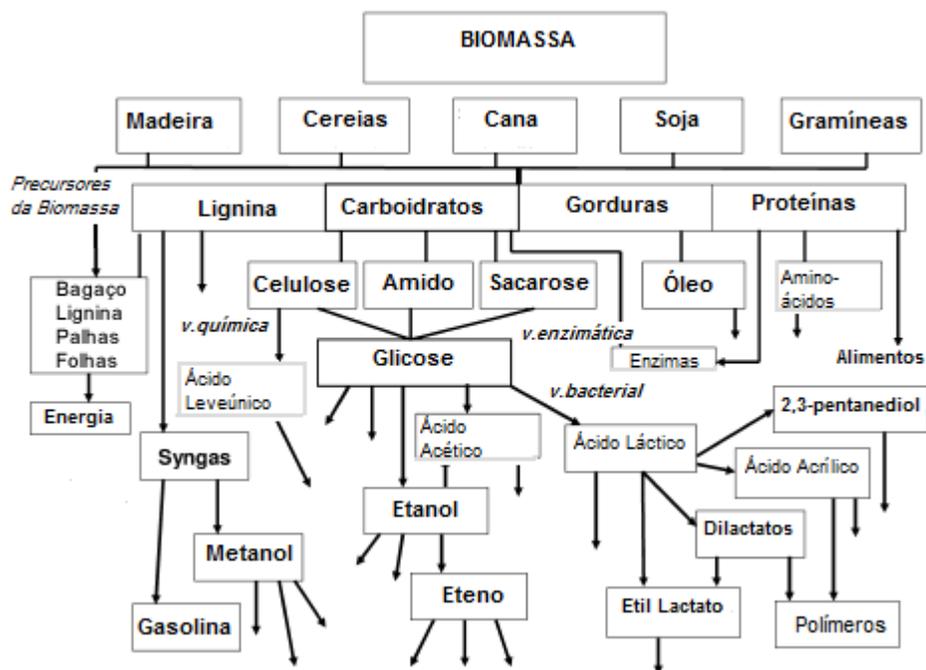
Fonte: Bastos, V. (2007)

Além das já conhecidas vantagens ambientais relativas de produtos concebidos a partir de fontes renováveis e/ou daqueles biodegradáveis, através da utilização concomitante de diversas fontes de matérias-primas (milho, cana-de-açúcar, gramíneas) bem como do aproveitamento intensivo de seus subprodutos (etanol, açúcar, lignina), as biorrefinarias podem maximizar suas margens e se tornar economicamente viáveis. Esta diversificação a partir da incorporação de novas plataformas químicas de produção, representada na figura 1.3 abaixo, é então de suma importância para sua viabilização comercial e justificação do investimento quando confrontado àqueles altamente intensivos em escala de fontes tradicionais.

1.2 - Biotecnologia Branca: A produção de químicos de alto valor agregado

Segundo o documento *White Biotechnology: Gateway to a More Sustainable Future*, da Associação Europeia de Bioindústrias (EuropaBio, 2003), a biotecnologia branca, também conhecida como biotecnologia industrial, é aquela que utiliza microorganismos ou enzimas para fabricação de produtos químicos e bioquímicos. Há dois principais campos relacionados à biotecnologia branca. No primeiro, denominado de fermentação, microorganismos vivos, como fungos ou bactérias, transformam matérias-primas em produtos finais. Isto é, por exemplo, o que ocorre na fabricação de iogurtes, a partir do uso de lactobacilos. No entanto, estas rotas tradicionais não são o objeto central de análise deste trabalho. Nosso foco aqui está em novas rotas biotecnológicas, o que inclui, por exemplo, o desenvolvimento de microorganismos que fermentem concomitantemente açúcares de cinco (pentoses) e de seis carbonos (hexoses) para viabilização da produção de etanol celulósico, por exemplo. Vitaminas e enzimas também podem ser produzidas por este meio.

Figura 1.3 – Esquematisação de possíveis rotas em biotecnologia branca



Fonte: Adaptado de Kamm *et al* (2006)

A base científica relevante para operação em biotecnologia branca é extremamente complexa, e inclui diversos campos científicos. Por exemplo, avanços tecnológicos neste campo estão diretamente relacionados a avanços em genômica, a ciência que visa ligar diretamente genes específicos de microorganismos a funções do seu metabolismo ou a funções fisiológicas. Outro campo científico relevante é a proteômica, que consiste em identificar o perfil protéico de vários tipos de células e descobrir a função específica de determinada proteína, além de analisar a interação entre diferentes proteínas. O avanço na compreensão destes campos científicos é fundamental para a consolidação das novas rotas biotecnológicas de produção de químicos industriais, o que classifica as atividades científicas e tecnológicas com estes objetivos como pesquisa básica inspirada pelo uso, à semelhança do definido por Stokes (1993) como Quadrante de Pasteur.

A interação entre os campos científicos anteriormente descritos permite alterar as rotas “normais” de microorganismos, uma ferramenta de grande importância para atividades de obtenção de soluções voltadas aos problemas de pesquisa ou, em outros termos, pontos de

focalização em biotecnologia branca. Na natureza, por exemplo, microorganismos geralmente sintetizam enzimas e vitaminas de acordo apenas com suas próprias necessidades. Um desafio colocado a processos biotecnológicos é então o de fazer com que estes seres as produzam à escala industrial. Por exemplo, a Basf aumentou a produtividade de cepas de microorganismos que cultiva por mutação randômica⁷ e seleção contínua de características desejadas, o que lhe permitiu crescimento substancial no rendimento de seus processos fermentativos. Outra técnica utilizada pela firma é a engenharia metabólica, que a possibilita modificar o metabolismo de microorganismos de uma maneira estrategicamente dirigida. Ademais, a firma utiliza métodos analíticos para identificar a interação de genes nos microorganismos⁸.

O segundo campo de grande relevância para realização de atividades inovativas em biotecnologia é o de biocatálise, ou seja, a utilização de enzimas para ativação ou aceleração de reações bioquímicas. Um dos usos potenciais desta técnica é a geração de intermediários quirais⁹. Microorganismos podem ser modificados para produção de moléculas em suas formas quirais simultaneamente às convencionais.

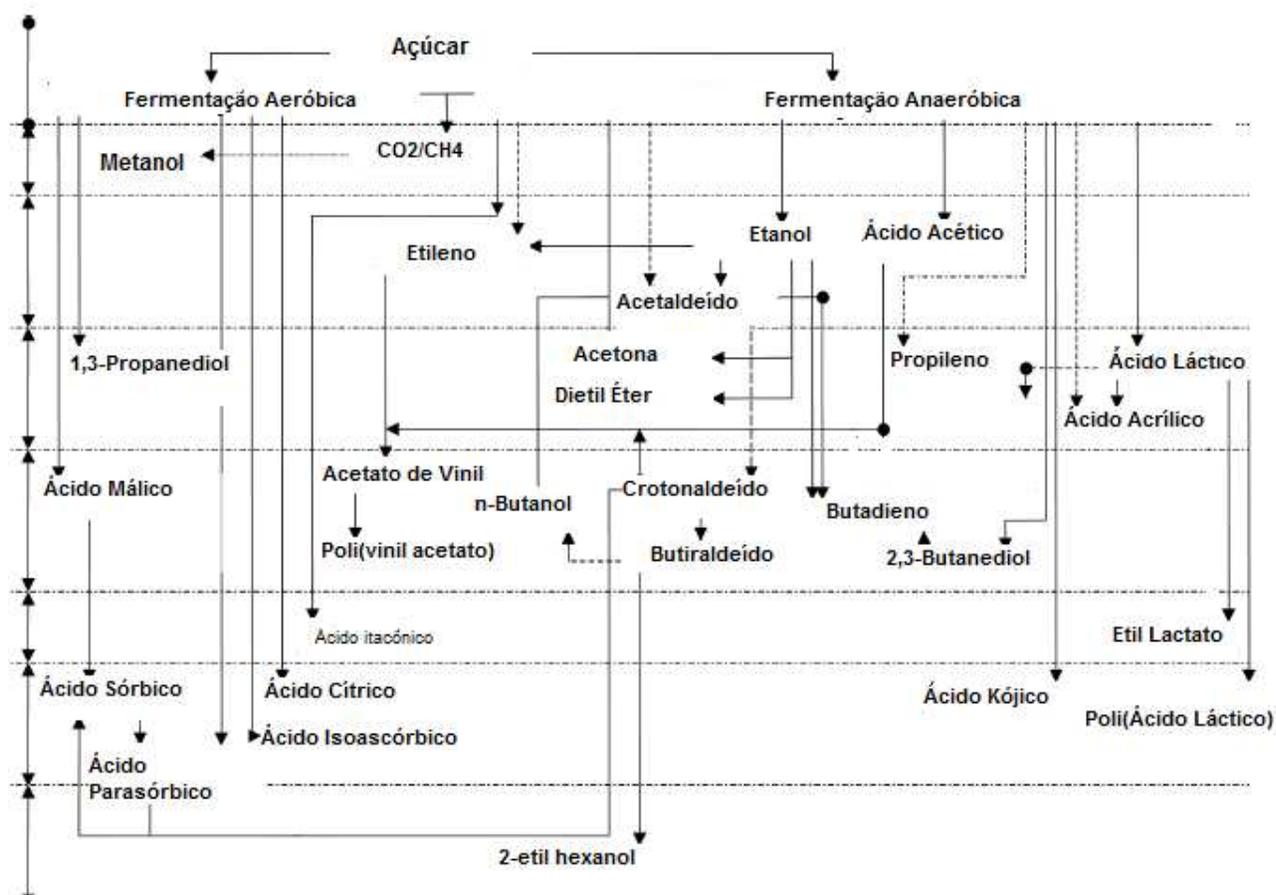
Nos EUA, em resposta a uma demanda da coordenação do Programa da Biomassa (*Biomass Program*), o Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) e o Laboratório Nacional do Noroeste do Pacífico (PNNL) identificaram *building blocks* que podem ser obtidos por via biológica ou química, cujo desenvolvimento corrobora a viabilização econômica e operacional das biorrefinarias. *Building blocks*, ou alicerces químicos, são moléculas com múltiplos grupos funcionais com o potencial de serem transformados em novas famílias de moléculas com diversas utilizações industriais possíveis. As rotas de geração destes alicerces a partir do açúcar, um dos principais subprodutos da biomassa, estão representadas na Figura 4.1 abaixo:

⁷ A propriedade pela qual uma mutação particular não está geralmente relacionada à utilidade que a mesma teria para o indivíduo em questão (Evolution 101, University of California).

⁸ Fonte: <http://www.basf.com/group/corporate/en/products-and-industries/biotechnology/white-biotechnology/>. Acesso em 25/09/2010.

⁹ Uma molécula quiral é aquela à qual sua suposta imagem em um espelho não é sobreponível (Paiva, 2006).

Figura 1.4: Família de Produtos Derivados do Açúcar



Fonte: Adaptado de NREL & PNNL (2004)

Com relação às novas rotas de transformação do açúcar em alicerces químicos, muitas estão pautadas na utilização de fermentação aeróbica de bactérias ou fungos. Já na conversão em seus derivados, as transformações químicas ou enzimáticas parecem ser as mais relevantes, sendo que as principais são a redução química, a desidratação, a cisão e a polimerização direta. Algumas conversões biológicas podem ocorrer sem a necessidade da existência de um alicerce intermediário. Por exemplo, o 1-3 propanediol pode ser convertido diretamente do açúcar ao produto final, o que é o caso do produto Susterra™ da DuPont Tate & Lyle, utilizado na produção de resinas de poliéster e como reticulador na química de uretanos¹⁰.

¹⁰ Fonte: http://www.duponttateandlyle.com/products_susterra.html . Acesso em 14/08/2009

Cada rota de transformação possui suas próprias vantagens e desvantagens. As conversões biológicas podem ser modificadas de modo a resultarem em estruturas moleculares específicas, porém as condições de operação devem ser relativamente suaves. Já as conversões químicas podem ser operacionalizadas com altos rendimentos, porém menores especificidades de conversão são obtidas, ou seja, as estruturas moleculares obtidas são mais convencionais (NREL & PNNL 2004).

Os principais produtos químicos industriais que podem ser derivados do açúcar a partir do uso de biotecnologia são:

- Butanediol (BDO), tetrahydrofuran (THF) e gama-butirolactona (GBL);
- Substituto o ácido tereftalático utilizado na produção de PET e PTB;
- 3-HPA, produto que não possui similar na rota petroquímica tradicional pode ser utilizado na produção tanto de commodities como de químicos especiais;
- Ácido aspártico, ácido poliaspártico e poliaspartatos que podem ser utilizados na produção de dispersantes, anti-incrustantes e superabsorventes;
- Poliésteres e poliamidas a partir do ácido glutâmico;
- BDO, THF, GBL e polienos a partir do ácido itacônico;
- Insumos para policarbonatos, para polímeros acrilatos e para novos poliésteres a partir do ácido levulínico;
- Novos polímeros a partir do 3-HBL;
- 1,3-propanediol, propileno glicol, poliésteres, elastômeros e poliuretanos a partir do glicerol;
- Resinas de poliéster insaturadas e glicóis a partir do sorbitol, do xilitol e do arabinitol;

Assim como o açúcar, a lignina é outro importante produto extraído da biomassa, com potenciais efeitos para a consolidação das biorrefinarias integradas a partir da incorporação de novas plataformas tecnológicas. A estrutura da lignina é complexa e se altera de acordo com a fonte da biomassa, assim como sua quantidade. Segundo estudo do NREL & PNNL de 2007, no geral, a lignina é um material muito abundante que contribui com cerca de 30% do peso e 40% do conteúdo energético da biomassa, podendo ser aproveitado para o desenvolvimento e fabricação de inúmeros produtos químicos. No caso da cana-de-açúcar, por exemplo, está presente

principalmente na palha e no bagaço, que são atualmente queimados para geração de energia, utilizados na ração de animais ou simplesmente deixados no campo. A exploração da lignina como insumo principal para a geração de produtos químicos de alto valor agregado está relativamente mais atrasada do que a exploração dos derivados do açúcar e, portanto, possui maiores incertezas com relação ao longo prazo.

Atualmente, além da geração de energia, a lignina é utilizada na indústria na forma de lignosulfonatos produzidos a partir da madeira. Os principais *players* mundiais são as firmas Borregaard-LignoTech da Noruega e a Tembec do Canadá. Nos EUA, as maiores produtoras são a MeadWestvaco, a LignoTech e a Georgia Pacific. Resinas moldáveis produzidas a partir de lignosulfonatos possuem diferenciais importantes com relação às resinas tradicionais, como absorção de água, dispersão, adesão e lubrificação melhoradas. Outras possíveis aplicações para este produto são:

- Co-polímero com furfurool ou formaldeído para adesivos para madeira;
- Retardador de chama e plastificante;
- Resinas termoformáveis de baixo custo;

Além das supracitadas, a lignina possui outras aplicações potenciais menos desenvolvidas, a saber:

- Precursores para fibra de carbono de baixo custo;
- Componente de e/ou catalisador para polímeros inerentemente condutores;
- Macromônômeros em poliésteres, uretanos e polímeros de *epoxy*;
- Componentes em blendas poliméricas e ligas;
- Precursores de novas gerações de polióis;
- Produtos substitutos do fenol-formaldeído e espuma de uréia-formaldeído;
- Resinas selantes e adesivas;

As aplicações acima possuem potencial para sua consolidação de mercado, com características projetadas importantes como baixo custo de produção unitário, maior resistência ao calor e biodegradabilidade frente aos produtos convencionais. Porém, há ainda importantes

desafios a serem enfrentados como, por exemplo, a baixa capacidade de coloração de resinas desta natureza.

Passamos agora a apresentação do problema de pesquisa e a introdução às principais contribuições deste trabalho

1.3 – Problema de pesquisa, justificativa e método de análise utilizados

O objetivo central neste trabalho é o de, pautado em conceitos como janela de oportunidade, *catching up* e *leapfrogging*, que serão mais bem descritos nos capítulos a seguir, o de avaliar o posicionamento de firmas brasileiras que, ao longo do tempo, obtiveram posição tecnológica ou de mercado de alguma proeminência no desenvolvimento e/ou fabricação de produtos químicos industriais a partir de fontes tradicionais.

Este trabalho se volta a tecer considerações sobre a dinâmica inovativa da indústria química, pautado principalmente por conceitos da teoria econômica evolucionária e por indicadores derivados de patentes. O evento de ruptura que motiva nosso trabalho é o advento das chamadas novas rotas biotecnológicas relacionado à fabricação de produtos industriais e, principalmente, sobre o papel que grandes firmas desta indústria com posições já consolidadas a partir de modelos organizacionais e tecnologias convencionais, em grande parte pautadas no uso de insumos fósseis, podem exercer frente a este advento.

Em especial, voltamos nossa análise aos esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação de grandes firmas estabelecidas na indústria química do Brasil - especificamente Braskem e Petrobras - frente aos de firmas selecionadas com posições de extremo destaque neste setor, muitas delas centenárias e com origem em países tecnologicamente avançados. Propomos a contribuir com o seguinte debate:

Em qual medida o advento de rotas tecnológicas alternativas, a partir de processos de desenvolvimento de ruptura em relação aos até então vigentes, se constitui em uma janela de oportunidade para empreendimento de catching up tecnológico e consolidação de uma posição inovativa de destaque para firmas até então de menor destaque inovativo?

De modo condizente ao nosso objetivo, nossa amostra de firmas que serviu como base de comparação para a posição competitiva das firmas brasileiras para atuação em biotecnologia branca foi escolhida com base em dois critérios principais:

- i. Firmas com posições inovativa e de mercado proeminentes na produção de químicos a partir de fontes tradicionais em termos globais;
- ii. Firmas cujas atuações em biotecnologia branca, até o presente, levantadas a partir de fontes secundárias, possuam forte relação com campos que julgamos com grande potencial de atuação das firmas brasileiras, como polímeros, por exemplo.

Deste modo, as firmas escolhidas foram: Basf, Bayer, Dow Chemicals, DuPont, Ineos, Mitsubishi e Solvay, além das brasileiras Braskem e Petrobras.

É importante destacar que o foco de análise deste trabalho está situado na área de química industrial, e não diretamente na área de energia, especificamente no desenvolvimento de novos combustíveis de base biotecnológica. Assim, a escolha desta última firma, a princípio, pode parecer incoerente com nosso recorte, já operações da Petrobras com relação ao uso de biotecnologia estão concentradas especialmente no desenvolvimento da produção industrial de biocombustíveis. No entanto, a introdução desta firma em nossa amostra se deu de modo natural, já que no centro de nossa análise está o mercado e a matriz de insumos para a indústria química brasileira, onde a Petrobras possui papel central. Adicionalmente, a Petrobras possui estreito relacionamento com a Braskem¹¹.

Não obstante, o advento das novas rotas biotecnológicas e do apelo por produtos e processos mais sustentáveis acabou por criar interconexões até então inexistentes entre duas indústrias, ou, como preferimos denominar, destes dois grandes campos do conhecimento tecnológico: a Química e Energia. Apesar de não estarem ainda muito claras, estas interconexões corroboram o fato de que competências geradas em um destes campos podem servir para atuação no outro, inclusive para atividades de natureza tecnológica.

¹¹ Braskem adquiriu em 2010 a Quattor, da qual a Petrobras possuía cerca de 40%. Cada firma controla hoje 50% da companhia. Fonte: Braskem adquire Quattor por R\$ 870 milhões e cria megapetroquímica. Folha de São Paulo, 22/01/2010.

É ainda importante ressaltar o fato de que muitas das firmas que se encaixam nos critérios acima descritos ficaram fora de nossa amostra, já que este trabalho não se propõe a lidar com todos os *players* que potencialmente poderiam atuar no desenvolvimento e aplicação de biotecnologias a produtos e processos industriais, algo que se encontra fora do seu escopo. Propomo-nos a tecer *insights* sobre as possibilidades de atuação e sobre o posicionamento estratégico das firmas brasileiras para aproveitamento desta conjuntura de condições favoráveis frente a alguns grandes concorrentes específicos. A importância deste tipo de recorte analítico é reforçada pelo fato de que, conforme argumentaremos ao longo deste trabalho, as oportunidades emergentes com o advento das novas rotas biotecnológicas parecem fortalecer, ao invés de solapar, vantagens competitivas constituídas por ativos e competências construídos por algumas firmas no paradigma petroquímico.

O trabalho possui três capítulos, além deste introdutório. O capítulo 2 visa conceituar e caracterizar a janela de oportunidades que se abre na indústria química com o advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e fabricação de produtos industriais, a partir, principalmente, do uso de conceitos da teoria econômica evolucionária. O capítulo 3 se volta à construção de indicadores derivados de patentes, além de trazer dados correlacionados como gastos em P&D, de forma a analisar a posição competitiva das firmas brasileiras para atuação em biotecnologia branca, em relação à amostra de grandes concorrentes internacionais. Por fim, porém sem a intenção de esgotar o debate, as principais conclusões são retomadas e são apresentadas algumas possíveis implicações da análise dos resultados.

Capítulo 2: Surgimento da bioeconomia e da rota biotecnológica para produção de químicos industriais: análise das oportunidades e desafios para catching up de firmas brasileiras

2.1 - Breve caracterização da dinâmica inovativa e de mercado da indústria química

Segundo Landau (1998), a indústria química é caracterizada por ser fortemente baseada em ciência, o que significa que os avanços tecnológicos empreendidos pelos agentes econômicos neste campo estão apoiados em avanços em campos científicos correlatos. Constitui-se em uma indústria de consolidação relativamente recente, já que possui atualmente mais de 70.000 produtos e, até 1850, não possuía nenhum em estágio comercial. Ademais, é marcada atualmente pela padronização de seus processos produtivos, pelo advento de rotas alternativas de produção e pelo aumento de flexibilidade na possibilidade de uso de diferentes matérias-primas.

Segundo Freeman (1982), no século XX, a disponibilidade de recursos energéticos de baixo custo e avanços na ciência dos polímeros, na química orgânica, nas tecnologias de processo e, principalmente, na engenharia química, foram os fatores responsáveis pelo rápido crescimento da indústria química, pelo lado da oferta, enquanto que a expansão dos mercados potenciais, a ampliação de possibilidades de aplicação industrial e a obtenção de preços competitivos pelos produtos petroquímicos foram responsáveis pelo crescimento da demanda. De modo complementar, a gama de principais inovações de produto e de processo, especialmente aquelas relacionadas à catálise, ocorridas no período de 1920 a 1940 e, em um segundo estágio, na década de 1950, permitiu às grandes firmas da indústria química estabelecer uma posição de liderança monopolística no mercado global.

Segundo Landau (1998), as atividades inovativas na indústria química são marcadas pelo fato de que nem sempre o pioneiro na descoberta de determinado princípio que poderia pautar a geração de nova tecnologia ser aquele que mais vai se beneficiar de vantagens competitivas derivadas do desenvolvimento desta. Em alguns casos, as primeiras firmas a imitar ou a licenciar um novo produto lançado por uma firma pioneira se tornaram também alguns dos líderes naquele segmento (Teece, 1986). Este processo geralmente é acompanhado por melhoramentos nos produtos ou pelo desenvolvimento de novos processos para sua fabricação, permitindo lucros ainda maiores e aumento da participação da firma que o empreende no mercado. Para além do aproveitamento de oportunidades técnico-científicas ainda não

desbravadas, este ciclo de encadeamento de adoção e melhoria de tecnologias e a busca pela liderança de mercado tem sido os principais incentivos para realização de atividades inovativas na indústria química, e ajuda explicar o grande dinamismo tecnológico observado em parte do século XX (Fayad and Motamen,1986).

No entanto, é necessário ressaltar que, para que invenções na indústria química se tornem produtos comerciais de sucesso, é necessária a manutenção de fortes investimentos em desenvolvimento contínuo por períodos prolongados, além de investimentos constantes em engenharia química para desenho de plantas e otimização das condições de operação e ganho de escala, o que contribuiu ao longo do tempo com o fato de que sua hierarquia inovativa e de mercado nos seus principais ramos assumisse um formato oligopolista. Isto corrobora a predominância de grandes firmas de países industrialmente avançados em posições de destaque nesta hierarquia.

No mesmo sentido, opera o fato de que os produtos químicos, em geral, possuem grande elasticidade-renda, ou seja, o crescimento de sua demanda está correlacionado ao aumento da renda de seus usuários finais. Assim, quanto maior a renda agregada de seu mercado potencial, maior é a possibilidade destas firmas de acumularem ativos relevantes e recursos financeiros, reforçando a manutenção de suas posições no próximo *round* inovativo.

Muitas vezes o crescimento da indústria química realimenta o crescimento agregado da economia. Como seus produtos são de grande *pervasividade*, ou seja, estão em elos à montante de muitas cadeias produtivas, seu desenvolvimento possui efeito de transbordamento para várias indústrias, o que possibilita o desenvolvimento de diversas outras, de modo que o seu crescimento, puxado pelo crescimento da demanda agregada a partir do crescimento da economia como um todo, reforça este através de mecanismos de *feedback*.

Neste sentido, com relação aos resultados finais médios do esforço inovativo, a indústria química é então um bom exemplo da afirmação de Rosemberg (1982) de que tanto a taxa de retorno privada como a social é alta. O esforço inovativo de determinado agente econômico acaba por beneficiar outros agentes por transbordamentos. Desenvolvimentos tecnológicos na indústria química, através de efeitos de transbordamento, proporcionam o lançamento de novos produtos na indústria têxtil e melhoramentos na indústria automobilística, por exemplo. A indústria química então pode ser classificada como sendo complementar a estas indústrias.

A despeito do grande dinamismo do período 1920 – 1950, a partir da década de 1970 a indústria química passa a enfrentar retornos decrescentes de P&D pelo amadurecimento e padronização de suas principais tecnologias de processos, acompanhada por uma forte entrada de firmas de engenharia no mercado. A difusão de tecnologias de processo por estas companhias destruiu posições monopolísticas de inovadores pioneiros, já que se torna menos importante o investimento em uma robusta infraestrutura interna de P&D e/ou de engenharia para operação a partir dos processos mais convencionais.

Os chamados choques do petróleo de 1973 e de 1978 se constituem em “ritos de passagem” para a indústria química. O advento de novos competidores, principalmente no Oriente Médio e na Ásia, somado a uma diminuição no crescimento da demanda e no amadurecimento das tecnologias de produção, cria fortes mecanismos de realinhamento de ativos na indústria (Spitz et al. 2003). Este processo pode ser interpretado como uma reestruturação industrial, ou como um processo de reconfiguração estrutural deliberada em resposta a mudanças nas condições de mercado. Mais do que simples acomodação incremental a mudanças conjunturais, a reestruturação é um processo de reorganização radical de ativos tecnológicos e de instituições utilizadas para operar um negócio ou para acumular lucros. A queda nas oportunidades tecnológicas, associada à construção de importantes ativos complementares, baseada no acesso a fontes abundantes e baratas de insumos, e o advento de uma gama de arranjos institucionais voltados ao suporte a entrada inovativa de novos *players*, reestruturaram a dinâmica da indústria química.

Em muitos aspectos, estas iniciativas de reestruturação são similares, porém mais drásticas, do que as ocorridas em muitas outras indústrias baseadas em *commodities*, incluindo a do aço e automobilística, por exemplo. A reconfiguração espacial da indústria química foi fortemente alterada e esta reestruturação tomou basicamente duas formas: a primeira relaciona-se a uma tentativa de consolidação de segmentos industriais específicos (por exemplo, etileno, polietileno, cloreto de polivinila e etileno glicol), a partir da redução do número de firmas no mercado e eliminação de plantas não competitivas, de modo a aumentar a qualidade e as taxas de produção. A segunda forma envolveu uma mudança de maior escopo, já que firmas tradicionais da indústria passaram a se desfazer da totalidade ou de parte de suas operações, buscando oportunidades em outras indústrias (Spitz et al, 2003).

Como argumentado ao longo deste trabalho, os desafios relacionados à emergência da bioeconomia, especificamente das novas rotas biotecnológicas de produção, trazem a tona novas oportunidades às firmas da indústria química. Desde os anos 1970, é crescente a preocupação com danos ambientais relacionados aos métodos produtivos convencionais. Das várias opções que se colocam à sociedade para redução destes danos, o avanço tecnológico é amplamente considerado como a melhor alternativa. A concepção de uma economia mais sustentável com certeza inclui a construção de mecanismos de controle da emissão de poluentes e de sistemas de reuso, o uso de insumos ambientalmente mais amigáveis e a reformulação das tecnologias já existentes (Kemp, 1994).

Uma questão central neste debate é a da definição do papel a ser exercido por firmas com posições já estabelecidas na indústria química e por novos entrantes frente ao advento das novas rotas biotecnológicas, especialmente no que concerne às atividades inovativas no setor. Algumas grandes firmas multinacionais tem procurado estabelecer novas posições ou consolidar as que já ocupam com base em métodos de produção alternativos. Por um lado, algumas firmas estão buscando estabelecer alianças com parceiros localizados em países com grandes reservas de matérias-primas fósseis, especialmente no Oriente Médio. Esta estratégia é similar àquela chamada por Dunning (1998) de busca de recursos motivada por considerações estratégicas. Por outro lado, as firmas também buscam por novas oportunidades tecnológicas, em particular relacionadas a produtos e processos mais sustentáveis, nas quais as novas rotas tecnológicas possuem papel de destaque, algo identificado com a adoção de estratégias de *exploration* (Liu, 2006).

Este trabalho debruça-se especificamente sobre o segundo caso, embora reconheça que há um grupo significativo de firmas empreendendo iniciativas em ambos os sentidos. Além dos exemplos explorados no capítulo 3, há muitos investimentos de grandes firmas na exploração de novas alternativas tecnológicas. Como exemplo, em maio de 2010, a LANXESS anunciou investimentos de US\$ 10 milhões na estadunidense GEVO, que desenvolve biobutanol, um combustível renovável. Adicionalmente, as firmas pretendem produzir isobutanol e seu derivado isobuteno, matéria-prima chave na produção de borracha butílica¹². Já a Basf, firma europeia

¹²Fonte: LANXESS invests in U.S. biofuel & biochemical company. Disponível em: [http://corporate.lanxess.com/en/investor-relations/investor-news/detail/15679/?tx_editfiltersystem_pi1\[news_category\]=32](http://corporate.lanxess.com/en/investor-relations/investor-news/detail/15679/?tx_editfiltersystem_pi1[news_category]=32). Acesso em 20/09/2010

produtora de bioquímicos como aminoácidos e vitaminas, se voltam agora à produção de ácido succínico através de um processo de fermentação¹³ inovativo.

2.2 - *Análise do surgimento das novas rotas biotecnológicas para produção de químicos industriais*

Schumpeter, um dos economistas com uma obra das mais consistentes na análise dos ciclos de evolução industrial, constrói em 1934, na sua obra Teoria do Desenvolvimento Econômico, o conceito de Destruição Criativa como mecanismo fundamental da mudança e da evolução econômica. Este impulso fundamental se constitui na introdução de inovações¹⁴ geradas no âmago do sistema que revolucionam a estrutura econômica a partir de dentro, destruindo incessantemente aquela até então existente e criando uma nova. Schumpeter classifica este componente como o fato essencial do sistema capitalista de produção, no qual existem diversos novos meios pelos quais se pode chegar a um determinado resultado, e não se pode antever com precisão qual teria a maior eficiência econômica. O advento das novas rotas biotecnológicas para desenvolvimento e produção de químicos industriais possui grande potencial em induzir uma mudança dessa natureza, com possíveis impactos sobre posições até então consolidadas e sobre os métodos de operação nesta indústria.

Este momento do ciclo evolutivo é caracterizado pela ausência de um *design* dominante no mercado e pela maior facilidade relativa de entrada inovativa de novos *players* devido à insuficiência de barreiras a entrada previamente construídas. Os meios de produção, de organização e de distribuição da produção são submetidos a eventos de ruptura, de modo que rendimentos advindos de desenvolvimentos tecnológicos anteriores são fortemente ameaçados (Malerba & Orsenigo 1995).

De modo complementar, Nelson (1990) define o capitalismo como um processo evolucionário por gerar uma série de novos pontos de partida concorrendo uns com os outros e com as práticas até então vigentes. Os ganhadores e perdedores do processo, ou seja, aqueles que terão seus esforços inovativos recompensados e aqueles que não, são definidos a partir de uma

¹³ EuropaBio. Industrial (White) Biotechnology. Disponível em: <http://www.europabio.org/positions/DSM-WB.pdf>. Acesso em 20/09/2010

¹⁴ Novos bens de consumo, novos métodos, novos mercados, novas formas de organização industrial, novos materiais, reorganização da produção, ou mesmo melhoramento dos instrumentos e métodos através dos quais se inova.

luta real no mercado. Através do teste de várias alternativas, a máquina capitalista promove uma competição real entre os diversos agentes que empreendem diferentes tentativas. Essa abertura existente no sistema capitalista ao manuseio experimental é uma de suas principais virtudes, e um dos seus principais mecanismos de evolução.

Em consonância, o termo *design* dominante neste trabalho se refere à rota tecnológica que consegue se sobrepôr às demais a partir da seleção do ambiente. Em outras palavras, estamos nos referindo à conceitos ou tecnologias que se impõe em determinada indústria, no sentido de ser considerada como o padrão a partir do qual muitos players e tomadores de decisão política moldam algumas de suas resoluções.

Em sua obra *Capitalismo, Socialismo e Democracia*, de 1942, Schumpeter concebe o conceito de Acumulação Criativa para *designar* o estágio do ciclo evolutivo industrial no qual já há um *design* dominante no mercado, e uma hierarquia bem definida de firmas com relação às suas posições inovativas. Esforços internos de P&D possuem uma importância fundamental para manutenção de posições inovativas, de forma que grandes firmas, com grande montante de recursos financeiros acumulados a partir de seus desenvolvimentos tecnológicos recentes, além do acúmulo de ativos e competências de outras naturezas, ocupam as posições de destaque. Neste sentido, não se pode afirmar que a Acumulação seja um momento localizado no extremo oposto à Destruição em um plano unidimensional. Os conceitos de cumulatividade de esforços inovativos de Malerba & Orsenigo (1993) e o de armadilha e aprendizado (Levinthal e March, 1993) e de competências de competências (Levitt and March, 1988), que perpassam este trabalho e são definidos a seguir, são a causa e consequência desta complementaridade.

Para os propósitos deste trabalho, a diferenciação entre estes dois grandes momentos do ciclo de evolução industrial schumpeteriano é importante de modo a compreender conceitualmente a medida pela qual o advento de uma inovação de ruptura pode provocar alterações na dinâmica inovativa e no posicionamento competitivo de alguns *players*, a partir de mudanças nos parâmetros concorrenciais de atuação. Em especial, nos ajuda a compreender como o padrão de atividades inovativas na indústria química é influenciado pelo advento das novas rotas biotecnológicas, em especial o possível impacto exercido sobre grandes firmas com posições já consolidadas a partir das rotas tradicionais, denominadas neste trabalho de firmas incumbentes.

Um conceito fundamental que se relaciona à Destruição Criativa schumpeteriana e que nos auxilia a compreender o impacto do advento das novas rotas biotecnológicas sobre posições consolidadas através das rotas tradicionais é o de mudança tecnológica paradigmática de Dosi (1982).

À semelhança do conceito de paradigma científico de Kuhn, T. (1962), Dosi (1982) define paradigma tecnológico como sendo um modelo ou padrão para resolução de problemas técnicos e econômicos selecionados. Enquanto que o paradigma científico é um modelo de se pensar sobre problemas de pesquisa específicos, o paradigma tecnológico é um modelo que reúne princípios científicos e modos de agir e que incorpora soluções de problemas tecnológicos anteriores. Este sempre é constituído por um exemplar que lhe é representativo e por um conjunto de heurísticas, de princípios de como proceder que, por sua vez, são derivados das ciências naturais conjuntamente com regras de origem mais geral. Em outros termos, um paradigma tecnológico é a definição dos parâmetros relevantes para as atividades de busca dos agentes. Exemplos de paradigmas tecnológicos segundo o autor incluem o motor a combustão interna, a química sintética baseada em recursos fósseis e os semicondutores.

O conceito de paradigma tecnológico implica, por sua vez, à semelhança dos modelos de avanço da ciência, na existência de trajetórias tecnológicas, ou seja, “caminhos” em parte pré-determinados formados por um encadeamento de problemas técnicos e econômicos específicos, cuja resolução se constitui no que se convencionou denominar de progresso técnico. Em outras palavras, um paradigma tecnológico sempre compreende uma trajetória evolutiva natural, no sentido de que o paradigma define parâmetros que fazem com que determinados avanços respondam melhor aos problemas de pesquisa colocados do que avanços alternativos. É importante ressaltar que esta constatação não implica na ausência de incerteza com relação a esforços inovativos. A incerteza sempre está presente, em maior ou menor grau, mesmo em estágios onde não haja eventos de ruptura.

O conceito de trajetória tecnológica está relacionado ao fato de que os esforços inovativos são altamente seletivos, focalizados em direções muito precisas e cumulativos na aquisição de competências para solução de problemas tecnológicos. Constitui-se no conjunto de atividades “normais” de resolução de problemas definidos como relevantes por um paradigma. Parafraseando Dosi (1982), uma trajetória tecnológica é o

“(…) movimento de trade-offs multidimensionais dentre as variáveis tecnológicas que o paradigma define como relevantes. O progresso pode ser definido como a resolução destes trade-offs (...) os quais devem ser condutivos ou colocar constrangimentos crescentes a qualquer desenvolvimento consistente com os “sinais” que o ambiente econômico transmite. Dificuldades e desafios e problemas tecnológicos não resolvidos funcionam como dispositivos de focalização, às vezes exercendo pressão sobre alguns campos tecnológicos para produzirem avanços, e finalmente facilitando ou dificultando o desvio para outra trajetória tecnológica.” (Dosi, 1982, p. 54)

Neste sentido, este conceito está próximo aos de Sahal (1985) de “avenidas de inovação” e de “postes de sinalização”, bem como é próximo ao conceito de “dispositivos de focalização” de Rosenberg (1982). Todos estes conceitos são referentes à constatação de que as atividades de busca dos agentes não ocorrem de modo aleatório, randômico, mas sim são moldadas pelos parâmetros definidos como relevantes pelo paradigma tecnológico subjacente, de modo que o progresso técnico não é um evento estocástico, mas sim que ocorre em direções muito bem definidas, apesar de flexíveis e nem sempre claras *ex ante*.

De modo semelhante, no progresso técnico há uma estrutura lógica comum a muitos casos. Este processo consiste na união de alguns propósitos ou necessidades a um efeito que pode ser explorado para satisfazê-los. O processo pode iniciar-se a partir da busca pela satisfação destas necessidades para as quais não existam ainda métodos satisfatórios, forçando a procura por uma nova característica científica, ou pode partir de um fenômeno ou efeito por si só, recentemente descoberto, para o qual este sugira algum uso associado. Transformar este princípio básico em realidade física requer a criação de uma divisão de trabalho adequada e de tecnologias de suporte. Isto aumenta os desafios ou problemas colocados, e a solução para cada gera novos pontos de partida – novos desafios ou problemas – para as atividades de busca dos agentes. Como resultado, o esforço inovativo se constituiu em um processo recursivo, de modo que suas etapas são repetidas a cada novo desafio ou problema ao longo do esforço de criação e desenvolvimento no escopo de determinado paradigma tecnológico (Arthur, 2007).

Há duas principais razões pelas quais pode haver uma mudança paradigmática de natureza daquela supracitada, que implique em uma mudança nos parâmetros de busca dos agentes e na supremacia de uma tecnologia alternativa sobre aquela até então preponderante (Perez, C. 2009).

A primeira se refere a mecanismos de exclusão relacionados à exaustão e/ ou enfraquecimento de determinada tecnologia advindos de exogeneidades que impactam sobre suas características-chave. Neste sentido, preocupações ambientais com relação ao consumo de produtos de origem não renovável, especialmente fóssil, assim como preocupações com relação à disponibilidade segura no médio e longo prazo de recursos desta natureza, tornam relativamente mais atrativas tecnologias relacionadas à utilização de recursos de origem renovável. Já a segunda se refere a mudanças permanentes ou duradouras na estrutura de custos relativa que favorecem as tecnologias alternativas frente àquela tradicional.

Embora muitos dos novos produtos de cada revolução tecnológica possam ser a princípio custosamente inacessíveis aos usuários potenciais, no centro de cada onda de inovações radicais há muitas vezes um insumo central de grande disponibilidade que, em conjunção com uma constelação de inovações genéricas complementares, radicalmente transforma a seu favor a estrutura de custos relativa. Assim, neste sentido, a emergência do motor a vapor e das ferrovias como meio preponderante de transporte no século XIX nos países desenvolvidos esteve fortemente vinculada à existência de carvão mineral em abundância nestes países, a baixos custos relativos. Do mesmo modo, a emergência de produtos sintéticos em substituição aos de origem natural no século XX, cujo principal expoente talvez seja a produção e consumo de látex a partir de insumos fósseis, esteve vinculada à disponibilidade de petróleo barato.

Assim, a existência de um insumo chave relacionado à nova tecnologia, em um ambiente dominado pela antiga, que seja amplamente disponível a um custo não proibitivo – o que depende, em última instância, do progresso técnico, pode levar à decisões de investimento favoráveis à sua consolidação. Neste sentido, a disponibilidade segura de biomassa a preços acessíveis pode fazer com que tecnologias apoiadas no seu uso, preferencialmente ao de recursos não-renováveis, pode por si só ser um fator de atração potencial de novos investimentos, corroborando que estas tecnologias se tornem preponderantes em um futuro não muito distante.

O surgimento da rota biotecnológica para produção de químicos industriais se constitui em uma mudança de ruptura frente ao modelo pautado pelo uso de insumos de origem fóssil. Este entendimento advém do fato de que uma mudança paradigmática geralmente implica em uma mudança na trajetória tecnológica subjacente, porque os problemas de pesquisa colocados aos esforços de busca dos agentes, ou os dispositivos de focalização para estes esforços, se alteram concomitantemente. Assim, uma mudança paradigmática no modo de desenvolvimento e de fabricação de produtos químicos industriais de forma geral, em termos do uso de matérias-primas renováveis em processos bioquímicos e/ou termoquímicos frente àquelas de origem fóssil, e desdobramentos desta mudança, como a preocupação com relação à possível competição entre a produção de biocombustíveis e de alimentos, altera a focalização dos esforços de busca dos agentes em direção, por exemplo:

- i) Ao desenvolvimento de culturas não-alimentícias com maior conteúdo de celulose por peso e ao aumento da produtividade destas;
- ii) Ao desenvolvimento de microorganismos geneticamente modificados que atuem concomitantemente nas etapas de fermentação e produção de enzimas na geração de biocombustíveis;
- iii) Ao desenvolvimento de químicos de alto valor agregado, como plásticos, surfactantes, solventes, entre outros, baseado na utilização de insumos renováveis, com propriedades e desempenho semelhante ou superior aos de origem fóssil e melhoramentos específicos nas tecnologias de produção destes, como a eliminação da necessidade de moagem do milho na fabricação de PLA.

Grande parte das atividades de busca dos agentes são direcionadas à resolução de desbalanceamentos, ou *trade offs* entre dimensões chave definidas pelo paradigma, e estes então constituiriam os “dispositivos de focalização” supracitados. O caso emblemático é a busca de balanceamento entre as dimensões econômica, constituída principalmente por custos, e técnica, referente a atributos de desempenho em geral (Dosi 1988).

Apesar de não ser o foco deste trabalho, cujo objeto central é o desenvolvimento e fabricação de novos produtos químicos industriais de base biotecnológica, a análise dos desafios técnicos e científicos para consolidação da produção de etanol celulósico, um combustível de

segunda geração, é um caso exemplar da existência de uma trajetória de progresso técnico neste campo, nos termos acima utilizados. O relatório *Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol*, do Departamento de Energia (DOE) dos EUA, nos mostra que um dos principais desafios à consolidação da produção de etanol celulósico por hidrólise enzimática, a via considerada como a mais promissora, é a redução de etapas do processo, de modo que a produção de enzimas, a sacarificação e a fermentação de açúcares de cinco e seis carbonos sejam realizadas conjuntamente, em um processo denominado *Simultaneous Saccharification and CoFermentation* (SSCF), o que corroboraria a viabilidade econômica do processo.

Há ainda outros pontos de focalização que guiam os esforços inovativos relacionados à produção de etanol celulósico por via enzimática, como o desenvolvimento de métodos mais eficientes para libertar os açúcares e a fabricação de produtos químicos a partir da lignina, resíduo natural do processo, o que se constituiria em uma incorporação de nova plataforma tecnológica, de modo condizente à construção do conceito de biorrefinarias. Como resultado deste processo de consolidação, percebemos que os dois grandes campos industriais com aplicações potenciais da biotecnologia, a produção de químicos e de energia, na qual se insere combustíveis, estão conectadas, no sentido de que algumas competências podem ser importantes para atuação em ambos.

Outro conceito fundamental que permeia este trabalho é o de regimes tecnológicos, empregado por Malerba e Orsenigo (1993). Estes autores definem regime tecnológico como sendo a gama de problemas relevantes aos quais as firmas tem que responder, bem como os incentivos e constrangimentos a determinados comportamentos individuais e os mecanismos dinâmicos básicos de sua própria evolução e de concorrentes, da tecnologia e da indústria. Suas dimensões principais são as de oportunidades, apropriabilidade e cumulatividade, além da base de conhecimentos relevante para empreendimento de atividades inovativas.

O conceito de oportunidade está relacionado à facilidade de obtenção de lucros extraordinários da introdução no mercado de resultados do esforço inovativo. Há dois níveis relativos ao conceito de oportunidade. O primeiro diz respeito ao nível de facilidade, ou seja, ao maior ou menor risco associado. Evidentemente, quanto maior o nível de oportunidade, maior é o incentivo à existência de esforços inovativos. O segundo está relacionado à *pervasividade* da oportunidade, que indica a medida pela qual o conhecimento adquirido com o esforço inovativo, inclusive tecnológico, pode ser utilizado em outros projetos.

O surgimento de novas oportunidades tecnológicas pode estar vinculado a fatos endógenos ou exógenos à indústria em questão, dentre os quais se destaca o avanço da fronteira científica em campos relevantes advindos de pesquisa em universidades ou em institutos dedicados, e isto por sua vez está relacionado à complexidade da base de conhecimentos subjacente. É neste sentido que o governo, através de mecanismos de promoção do avanço da fronteira científica, pode facilitar a tomada de decisão privada favorável a novos investimentos em campos onde os desafios colocados sejam demasiadamente complexos (Brooks, 1986).

Já o conceito de apropriabilidade está relacionado à medida pela qual os resultados do esforço inovativo podem ser apropriados pelo inovador pioneiro, em detrimento de sua rápida difusão pelo sistema econômico. Neste sentido, este conceito representa a capacidade de que um agente econômico capte o valor gerado pelo seu esforço inovativo, ao invés de outros entes econômicos a partir da imitação, por exemplo. Consequentemente, é elemento importante do regime de apropriabilidade a política de propriedade intelectual subjacente ao ambiente econômico no qual o agente está inserido.

Em complemento, é característica intrínseca ao sistema capitalista de produção a apropriação privada dos resultados dos esforços inovativos. Como alternativa, o planejamento e a coordenação socialmente centralizada da pesquisa e do desenvolvimento de novas tecnologias tendem a ser ineficientes, porque a grande incerteza existente com relação à alocação ótima de recursos torna muito pouco provável a possibilidade de existência de consenso *ex ante* entre os atores relevantes com relação à alternativa mais adequada. Assim, a multiplicidade de apostas, que deriva da ação de diversos atores econômicos que concorrem entre si para o sucesso inovativo, e a conseqüente seleção pelo mercado daquela mais adequada, faz com que o sistema capitalista esteja em permanente evolução (Nelson, 1990).

Porém, a apropriabilidade não é livre de custos sociais. Afinal, muitas vezes o progresso técnico advém do aproveitamento de oportunidades que resultam de avanços do conhecimento científico público como, por exemplo, do resultado de pesquisas universitárias ou de instituições governamentais (Dosi, 1988). No entanto, apesar desta natureza predominantemente privada da tecnologia no sistema capitalista, há um componente público relevante, que age de modo a diminuir o custo infringido à sociedade.

O monopólio dado ao inovador de sucesso, que lhe dá rendimentos extraordinários que são, em última instância, o incentivo à realização de atividades inovativas, sempre é limitado no tempo e escopo. Os frutos do progresso tecnológico, mesmo que parcialmente, sempre acabam por se difundir, através de benefícios que são transferidos aos usuários, através do aumento do corpo de conhecimentos que poderão ser utilizados em esforços inovativos de outros agentes e através da facilitação da competição subsequente, que corrobora com o fim do monopólio. Neste sentido, a tecnologia é também um corpo de conhecimento genérico que tende a ter propriedades de um bem clube latente¹⁵. Este componente público da tecnologia é também, por sua vez, determinante da natureza evolucionária do sistema, ao alimentar a base de conhecimento que está fortemente vinculada às oportunidades tecnológicas que são percebidas pelos agentes econômicos.

Por fim, o conceito de cumulatividade está relacionado ao fato de que as heurísticas herdadas de projetos passados tendem a estar presentes em futuros projetos. Assim, atividades de busca em determinado *round* inovativo geram conhecimentos e competências que, por sua vez, são inseridas nas rotinas operacionais das firmas, o que facilita a manutenção da posição de inovador no próximo *round*. É interessante notar como a presença de cumulatividade impacta sobre a capacidade de antever novas oportunidades tecnológicas, e de se melhor posicionar com antecedência para um aproveitamento mais consistente das mesmas. O vislumbamento de novas oportunidades, tanto tecnológicas como de mercado, é dependente das capacitações e rotinas idiossincráticas a cada firma. Assim, por exemplo, avanços científicos que motivem uma firma à tomada de decisão com relação à exploração de um campo totalmente novo podem ser insuficientes para a mobilização de esforços de outra firma, ainda que ambas atuem no mesmo mercado. Ademais, a percepção da intensidade de risco relativa a um esforço inovativo é fortemente dependente das competências e rotinas endogenizadas em esforços anteriores. A complementaridade pode ainda estar vinculada à importância de ativos físicos e financeiros construídos com projetos passados.

¹⁵ Bem clube é aquele que possui características de não-rivalidade, ou seja, seu uso por algum agente não impossibilita seu uso por outro, e de exclusão, ou seja, que exige pré-requisitos em termos de ativos e conhecimentos para seu uso efetivo (Coase, R. 1974). A tecnologia, por ser em partes um corpo de conhecimentos tácitos, não facilmente transferíveis, pode ser classificada como um bem clube ou privado (com rivalidade e exclusão) dependendo das características de apropriabilidade e cumulatividade do regime tecnológico subjacente, mas nunca como um bem eminentemente público.

De modo complementar, Dosi (1988), ao olhar para os determinantes das atividades inovativas sobre o sistema econômico como um todo, afirma que a informação disponível sobre certo problema de pesquisa não gera automaticamente uma resolução para o mesmo, de modo que a atividade inovativa está inerentemente vinculada a um processo de descoberta e de criação. Deste modo, o progresso técnico está estritamente ligado ao uso de informação e experiência adquiridos em processos anteriores de busca, assim como à construção de competências específicas e não-codificadas. Assim, o conhecimento publicamente disponível deve ser complementado, para auferimento de sucesso em determinado esforço inovativo, por outras formas de conhecimento mais específicas e tácitas. Neste sentido, a tecnologia é em grande parte idiossincrática àquele que a desenvolve, não sendo facilmente transferida.

No entanto, é necessário ressaltar que muitas vezes ativos e competências acumulados com projetos passados podem inviabilizar o empreendimento de novos esforços inovativos. A firma com posição inovativa de destaque em determinado segmento pode preferir dedicar seus recursos para atividades inovativas que apenas aprofundem o desenvolvimento de ativos já existentes – à semelhança do conceito de *exploitation* utilizado no capítulo 3, ao invés da exploração de oportunidades de ruptura aos produtos e processos convencionais. Consequentemente, estas firmas podem ter suas posições solapadas por um fenômeno do tipo “Destruição Criativa”.

Neste sentido, firmas de destaque na hierarquia inovativa no mercado de produtos químicos industriais pautadas no uso intensivo de recursos fósseis podem vir a ter suas posições ameaçadas pela entrada de novos *players*, ou por aqueles de posições de pouco destaque frente aos parâmetros de operação do paradigma tradicional, pautados no uso de tecnologias de ruptura, mesmo que para o desenvolvimento destas sejam relevantes competências e ativos acumulados no paradigma convencional.

2.2.1 - *O surgimento das novas rotas biotecnológicas para desenvolvimento e produção de químicos industriais: análise da existência e da magnitude de uma janela de oportunidades para catching up tecnológico*

Com relação ao problema de pesquisa do nosso trabalho, coloca-se a questão de porque o momento de ruptura representado pelo advento das novas rotas biotecnológicas seria então adequado para que as firmas brasileiras, que até então ocupam posição de baixo destaque inovativo, empreendam apostas tecnológicas que potencialmente as elevem a uma posição mais proeminente e sólida na indústria química.

Segundo Perez & Soete (1982), o momento de ruptura com o paradigma tecnológico até então vigente se constitui no melhor momento para que *players* até então de menor destaque alcancem e até ultrapassem aqueles de posição inovativa e de mercado mais proeminente, sendo que este momento se constitui em uma janela de oportunidades.

Os *players* tecnologicamente atrasados com relação aos líderes no paradigma convencional podem tirar proveito desta janela, já que os *first-movers*, ou seja, os pioneiros, possuem muitos ativos comprometidos com o paradigma tradicional, e tendem a mudar suas rotinas de atuação de modo relativamente muito mais gradual (Lee & Lim, 2001). Os *first-movers*, conforme será oportunamente discutido, podem padecer das chamadas armadilhas de competências ou de aprendizado, o que colocaria os *players* até então de menor destaque em uma posição vantajosa para assumir posições de liderança apoiados na nova tecnologia. Este tema também foi abordado por Arrow (1962), onde ficou conhecido como “*displacement effect*”.

O conceito de capacidade de absorção auxilia na compreensão do esforço necessário para obtenção de *catching up* tecnológico por firmas. Este conceito é composto por dois diferentes momentos: o primeiro relaciona-se à capacidade da firma de reconhecer o valor de novo conhecimento científico ou tecnológico. Apesar de parecer a princípio algo trivial, isto exige que a firma mantenha canais de comunicação com fontes externas geradores de conhecimento, como universidades e institutos de pesquisa, ou o monitoramento de concorrentes, por exemplo. Já o segundo momento está relacionado à assimilação e aplicação a fins comerciais do conhecimento adquirido. Quão maior for a capacidade de absorção de uma firma, maior será, por exemplo, sua habilidade em aproveitar rapidamente avanços na fronteira científica em campos correlatos a sua área ou áreas próximas de atuação (Cohen & Levinthal, 1989).

Uma das razões para que firmas de até então pouco destaque inovativo venham a solapar as vantagens de líderes em determinado paradigma frente a uma mudança de ruptura está relacionada à existência das chamadas armadilhas de aprendizado, definidas por Levinthal &

March (1993). Estas estão relacionadas ao conflito entre a manutenção e extensão de rotinas que permitem à organização obter um melhor desempenho no curto prazo, porém que impedem um desempenho melhor no longo prazo a partir da introdução de inovações de ruptura, com a incorporação de novas rotinas. Em outras palavras, a firma compromete recursos com ativos e competências importantes para atuação no presente, mas que competem com recursos para a criação de competências e ativos importantes para introdução de mudanças de ruptura, algo importante para a sustentação da sua posição competitiva ao longo do tempo. Este tipo de abordagem é interessante porque mostra que muitas vezes o fracasso de firmas incumbentes frente a eventos de ruptura está relacionado não à sua inabilidade ou inaptidão, mas sim a competências e ativos que garantem, em última instância, sua competitividade no presente.

É importante diferenciar este tipo de armadilha daquele denominado por Levitt & March (1988) como armadilha de competências, ou seja, aquela que atinge firmas que auferem desempenho superior a partir do uso de uma alternativa tecnológica inferior às concorrentes, o que leva a organização a acumular experiência com ela e não com as demais. Caso, no futuro, esta alternativa ou seus desenvolvimentos venham a ser superados por aqueles de alternativas superiores, a firma estará presa a uma trajetória superada e fadada ao fracasso. Neste caso, a armadilha envolve dois diferentes tipos de rotinas que se voltam ao mesmo propósito.

Neste sentido, o advento das novas rotas biotecnológicas para desenvolvimento e produção de químicos industriais pode se constituir em uma oportunidade para que firmas com posições de menor destaque no paradigma convencional na indústria química ganhem musculatura com a operação neste novo ambiente, a partir de estratégias de busca condizentes com os novos parâmetros definidos como relevantes pelo paradigma emergente, mesmo que muitas das competências e dos ativos exigidos para atuação no novo paradigma sejam os mesmos do paradigma convencional, baseado em recursos fósseis.

No entanto, com relação às novas rotas biotecnológicas, é preciso destacar a necessidade da manutenção de uma robusta infraestrutura de P&D por período prolongado de tempo de modo a transformar princípios científicos em produtos com potencial de mercado, incluindo o escalonamento gradual da produção a partir da construção de plantas de diferentes tamanhos e voltadas à resolução de diferentes problemas tecno-econômicos, a partir de uma base consistente de conhecimentos em engenharia química, o que dificulta que *players* emergentes venham a se tornarem líderes inovativos neste campo.

Isto está relacionado à constatação de Kline & Rosenberg (1986) de que o sucesso comercial de uma inovação depende da satisfação de necessidades técnicas a um nível de custo inferior aos substitutos potenciais, ou a satisfação destas necessidades com características qualitativas suficientemente superiores a um nível de custo não proibitivo em comparação com similares de menor eficiência. Porém, apesar de não ser condição suficiente para estabelecer utilidade econômica, o sucesso técnico é uma condição necessária. Segundo estes autores, uma inovação de sucesso requer um *design* que balanceie os requerimentos do novo produto e do processo de manufatura, as necessidades de mercado, e a necessidade de manter uma organização que possa continuamente suportar todas estas atividades de modo efetivo. Assim, cabe a firma procurar se aproximar da combinação ótima entre preço e desempenho, bem como apresentar a mesma ao mercado no momento mais oportuno.

A indústria química nos oferece um excelente exemplo de que só a resposta a oportunidades técnicas e científicas não é suficiente para o alcance do sucesso inovativo. Como nos conta Landau (1998), a Alemanha, na década de 1920, foi pioneira na pesquisa de ruptura na química de polímeros que deu origem a uma nova gama de produtos petroquímicos como plásticos, fibras e borracha sintética. No entanto, esta primazia não garantiu à Alemanha a posterior liderança tecnológica e comercial neste ramo da química, já que as oportunidades econômicas relacionadas a estes campos lhe são limitadas pela inexistência de acesso privilegiado a fontes baratas de petróleo, o que implicou que sua indústria química fosse construída com base principalmente na utilização de carvão mineral.

Semelhantemente, no caso da produção de químicos industriais a partir do uso da biotecnologia, é representativo desta busca pelo balanceamento entre as dimensões técnica e econômica a busca pela redução gradual da incerteza e a existência de diversos esforços que visam a ampliação gradual da escala de produção, passando sequencialmente da fase de pesquisa de laboratório para a produção em escala piloto e de demonstração, de forma antecedente à produção em escala comercial.

O escalonamento gradual da produção, e o teste das condições operacionais da mesma, à semelhança do uso de protótipos em outras indústrias, permite uma melhor visualização de pontos de focalização para realização de esforço inovativo importantes para posterior consolidação econômica, sem incorrer já na partida em custos irreversíveis relacionados

à produção em escala comercial, apesar de que a complexidade para construção de plantas-piloto ser, em geral, muito superior à construção de protótipos .

Isto favorece firmas que já possuem uma robusta infraestrutura e P&D e possibilidade para escalonamento gradual da produção na partida. Assim, o foco de nosso trabalho está em oportunidades abertas a firmas que já possuam alguns destes ativos e competências tradicionais que continuam sendo importantes mesmo frente ao advento de uma mudança de ruptura. Evidentemente, quanto mais robustos forem estes ativos e competências, maior será a vantagem competitiva da firma na partida.

No entanto, apesar destas vantagens serem muito importantes, elas podem não ser suficientes. Uma firma de menor proeminência em termos de posse deste tipo de ativos e competências pode alcançar ou até mesmo ultrapassar uma firma de maior destaque caso a alteração de parâmetros para atividades inovativas favoreça seus esforços inovativos, mesmo que estes sejam muito mais modestos do que o de seus concorrentes. Este seria o caso, por exemplo, do sucesso de uma estratégia do tipo de nicho, como descreveremos melhor na seção a seguir.

O conceito de *catching up* tecnológico está diretamente vinculado a esta conjuntura, ou seja, ao alcance da fronteira tecnológica por estas firmas a partir da aquisição de competências através de um processo de aprendizado para participação efetiva na geração e melhoramento da tecnologia “de fronteira” em oposição ao simples uso desta.

O foco deste trabalho está no *catching up* que pode ser obtido por firmas ao invés de países. Apesar de reconhecermos a importância de um evento deste tipo para que países industrialmente atrasados alcancem estágios superiores de desenvolvimento econômico e industrial, nós buscamos entender como uma firma até então coadjuvante, ou de posição inovativa de pouca proeminência, pode vir a se tornar um líder tecnológico nos mercados onde atua a partir do aproveitamento de uma janela de oportunidade emergente a partir de um evento de ruptura.

Adicionalmente, este trabalho se volta à análise do desenvolvimento de competências tecnológicas que possibilitem às firmas brasileiras a manutenção sustentada de uma posição de destaque na produção de químicos industriais ao invés do simples ganho de *market share*. Este pode ser simplesmente o fruto temporário, por exemplo, de atividades imitativas que não resultem em um processo de aprendizado ou utilização de meios espúrios de competição como, por exemplo, o desrespeito a normas técnicas ou a manutenção de condições precárias de

trabalho. Segundo Lee & Lim (2001), o *catching up* de mercado, entendido como o simples ganho de *market share* por algum meio que não a construção de sólidas competências tecnológicas, somente é possível durante o estágio no qual a simples vantagem de custo é mais importante do que a diferenciação de qualidade ou a inovação de produto, de modo que raramente se sustenta no longo prazo, embora recursos acumulados com práticas deste tipo possam ser relevantes para posterior investimento tecnológico.

O crescimento sustentado de *market share* só é possível a partir da construção de competências tecnológicas que permitam à firma sobreviver à seleção imposta pelo ambiente e, desta forma, os dois tipos de *catching up* – de mercado e tecnológico – estão relacionados.

Devemos ressaltar que as firmas brasileiras de nossa amostra, apesar de possuírem posições de destaque em segmentos muito específicos nos quais atuam, não podem ser consideradas líderes a nível industrial, especialmente com relação a atividades tecnológicas¹⁶. No entanto, este trabalho buscará analisar como estas firmas tem se posicionado de modo a alcançar posições inovativas de maior destaque, frente ao advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e produção de químicos industriais.

Especificamente, o esforço de pesquisa deste trabalho está voltado a inferir se o advento destas novas rotas produtivas, para as quais as competências relevantes são em partes equivalentes àquelas construídas no paradigma anterior, se constitui em uma oportunidade para que firmas brasileiras com posição consolidada no desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais por rota tradicional venham a assumir um papel de liderança inovativa nestes segmentos, dada a dimensão e qualidade de seu esforço inovativo com relação ao de grandes rivais.

2.2.2 - Caracterização do fenômeno e abordagem aos desafios técnico-científicos colocados para empreendimento de atividades inovativas em biotecnologia branca

A concepção do modelo linear de inovação está fortemente relacionada à publicação do relatório *Science, the Endless Frontier* em 1945 por Vannevar Bush, e se constitui num marco teórico que veio a influenciar o modo pelo qual se compreendia a relação entre ciência e

¹⁶ A Braskem ocupa a oitava posição mundial na produção de resinas, e a Petrobrás é considerada uma das principais firmas em exploração de petróleo em águas profundas.

tecnologia e, em última instância, a pautar o papel assumido pelo Estado nos países industrializados como principal promotor do progresso técnico em setores estratégicos a partir da Segunda Guerra mundial (Stokes, 1993).

O modelo linear, em suma, compreende a inovação como sendo um processo sequencial e hierarquicamente definido. O investimento e desenvolvimento da ciência básica (ou pura), entendida neste relatório como a criação de conhecimento em geral, especificamente o entendimento da natureza e de suas leis, é tido como premissa básica para início de qualquer esforço inovativo, pois se compreende este como sendo seu principal insumo, já que daí caminha-se inexoravelmente à pesquisa avançada, ou seja, ao desenvolvimento científico que tem como objetivo a obtenção de aplicações práticas específicas, avançando-se invariavelmente ao desenvolvimento, à produção e introdução certa do produto deste esforço no mercado.

A ciência básica e a ciência avançada eram assim compreendidos como campos completamente separados, que se sucediam em um encadeamento de etapas que culminava invariavelmente com o desenvolvimento tecnológico e a introdução de seus produtos no mercado.

A motivação à atividade de pesquisa, por consequência, estava localizada em um de dois extremos, mas nunca em ambos. De um lado, havia a motivação pelo aumento do entendimento sobre determinado fenômeno sem aplicação prática em vista, o que caracterizava a pesquisa e seus resultados como pertencentes à ciência básica. Por outro lado, havia a pesquisa motivada especificamente por considerações de uso, o que a caracterizava como sendo aplicada. A pesquisa básica é definida também por temas correlatos como liberdade de decisão do pesquisador, originalidade, avaliação pelos pares de resultados e distância no tempo entre a descoberta e a aplicação prática.

Neste sentido, Stokes (1993), analisando algumas experiências reais de pesquisa, coloca em cheque a separação entre pesquisa básica e pesquisa aplicada, já que muitas atividades eram motivadas concomitantemente por objetivos de entendimento e de uso, como, por exemplo, alguns trabalhos inseridos no contexto do surgimento da microbiologia no século XIX, dos quais se destacam os de Pasteur. Este cientista, motivado por considerações de natureza industrial, como a prevenção à deterioração do vinagre e do vinho, por exemplo, passa a buscar o entendimento de processos microbiológicos fundamentais, o que desautoriza a afirmação de que a ciência básica deva permanecer estritamente desvinculada de considerações sobre sua aplicação, se o que se deseja é a promoção do desenvolvimento industrial. Este tipo de pesquisa então,

motivada concomitantemente pelo aumento do entendimento sobre determinado campo científico e por aplicações industriais, passa a ser denominado de pesquisa básica inspirada pelo uso.

O autor cita ainda outros exemplos, como a física inspirada por uma visão industrial vinculada às necessidades do império britânico de Lord Kelvin, no século XIX, e a descoberta de componentes eletrônicos por Langmuir na década de 1910. No mesmo sentido, por exemplo, ciências da terra como a sismologia, a oceanografia e ciências da atmosfera possuem avanços pautados pela sua aplicação na detecção de terremotos, no enfrentamento ao aquecimento global ou a explosões nucleares, respectivamente.

A importância deste tipo de classificação das atividades de pesquisa em determinada indústria para os propósitos de nosso trabalho reside no fato de que esta possui claros impactos sobre as estratégias das firmas com relação à realização de atividades inovativas. Assim, por exemplo, atividades inovativas que exijam concomitantemente o aumento do entendimento sobre princípios científicos e a busca por possíveis aplicações torna necessária, por exemplo, a manutenção de robustas equipes de P&D e canais de comunicação com entidades externas de geração de avanços científicos relevantes a este campo, com destaque para universidades e institutos de pesquisa.

Os esforços de busca pré-competitivos relacionados à rota biotecnológica de geração de produtos industriais de alto valor agregado, objeto deste trabalho, parecem ser da mesma natureza das empreendidas por Pasteur, ou seja, possuem concomitantemente o objetivo de avanço da fronteira científica básica em campos correlatos e objetivos de aplicação industrial dos mesmos. Como estamos tratando de novas tecnologias fortemente baseadas em ciência, não poderia ser diferente, já que as oportunidades para estabelecimento de esforços inovativos nestes campos residem em grande parte em avanços fronteiriços em campos científicos correlatos.

Assim, por exemplo, o Acordo de Pesquisa e Desenvolvimento Colaborativo (CRADA)¹⁷ estabelecido entre o Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) do Departamento de Energia (DOE) dos EUA e entre a estadunidense DuPont em 2003 visou desenvolver o *design* de processos e equipamentos para a conversão eficiente das partes não

¹⁷ O chamado “Acordo de Pesquisa e Desenvolvimento Colaborativo (CRADA)” é firmado entre uma agência governamental estadunidense e uma firma privada para cooperação em um projeto de pesquisa. É necessário ressaltar que o CRADA não é um instrumento de financiamento direto a esforços de pesquisa privados. Pode ser considerado um meio efetivo para transferência de tecnologia, já que permite o compartilhamento patentário entre as partes. Fonte: US Geological Survey. Disponível em: <http://www.usgs.gov/tech-transfer/what-crada.html>. Acesso em 21/09/2010

alimentares do milho, como o sabugo e a palha, em biocombustíveis. O CRADA culminou com o desenvolvimento de um novo processo fermentativo proprietário a partir do desenvolvimento de um novo biocatalisador¹⁸, *Zymomonas mobilis*, capaz de fermentar açúcares a uma alta concentração de etanol celulósico.

De modo semelhante, um CRADA firmado entre o NREL e a Genencor, subdivisão da dinamarquesa Danisco, em 2001, visou a utilização das plataformas tecnológicas integradas da firma de modo a possibilitar o desenvolvimento de um sistema de enzimas que viabilizassem economicamente a etapa de pré-tratamento da conversão de biomassa em etanol celulósico. Apesar de já possuírem na partida uma aplicação prática em vista – desenvolvimento de processos de pré-tratamento e de fermentação, ambos CRADAs exigiram um avanço no entendimento sobre processos microbiológicos fundamentais e em engenharia genética. Em 2008, a DuPont e a Danisco anunciaram a criação de uma *joint venture* para o desenvolvimento e futuro licenciamento de uma tecnologia de processo para produção de etanol celulósico, apoiadas nas competências desenvolvidas no âmbito dos CRADAs com o NREL¹⁹.

Ademais, a DuPont possui ainda participação em diversos outros projetos técnico-científicos que se encaixam no “quadrante de Pasteur”. Em 1995, com a mesma Genencor, esta firma empreendeu pesquisa colaborativa para o desenvolvimento da produção de 1,3 propanediol a partir da glicose a partir de um organismo geneticamente modificado. Para alcance do evidente objetivo de uso aplicado, o projeto buscou a ampliação de entendimento fundamental sobre engenharia metabólica e de vias bioquímicas²⁰.

Há ainda a parceria com o Bio Architecture Lab (BAL) para desenvolvimento de tecnologia e de propriedade intelectual para produção de isobutanol, a partir de macroalgas, um objetivo de uso aplicado, mas que também visa a ampliação do entendimento sobre a aquacultura destes organismos, sobre sua conversão em açúcares fermentáveis e sobre métodos de conversão destes açúcares, além da otimização econômica e ambiental do processo.

¹⁸ No bioprocessamento, uma enzima que ativa ou acelera uma reação bioquímica (Biotechnology Industry Assosiation, 2008)

¹⁹ Fonte: NREL Industry Partners Move Cellulosic Ethanol Technology Forward. Disponível em <http://www.nrel.gov/news/press/2008/600.html> . Acesso em 02/11/2010

²⁰ Fonte: GENENCOR. Pathway Engineering. Disponível em http://www.genencor.com/wps/wcm/connect/genencor/genencor/technology/expressionx_secretion/pathway_engineering/1x3_propanediol/1x3_propanediol_en.htm . Acesso em 02/11/2010

No mesmo sentido, a estadunidense Algenol Biofuels, fundada em 2006, empreendeu pesquisa com o objetivo aplicado de desenvolvimento da produção de etanol a partir de algas, em um processo que denominado *Direct to Ethanol™*. Para tanto, o a firma buscou concomitantemente o aprofundamento de entendimento sobre biologia molecular. Em 2009, a firma firmou uma parceria com a Dow Chemicals para construção de uma planta-piloto para viabilização econômica da produção em escala comercial.

Em conclusão, como desenvolvimentos em produtos e processos em química industrial baseados no uso de biotecnológica branca, que se constitui em mudança de ruptura com relação ao paradigma convencional, devem ser concomitantemente motivados pelo aumento do entendimento sobre campos científicos específicos e por considerações de uso, as estratégias das firmas que pretendam atuar em biotecnologia branca devem incorporar esta problemática.

Como argumentamos ao longo deste trabalho, esta constatação reforça o argumento de que o fenômeno que exploramos, apesar de se constituir em uma janela de oportunidade para firmas de pouca proeminência inovativa no paradigma petroquímico, no sentido de que as barreiras são menores neste contexto do que eram antes, possui uma natureza que faz com que firmas líderes na produção de químicos industriais a partir de recursos fósseis possuam vantagens de partida frente aos seus concorrentes no paradigma da biotecnologia, apesar da possível inércia que o comprometimento com o paradigma anterior em termos de ativos e competências poderia causar.

Após a constatação de que a natureza das oportunidades emergentes com a biotecnologia branca favorece a princípio firmas que já possuem posições de liderança na indústria química, nos voltamos agora à análise de estratégias de firmas incumbentes frente a eventos de ruptura em seus mercados, como é o caso da emergência das novas rotas biotecnológicas nesta indústria.

2.2.3 – O papel de firmas incumbentes como entes geradores de inovações de ruptura

A análise do ambiente econômico tipicamente schumpeteriano e das estratégias dos agentes para sobrevivência deu origem à comparação tecida por economistas evolucionistas – ou evolucionários - entre a evolução industrial e sua contrapartida biológica, especialmente a partir das teorias de Darwin e Lamarck. O processo de aprendizado organizacional representa uma

cumulatividade similar à bagagem genética do processo de evolução biológica, ocorrendo na indústria um processo de seleção por eficiência semelhante à seleção natural. Porém, ao contrário da evolução biológica, os agentes não assistem a este processo inertes, mas conduzem esforços racionais e deliberados de modo a deter as competências necessárias para sobreviver no ambiente competitivo. A “bagagem genética” da firma, assim, é constituída pelas competências acumuladas ao longo do tempo por processo de aprendizagem e embutidas em suas rotinas organizacionais.

Devido ao fato de os agentes econômicos não serem meros coadjuvantes, mas sim participarem ativamente do processo de construção de novas competências e rotinas, direcionando sempre que possível seus esforços de busca em sentidos muito específicos, a evolução econômica se aproxima mais da teoria de Lamarck do que da de Darwin. Assim, a tecnologia, a base de conhecimentos relevante e o contexto institucional moldam e são constrangidos pelo aprendizado, pelo comportamento e pelas competências individuais.

Dois conceitos importantes para entendimento das estratégias adotadas por diferentes *players*, de diferentes posições no paradigma fóssil de produção de químico industriais, são os de busca e seleção de Nelson & Winter (1982).

O conceito de busca, como contrapartida do conceito de mutação na teoria biológica, está relacionado àquelas atividades que a firma empreende de modo a alterar suas rotinas, que são, por sua vez, a contrapartida para os genes em termos biológicos. Os resultados para atividades de busca são então mutações em grande parte dirigidas, e não randômicas.

Já as rotinas são características persistentes, que determinam o comportamento possível das firmas frente ao ambiente econômico evolutivo, ou seja, às atividades voltadas a sua sobrevivência no longo prazo. As rotinas são hereditárias no sentido de que elas perpassam o desenvolvimento da firma, ou seja, são heurísticas que sobrevivem à passagem do tempo, ao crescimento corporativo, a fusões e aquisições, a mudanças organizacionais e assim por diante. As rotinas são dependentes da trajetória da firma e refletem, em partes, interpretações e resultados de ações passadas. Em um sentido mais geral, podem ser compreendidas como constituintes do que se conhece como cultura corporativa. No entanto, são passíveis de alteração, o que, porém, ocorre lenta e gradualmente.

Já o conceito de seleção, no sentido que nos interessa aos propósitos desta seção, está relacionado aos mecanismos pelos quais o mercado seleciona os vencedores em detrimento de

seus concorrentes a partir das suas rotinas e tecnologias. Aqueles com rotinas e tecnologias mais adequadas frente aos parâmetros definidos como relevantes pelo paradigma tecnológico no qual as operações das firmas estão inseridas tendem a sobreviver a prejuízo daqueles com rotinas e tecnologias menos adequadas. Evidentemente, esta constatação é paralela à seleção natural darwiniana.

O advento de eventos de ruptura altera os parâmetros pelos quais o mercado seleciona os *players* com rotinas mais adequadas, de modo que, para sobreviverem, as firmas devem alterar sua “carga genética” a partir de atividades de busca. Em outras palavras, as firmas devem alterar suas rotinas em vista de um objetivo específico e estratégico (Levitt & March, 1988).

Grande parte da literatura acadêmica sobre mudança tecnológica de ruptura reconhece que firmas emergentes ou, em outras palavras, novos entrantes, são as principais fontes de inovações radicais, ameaçando e muitas vezes solapando posições conquistadas por firmas incumbentes. No entanto, segundo estes autores, em alguns casos, firmas com posições estabelecidas podem se tornar a fonte deste tipo de inovação, a partir de uma reinvenção ou simples readaptação de seu portfólio de ativos e competências, de modo a consolidar sua posição a partir de um evento de ruptura com o paradigma no qual atua (Ahuja & Lampert 2001).

Apesar de em muitos casos ativos e competências construídos no paradigma passado serem importantes para competir frente aos novos parâmetros colocados como relevantes para atividades de busca por um evento de ruptura, muitas vezes podem implicar em obsolescência e até mesmo em morte empresarial frente a um ambiente de seleção em mudança. Isto se deve ao fato de que o próprio processo de aprendizado pelo qual passa a firma cria armadilhas ao desenvolvimento futuro, as quais os autores denominam de armadilhas de aprendizado, como acima descrito.

No entanto, as firmas incumbentes podem deliberadamente adotar estratégias que evitem este tipo de armadilha, a partir da renovação de seu portfólio de ativos e de competências, à semelhança do conceito de competências dinâmicas de Teece & Pisano (1994). Segundo Ahuja & Lampert (2001), existem três principais meios pelos quais firmas incumbentes podem evitar esse tipo de armadilha, descritos abaixo de modo crescente com relação à solidez:

- i) Ao explorar tecnologias que lhe são desconhecidas, mas que já existam no mercado, a firma evita o tipo de armadilha denominada pelos autores como familiar, ou seja, a simples extensão da base de conhecimentos já existente ao invés da incorporação de novos conhecimentos;
- ii) Ao explorar tecnologias emergentes, ou seja, ainda inexistentes, porém, baseadas em tecnologias que já existem, a firma evita o tipo de armadilha que os autores denominam de armadilha da maturidade, ou seja, a tendência e direcionar esforços de desenvolvimento a tecnologias já maduras, estritamente relacionadas às vantagens competitiva das firmas incumbentes, ao invés de tecnologias emergentes; e
- iii) Ao explorar tecnologias pioneiras, ou seja, inovações totalmente radicais, não baseadas em tecnologias previamente existentes, as firmas evitam armadilhas de aprendizagem classificadas pelos autores como de propinquidade ou proximidade, ou seja, a tendência em buscar por novas soluções nos arredores daquelas já conhecidas pela firma.

De modo análogo, March (1991) define estratégias de *exploration* como aquelas voltadas à experimentação com novas alternativas, a exploração de um novo campo do conhecimento tecnológico ou a busca por novas habilidades. Já estratégias de *exploitation* estão relacionadas ao refinamento e à extensão dos conhecimentos tecnológicos que a firma já possui, relativo ao uso e, em adição, ao desenvolvimento de poderes já existentes. Ambas as estratégias serão melhor exploradas oportunamente.

Há ainda um tipo de estratégia, concebida por Gells (2002), que muito nos serve frente ao nosso problema de pesquisa. Este autor utiliza o conceito de sistemas sócio-técnicos para descrever os parâmetros exógenos colocados às atividades inovativas dos atores econômicos. Uma das dimensões destes sistemas são os chamados nichos tecnológicos, que se constituem em locais parcialmente isolados da seleção natural de mercado que opera no chamado regime, o que é um conceito similar ao de paradigma tecnológico de Dosi (1982). Os nichos são locais com demandas potenciais extremamente locais, mais específicas do que as dos chamados segmentos de mercado. Quanto mais robusto for o portfólio de ativos e competências da firma,

menos interessante a princípio será a atuação em nicho, já que este não possui uma massa crítica de clientes que justifique este tipo de investimento. Este conceito nos auxilia a compreender como algumas firmas, a partir de esforços extremamente localizados, se inserem em uma trajetória de aprendizado que lhe permitirão acumular ativos e competências para atuação em nível global.

Há oportunidades desta natureza para realização de atividades inovativas em biotecnologia branca por parte de firmas brasileiras. Um exemplo é o desenvolvimento de produtos químicos industriais a partir da soja. Avanços recentes em biotecnologia verde, principalmente através do uso de recombinação genética, permitiram uma alteração do conteúdo de lipídios desta oleaginosa, de modo a aumentar o conteúdo passível de aplicação industrial. Por exemplo, amidas, ésteres e acetatos podem ser utilizados como plastificantes ou desmoldantes para fabricação de polímeros sintéticos. Compostos ligados às aminas, alcoóis, fosfatos e grupos de enxofre são utilizados como amaciadores, surfactantes, emulsificantes, inibidores de corrosão, condicionadores de cabelo, solventes biodegradáveis, bases de cosméticos e perfumes. Em combinação com alumínio e magnésio, compostos derivados da soja podem ser ainda utilizados para produzir gorduras e produtos lubrificantes. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, o que poderia colocar firmas brasileiras em vantagem com relação à exploração de seus subprodutos²¹. Há ainda, por exemplo, oportunidades emergentes para atividades inovativas do tipo de nicho na fabricação de produtos químicos pela exploração de açúcar obtido por aplicação de hidrólise enzimática a subprodutos de espécies vegetais, como a cana-de-açúcar²².

O objetivo central de pesquisa deste trabalho está fortemente relacionado à medida pela qual firmas brasileiras incumbentes, com alguma posição de destaque na indústria química, possam readaptar e reformular seu portfólio de ativos e de competências, através de ganho de novos conhecimentos tecnológicos, de modo a galgar posições inovativas de maior destaque e mais sustentáveis no longo prazo, a partir da exploração do desenvolvimento e produção de químicos industriais a partir da rota biotecnológica, frente a estratégias de grandes concorrentes internacionais seccionados. O capítulo 3 se volta ao aprofundamento desta discussão e à construção de indicadores baseados em patentes que lidem com esta problemática.

²¹ Fonte: Centro de Inteligência da Soja

²² Fonte: EuropaBio. An introduction to the applications of industrial (white) biotechnology europabio's biotechnology information kit

Capítulo 3: Análise do posicionamento tecnológico de firmas brasileiras com relação a outros players na indústria química frente ao advento das novas rotas biotecnológicas

3.1.1 Metodologia

Todas as buscas e análises derivadas de portfólios de patentes realizadas neste trabalho foram construídas a partir do uso da base privada *Derwent Innovation Index*, um dos produtos do portfólio da ISI Web of Science, de propriedade da Thomson Reuters.

Segundo informações da firma²³, a base é a mais abrangente em termos globais. Conta com mais de 16,8 milhões de patentes registradas de 1963 até o presente, cobrindo registros de 41 diferentes autoridades relacionadas à propriedade intelectual no mundo. É importante notar que esta abrangência, apesar de importante dado que a amostra utilizada neste trabalho inclui firmas de diversos lugares do mundo, incorpora as assimetrias existentes entre a política de patenteamento de cada escritório.

Diariamente, especialistas da base analisam, resumem e indexam manualmente novos documentos de patentes. Este trabalho considera que esta é uma de suas principais virtudes, facilitando para leigos ou para pessoas com baixo conhecimento técnico sobre determinado campo do conhecimento tecnológico a realização de pesquisas e análises com razoável grau de complexidade. Especialmente, isto se torna possível a partir da utilização da ferramenta Análise de Resultados após a execução de determinada busca. A partir desta ferramenta, é possível gerar tabelas e gráficos para até sete diferentes campos: Campos do Conhecimento Tecnológico; Nome do Cessionário; Código do Cessionário (elaborado pela própria base); Inventor; Códigos da Classificação Internacional de Patentes; Código de Classe (idem); e Código Manual Derwent (ibidem).

Uma característica importante da base no sentido acima descrito é a de que seus especialistas reescrevem os títulos das patentes, de modo a fazer com que estes representem com mais acuidade seu conteúdo e a torná-los mais descritivos e compreensíveis.

²³ Fonte: <http://thomsonreuters.com/content/legal/products/DWPI>

No entanto, há importantes limites colocados às pesquisas realizadas na base que, em última instância, moldam seus resultados. Os principais, relacionados às buscas realizadas no âmbito deste trabalho, são:

- i) Cada *query* ou consulta comporta, no máximo, 50 termos;
- ii) Cada busca retorna, no máximo, os 100.000 resultados mais recentes;
- iii) Cada campo da ferramenta Análise de Resultados apresenta apenas os 500 principais retornos. Assim, por exemplo, para dado portfólio de patentes, resultado de uma busca específica, é possível ter acesso descritivo apenas aos 500 principais códigos da Classificação Internacional de Patentes nos quais estas patentes foram classificadas; e
- iv) O número total de conjuntos de pesquisa que se pode realizar em determinada seção é de 200.

Grande parte do conhecimento envolvido na construção de consultas envolvendo documentos de patentes é de natureza tácita, de difícil replicação. No entanto, para os propósitos deste trabalho, além dos limites já citados, é importante tecer algumas considerações sobre a construção de uma *query* ou consulta.

Primeiramente, as buscas realizadas no âmbito deste trabalho se referem ao período 2000 -2009. Incluir o ano de 2010 significava lidar com um universo de patentes em constante expansão, já que grande parte do trabalho foi realizada neste ano, o que enviesaria a análise de resultados. Além disto, a base só aceita buscas em língua inglesa.

Todas as consultas realizadas neste trabalho na base Derwent foram concebidas no campo Busca Avançada. Uma *query* – consulta – é formada por *tags* ou e por operadores booleanos. Uma *tag* é um rótulo de campo, ou seja, representa o campo do documento de patente no qual a busca será realizada. As *tags* utilizadas neste trabalho foram as seguintes:

Quadro 3.1 – *Tags* utilizadas para formação de *queries* na base Derwent

Tag	Função
AN	Nome de Cessionário
CA	Cessionário Citado
DC	Código de Campo Tecnológico Elaborado Pela Própria Base
TS	Tópico
AU	Nome do Inventor
PN	Número da Patente

Já operadores booleanos são utilizados para indicar uma ação específica. Os três principais operadores booleanos utilizados foram:

- i) AND: recupera somente resultados onde termos indicados ocorram conjuntamente;
- ii) SAME: recupera somente resultados onde termos indicados ocorram conjuntamente e na mesma sentença. Entende-se por sentença uma sequência limitada por um ponto final; e
- iii) NOT: exclui resultados que contenham determinado termo de busca.

Outra ferramenta importante que utilizamos em algumas *queries* neste trabalho é o truncamento, representado pelo símbolo “*”. Aqui, ele foi utilizado para recuperar todas as menções de determinada palavra ou de um radical específico. Assim, por exemplo, com o uso do termo *purif** na *query* utilizada para recuperar patentes no campo Membranas de Purificação de Água, DC= D15 AND TS= (membrane SAME purif*), queremos recuperar sentenças que contenham concomitantemente a palavra *membrane* e palavras que contenham o radical *purif*, como *purification* ou *purify*.

Neste ponto é importante ressaltar que, em alguns casos, é relevante a diferença entre uma busca que utilize um determinado termo no singular e uma busca que utilize o truncamento como forma de recuperar as diversas variações desta mesma palavra. Assim, por exemplo, a busca para o período 2000 - 2009 com a *query* TS= antibody, que visa recuperar documentos de

patentes nos resumos dos quais a palavra em questão esteja incluída, retorna 60.915 resultados. Já a busca com a *query* TS= antibod*, que possui o mesmo objetivo, porém, incluindo concomitantemente o plural daquele termo, recupera 70.848 resultados, uma diferença de 16,31%.

3.1.2 – Construção das queries para biotecnologia, suas subdivisões e outros campos do conhecimento tecnológico

Para biotecnologia, de onde derivamos as subdivisões branca, verde e vermelha, construímos e testamos três diferentes *queries*, dentre as quais escolhemos a que consideramos ser a mais apropriada para os propósitos deste trabalho. Abaixo, uma tabela com as três *queries* testadas, sua definição, o número total de patentes recuperadas (n) e o número de patentes recuperadas classificadas como pertencentes ao campo Biotecnologia & Microbiologia Aplicada, segundo a classificação concebida pela base no campo Campos do Conhecimento Tecnológico da sua ferramenta Análise de Resultados:

Quadro 3.2 – Possíveis *queries* para patentes em biotecnologia

Query	Descrição	n	Registros em Biotecnologia & Microbiologia Aplicada
1) IP= (A01H-001/00 OR A01H-004/00 OR A61K-038/00 OR A61K-039/00 OR A61K-048/00 OR C02F-003/34 OR C07G-011/00 OR C07G-013/00 OR C07G-015/00 OR C07K-004/00 OR C07K-014/00 OR C07K-016/00 OR C07K-017/00 OR C07K-019/00 OR C12M OR C12N OR C12P OR C12Q OR C12S OR G01N-027/327 OR G01N-033/53 OR G01N-033/54 OR G01N-033/55 OR G01N-033/57 OR G01N-033/68 OR G01N-033/74 OR G01N-033/76 OR G01N-033/78 OR G01N-033/78 OR G01N-033/92)	Códigos da Classificação Internacional de Patentes(CIP) relacionados a Biotecnologia levantados pela OCDE (2005)	100.343	81.847 (81,67%)

<p>2) IP= (A01H-001/00 OR A01H-004/00 OR A61K-038/00 OR A61K-039/00 OR A61K-048/00 OR C02F-003/34 OR C07G-011/00 OR C07G-013/00 OR C07G-015/00 OR C07K-004/00 OR C07K-014/00 OR C07K-016/00 OR C07K-017/00 OR C07K-019/00 OR C12M OR C12N OR C12P OR C12Q OR C12S OR G01N-027/327 OR G01N-033/53 OR G01N-033/54 OR G01N-033/55 OR G01N-033/57 OR G01N-033/68 OR G01N-033/74 OR G01N-033/76 OR G01N-033/78 OR G01N-033/78 OR G01N-033/92) AND TS= (3-HPA OR biopesticide OR cell SOME receptor OR biomass OR 1,3-propanediol OR cellulose OR immune SOME stimulant OR fermentation OR biofuel OR genetically SOME modified SOME crop OR gene SOME therapy OR genomics OR cellulosic SOME ethanol OR herbicide SOME tolerant OR genome OR proteomics OR PLA OR insect SOME resistant OR monoclonal SOME antibod* OR recombinant SOME DNA)</p>	<p>Códigos CIP + Termos do glossário presente no Biotechnology Guide (2008) da Biotech Industry Association</p>	<p>40.602</p>	<p>37.719 (92,90%)</p>
<p>3) TS= (3-HPA OR biopesticide OR bioplastic OR cell receptor OR biomass OR 1,3-propanediol OR cellulose OR immune stimulant OR fermentation OR biofuel OR genetically modified crop OR gene therapy OR biopolymer OR cellulosic ethanol OR herbicide tolerant OR genome OR biomaterial OR PLA OR insect resistant OR monoclonal antibod* OR recombinant DNA OR genomics OR gene probes OR genetic engineering OR DNA sequencing OR DNA synthesis OR DNA</p>	<p>Termos do glossário + técnicas de processo em biotecnologia levantadas pela OCDE (2005)</p>	<p>256.406</p>	<p>133.397 (52,03%)</p>

amplification OR RNA sequencing OR RNA synthesis OR RNA amplification OR antisense OR sequencing proteins OR proteomics OR protein isolation OR signaling OR cell receptors OR cell culture OR tissue culture OR cellular fusion OR immune stimulants OR embryo manipulation OR fermentation SOME bioreactor OR bioprocessing OR biopulping OR biobleaching OR biofiltration OR phytoremediation OR bioinformatics OR nanobiotechnology)			
---	--	--	--

A *query* que recuperou um maior número de patentes classificadas como pertencentes ao campo Biotecnologia & Microbiologia Aplicada foi aquela composta por termos retirados de um glossário para biotecnologia industrial da Biotechnology Industry Association (*Guide to Biotechnology, 2008*) e de uma lista da OCDE de técnicas importantes para operação em biotecnologia (*The list-based definition of biotechnology techniques, 2005*), selecionados de acordo com conhecimento tácito dos responsáveis por este trabalho acerca destas dimensões, e este foi o critério utilizado para justificar a sua escolha.

No entanto, reconhecemos que uma *query* que recupere mais resultados possivelmente inclua uma fração maior de resultados que não interessam aos objetivos de análise deste trabalho. No entanto, consideramos ser menos grave a inclusão de resultados que não nos interessam do que a exclusão de resultados importantes, de modo que mantivemos a escolha da *query* nos termos supracitados.

É importante ressaltar que nossa classificação de determinada patente como pertencente ou não às rotas biotecnológicas de produção está apoiada na classificação realizada por especialistas da base Derwent, de modo que replicamos aqui consequentemente os possíveis erros e acertos desta classificação.

As *queries* para as subdivisões em biotecnologia aqui utilizadas – branca, verde e vermelha - são refinamentos desta principal. Mais uma vez, nos apoiamos no uso da ferramenta Análise de Resultados da base Derwent, especificamente na manipulação dos resultados a partir da classificação por Campo do Conhecimento Tecnológico.

A *query* para biotecnologia verde foi construída pelo refinamento desta busca principal por aqueles resultados classificados como pertencentes ao campo Agricultura. Já a *query* para biotecnologia vermelha, por sua vez, foi construída pelo refinamento desta busca principal por aqueles resultados classificados como pertencentes ao campo Farmacologia & Farmácia.

Já a *query* para biotecnologia branca foi construída a partir da exclusão dos resultados recuperados pela *query* indicada acima classificados como pertencentes aos campos Agricultura e Farmacologia & Farmácia, relacionados às outras duas subdivisões que utilizamos. É importante ressaltar que este campo é por definição mais abrangente do que as duas em termos de campos aos quais é passível de ser aplicada, com fronteiras menos definidas e mais voláteis. Em termos da construção da *query*, isto significa que este campo inclui diversos Campos do Conhecimento Tecnológico, nem sempre facilmente identificáveis a partir da classificação da base.

Já as *queries* que elaboramos para recuperar patentes de outros campos do conhecimento tecnológico para serem comparados às subdivisões da biotecnologia, em especial às aplicações a processos e produtos industriais, foram construídas a partir do uso da *tag* DC, relacionada a classificações construídas pela própria base para diferentes campos tecnológicos, à qual acrescentamos palavras-chave do nome ou da descrição da tecnologia em questão. Optamos pelo uso deste operador por se constituir, em nosso entendimento, no meio mais equânime para comparação de diferentes campos tecnológicos sobre os quais possuímos pouco conhecimento empírico. Deste modo, nos pautamos pelas análises de especialistas da própria base sendo que, novamente, assumimos seus erros e acertos. As *queries* utilizadas foram as seguintes:

- Células de Combustível: DC= (L03 OR X15) AND TS= (fuel SAME cell*)

Na qual *L03* = *Electro-(in)organic - chemical features of conductors, resistors, magnets, capacitors and switches, electric discharge lamps, semiconductor and other materials, batteries, accumulators and thermo-electric devices, including fuel cells, magnetic recording media, radiation emission devices, liquid crystals and basic electric elements*; e *X15* = *Non-Fossil Fuel Power Generating Systems*;

- Energia Eólica: DC= X15 AND TS= (wind SAME energy)
- Membranas de Purificação de Água: DC= D15 AND TS= (membrane SAME purif*)

Na qual *D15 - Chemical or biological treatment of water, industrial waste and sewage - including purification, sterilising or testing water, scale prevention, treatment of sewage sludge, regeneration of active carbon which has been used for water treatment and impregnating water with gas e.g. CO2, but excluding plant and anti-pollution devices.*

A próxima seção se destina à construção dos indicadores derivados de patentes para tecer considerações sobre a existência ou não de uma janela de oportunidades para *catching up* tecnológico nos termos anteriormente discutidos constituída pelo advento das novas rotas biotecnológicas para produção de químicos industriais, bem como sobre o posicionamento de firmas brasileiras para aproveitamento desta janela frente a grandes concorrentes internacionais selecionados.

3.2 *Análise de alterações de ruptura nas dimensões do regime tecnológico na indústria química a partir do advento das novas rotas biotecnológicas e do posicionamento de firmas brasileiras incumbentes em comparação a grandes concorrentes internacionais selecionados*

Como já discutimos, o objetivo geral deste trabalho é o de avaliar, em grande parte, porém não exclusivamente, apoiados em atividades patentárias recentes, como as firmas brasileiras de posição de algum destaque na indústria química estão posicionadas para aproveitamento da janela de oportunidade que o advento de novas rotas biotecnológicas para desenvolvimento de produção de químicos industriais potencialmente representa. Especificamente, buscaremos tecer considerações acerca das estratégias destas firmas para *catching up* tecnológico de modo a assumirem uma posição proeminente e sustentada na hierarquia inovativa desta indústria. A análise do posicionamento das firmas brasileiras é

construída a partir da comparação da força de seu portfólio de patentes em biotecnologia branca e da incorporação de estratégias de *exploration* e de *explotation* em comparação a grandes firmas incumbentes que concorrem diretamente com as firmas brasileiras neste segmento.

Porém, antes de adentrar a análise do posicionamento das firmas brasileiras, este trabalho buscará caracterizar de modo mais acurado a janela de oportunidades que representa o advento das novas rotas biotecnológicas, a partir da construção de indicadores que visam trazer *insights* sobre as dimensões do regime tecnológico subjacente a indústria química frente a este advento. Sumariamente, os objetos de análise deste capítulo são:

1. O regime tecnológico relacionado à biotecnologia branca bem como seu impacto sobre o padrão setorial de inovação correlato; isto permitirá lançar luz sobre as condições de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade destes campos do conhecimento, e sobre a complexidade da base de conhecimentos subjacentes, e na formatação exercida por estas variáveis sobre fatores como concentração setorial, dinâmica da hierarquia de inovadores e tamanho científico médio das firmas, por exemplo; e
2. *Insights* sobre estratégias de *exploration* de firmas brasileiras em comparação a grandes *players* do setor químico, de modo a extrair informações sobre a força relativa do portfólio de patentes em biotecnologia branca, a fim de tecer algumas considerações sobre seu posicionamento para empreendimento de *catching up* tecnológico.

3.2.1 – *Análise de dimensões do padrão de atividades inovativas em biotecnologia branca e insights sobre a existência de uma janela de oportunidade para catching up tecnológico*

Analisando a relação entre o ambiente tecnológico e o de aprendizado a partir de uma perspectiva setorial, bem como aquela verificada entre a taxa de inovação e a estrutura das atividades inovativas em determinado setor, chega-se a conclusão de que a diferença entre padrões setoriais de esforços inovativos, representados pelos dois grandes estágios do ciclo de evolução industrial schumpeteriano acima mencionados, Destruição Criativa e Acumulação Criativa, está diretamente relacionada à distinção fundamental entre os regimes tecnológicos

subjacentes a estes modelos. Neste sentido, diferenças intersetoriais com relação à intensidade inovativa estão diretamente relacionadas a diferentes condições de oportunidades tecnológicas, possibilidades de apropriação dos resultados de esforços inovativos e à medida pela qual novos projetos estão pautados no conhecimento, competências e ativos acumulados em projetos passados, além da complexidade da base de conhecimentos relevante (Malerba & Orsenigo, 1997).

Como supracitado, a Destruição Criativa é caracterizada por barreiras à entrada relativamente menores e uma pela possibilidade de alcance de uma posição de maior proeminência por firmas que até então não possuíam uma posição inovativa de destaque naquela indústria ou por novos entrantes. A incerteza com relação às condições futuras de mercado, neste estágio, é extremamente elevada, tanto sobre o resultado dos esforços de busca dos agentes como sobre princípios científicos e tecnológicos e procedimentos de busca de soluções nos quais estes esforços poderão se basear. Neste estágio, são características atividades inovativas do tipo “tentativa e erro”, que potencialmente podem inserir a firma que as empreende em uma nova trajetória de aprendizado relacionada à tecnologia emergente.

No entanto, devido à turbulência e instabilidade causados pelo evento de ruptura, mesmo iniciativas que se mostrem a princípio muito promissoras nesta fase podem vir a fracassar devido a alterações no ambiente de seleção e nos parâmetros relevantes às atividades de busca dos agentes. Neste sentido, os *players* se beneficiam mutuamente tanto dos erros como dos acertos de seus concorrentes que se mostrem na partida promissores, mas que depois venham a aprisioná-los em uma rota ultrapassada devido a alterações conjunturais.

Já a Acumulação Criativa possui a prevalência de grandes firmas com posições consolidadas, inclusive com relação a atividades inovativas e a presença de fortes barreiras a entrada. Porém, a incerteza, apesar de delimitada, ainda é alta com relação às condições futuras do ambiente de seleção. É necessário que as firmas mantenham o monitoramento de concorrentes e do surgimento de novas oportunidades para realização de esforço inovativo advindas, por exemplo, de avanço tecnológicos à montante das cadeias nas quais atuam. O quadro abaixo visa compilar as principais diferenças entre os dois estágios do ciclo de evolução industrial schumpeteriano com relação às dimensões-chave dos regimes tecnológicos subjacentes:

Quadro 3.3 – Diferenças entre os dois grandes marcos de evolução industrial schumpeterianos

	Destruição	Acumulação
Oportunidade	Alta	Alta ou Baixa
Apropriabilidade	Baixa	Alta
Cumulatividade	Baixa	Alta

Fonte: Elaborado a partir de Malerba & Orsenigo (1995)

A base de conhecimentos relevante também possui fortes impactos sobre os padrões de atividade inovativa. Quanto mais tácito, complexo, dinâmico e parte de um sistema maior for o conhecimento relevante, mais informais serão seus meios de transmissão, de modo que o acesso das firmas a ele se torna mais dificultado. Em outras palavras, o conhecimento tende a se difundir menos daqueles *players* que o possui para aqueles que não, e tende a haver, *ceteris paribus*, uma maior estabilidade na hierarquia inovativa. Por outro lado, quanto mais padronizado, codificado, simples e independente for o conhecimento relevante, mais formais e acessíveis são os meios relevantes de transmissão, como publicações, patentes e licenças, o que não significa que sua absorção ocorra de modo automático mas que, por outro lado, tende a fazer com que haja uma maior turbulência na hierarquia inovativa.

O conceito de *lock in* tecnológico é importante para explicar porque iniciativas promissoras no princípio se tornam ultrapassadas. Segundo Arthur (1989), quanto mais uma tecnologia é adotada, ou seja, quanto mais ela se difunde pela estrutura industrial, mais experiência se ganha com ela em termos agregados, e mais ela é submetida a um processo de melhoramento com relação à sua concepção original, o que corrobora que mais agentes venham a adotá-la. Este círculo virtuoso faz com que as atividades de pesquisa & desenvolvimento dedicadas a uma tecnologia possuam retornos crescentes. Quando duas tecnologias concorrem entre si, um evento aleatório, atingindo uma, insignificante a primeira vista, pode dar-lhe vantagem concorrencial potencial, fazendo que seja mais adotada e melhorada, e assim por diante, até excluir a tecnologia alternativa.

Como já mencionamos, na indústria química é comum o fato de que, após o lançamento de um novo produto por uma grande firma, os primeiros a melhorar ou adotar por licenciamento esta nova tecnologia – *fast followers* - também se tornem líderes neste segmento. Este processo é um típico caso de ciclo virtuoso do tipo “Adoção – Melhoramento – Adoção”

acima descrito. No entanto, é necessário ressaltar que estes *players* também necessitam de uma forte infraestrutura de P&D e de ativos complementares.

Por sua vez, este tipo de evento reforça a incerteza e o risco associados a investimentos inovativos – ou apostas – em campos pré-paradigmáticos, como no caso das novas rotas biotecnológicas sob nossa análise, já que eventos aleatórios ou fortes políticas de indução podem fazer com que uma alternativa em determinado campo seja adotada e, pelo mecanismo descrito por Arthur (1989), venha a excluir suas concorrentes, mesmo que com características técnicas inferiores às demais.

Deste modo, mesmo conhecimentos robustos sobre preferências dos usuários e sobre possibilidades tecnológicas podem não ser suficientes para garantir sucesso de mercado, já que na presença de retornos crescentes eventos aleatórios podem fazer com que investimentos convirjam para opções tecnológicas com potencial de longo prazo inferior.

Um setor caracterizado pela presença de fortes oportunidades tecnológicas, *ceteris paribus*, tende a provocar, a princípio, uma grande turbulência de entrada de novos *players* e uma alta instabilidade na hierarquia inovativa. No entanto, a presença de fortes oportunidades corrobora a concentração setorial por firmas incumbentes, já que, conforme algumas firmas estabelecidas afirmam sucesso e imponham um *design* dominante ao mercado, estas adquirem vantagens competitivas de modo a expulsar alguns inovadores. Assim, a concentração setorial está fortemente relacionada à existência de oportunidades tecnológicas robustas, visto que, na ausência destas, há restrição ao crescimento inovativo de firmas incumbentes, pois não há perspectivas de uso de conhecimentos e ativos acumulados ao longo do tempo de modo estratégico. Nestas condições, cria-se uma grande estabilidade hierárquica entre as firmas inovativas e uma estrutura industrial menos concentrada emerge.

Como as novas rotas biotecnológicas são fortemente baseadas em ciência, as universidades e os institutos de pesquisa, instituições chave para avanço da fronteira científica, possuem um papel fundamental na geração de novas oportunidades para realização de esforço inovativo neste campo, o que possui claros reflexos sobre as estratégias que as firmas que pretendem atuar neste campo devem adotar. Torna-se necessária, por exemplo, a manutenção de uma robusta equipe de P&D de modo a transformar rapidamente princípios técnico-científico sem conceitos para desenvolvimento de produtos, assim como canais sólidos de comunicação com universidades e institutos de pesquisa, bem como *start ups* da indústria.

Já a existência de fortes condições de apropriabilidade, por sua vez, limita os transbordamentos de conhecimento de modo a permitir que as firmas se apropriem dos resultados de seus esforços inovativos, incentivando a manutenção e o aprofundamento deste tipo de investimento. Nestas condições, favorece-se a concentração industrial, já que se torna difícil a manutenção de posições pautadas por comportamentos tecnológicos imitativos. A presença de um forte regime de apropriabilidade também está relacionado a um número relativamente menor de inovadores, e a menor alteração na hierarquia inovativa ao longo do tempo.

Por fim, a presença de forte cumulatividade, ao permitir que heurísticas perpassem os projetos inovativos, quando ao nível da firma, faz com que haja uma persistência em esforços desta natureza. Quando ao nível do setor, corrobora uma forte estabilidade na hierarquia de firmas inovativas, com entradas nulas ou baixas de novos inovadores, já que o processo de seleção favorece *players* com acúmulo de competências e ativos importantes.

O padrão de atividades inovativas representado pela Acumulação Criativa schumpeteriano é caracterizado por um regime tecnológico com condições robustas de oportunidades para investimentos inovativos, apropriabilidade dos resultados destes investimentos e onde competências e ativos acumulados com projetos passados sejam relevantes para empreendimento de projetos presentes.

Por sua vez, a Destruição Criativa é caracterizada por condições de altas ou baixas oportunidades tecnológicas – quanto maior, mais este padrão é reforçado – baixas condições de apropriabilidade e baixa cumulatividade ao nível da firma. Isto gera uma baixa concentração de atividades inovativas, a inexistência de um *design* dominante e à profusão de apostas tecnológicas, o que causa instabilidade na hierarquia inovativa entre os *players*. Mesmo que as vantagens inovativas de algumas firmas sejam a princípio robustas, não há meios irreversíveis de protegê-las do comportamento imitativo de outras firmas, de modo que é difícil estabelecer uma posição de liderança tecnológica por muito tempo. Somado ao alto dinamismo das atividades inovativas, que faz com que as inovações rapidamente se tornem obsoletas, esta característica exacerba a incerteza para investimentos desta natureza.

O objetivo central de pesquisa desta parte do trabalho não foi o de classificar o padrão de atividades inovativas em biotecnologia branca como pertencente a um de dois pólos dicotômicos relacionados ao ciclo de evolução industrial schumpeteriano, mas sim o de tecer considerações sobre a existência e magnitude de uma janela de oportunidades para realização de

atividades do tipo *catching up* tecnológico com relação a outros campos tecnológicos selecionados, e sobre quais os padrões de apropriabilidade e cumulatividade necessários para aproveitamento desta (Malerba & Orsenigo, 1995).

De modo a caracterizar o padrão de inovação em biotecnologia branca e o ambiente de seleção subjacente, buscaremos analisar o regime tecnológico prevalecente ou, em outras palavras, as condições de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade colocadas às firmas que atuam ou que pretendem atuar nestes campos. Nossa principal intenção aqui é a de analisar a natureza e o grau de oportunidade que representa o advento das rotas biotecnológicas para empreendimento de atividades inovativas na indústria química frente a outros campos emergentes. Os indicadores de padrões de atividades inovativas utilizados nesta seção serão:

- i) Concentração das atividades inovativas;
- ii) Assimetrias entre os grupos de inovadores de maior e de menor destaque;
- iii) Tamanho das firmas inovadoras; e
- iv) Mudança ao longo do tempo na hierarquia de inovadores.

No caso de campos tecnológicos emergentes, maiores oportunidades desta natureza parecem estar relacionadas a: baixa concentração de atividades inovativas; baixa assimetria entre inovadores de maior e menor destaque; baixo tamanho das firmas inovativas; e uma grande turbulência na hierarquia de inovadores.

Os três primeiros indicadores são convencionalmente utilizados em debates acerca da “hipótese schumpeteriana”, ou seja, permitem analisar a extensão na qual as atividades inovativas tendem a se concentrar em poucas firmas, e qual o tamanho padrão dos principais inovadores em um campo tecnológico específico. O indicador de mudança na hierarquia inovativa, por sua vez, está relacionado à análise do grau de estabilidade ou de dinamismo na organização das atividades desta natureza (Malerba & Orsenigo 1997).

O quadro abaixo compila as características dos padrões de inovação típicos de cada estágio do ciclo de evolução industrial:

Quadro 3.4 – Características dos padrões de inovação típicos da Destruição Criativa e da Acumulação Criativa

	Destruição	Acumulação
Concentração	Baixa	Alta
Assimetrias entre Inovadores	Baixas	Altas
Tamanho das Firmas Inovadoras	Baixo	Alto
Δ Hierarquia de Inovadores	Alta	Baixa

Fonte: Elaborado a partir de Malerba & Orsenigo (1995)

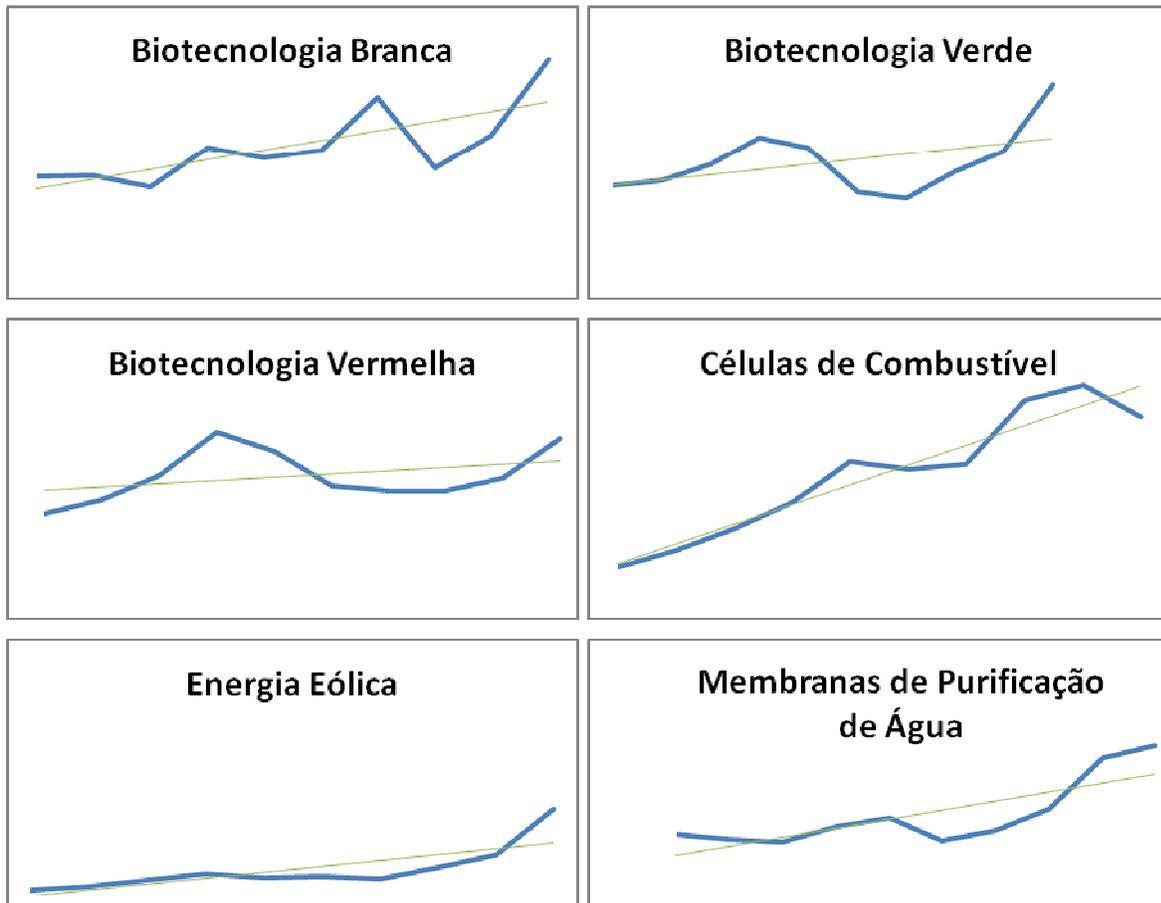
Para comparação com a biotecnologia branca, escolhemos campos tecnológicos emergentes, com grande aumento da atividade patentária e que se constituem em tecnologias consideradas como sendo ambientalmente amigáveis, o que faz com que venham ganhando crescente atenção por parte de firmas, consumidores e tomadores de decisão política.

É necessário ressaltar que optamos por incluir apenas campos tecnológicos com mais de 1.000 patentes acumuladas (n) no período de análise. Isto se deve ao fato de que em campos muito incipientes, em termos o número de patentes acumuladas, as oportunidades tecnológicas ainda não amadureceram suficientemente para encorajar o engajamento de *players* com maior potencial, que podem preferir esperar o avanço em áreas científicas correlatas para dar início aos seus esforços inovativos. Evidentemente isto pode acarretar algum atraso, mas este pode ser coberto, por exemplo, com aquisições.

Os campos tecnológicos escolhidos para comparação com a biotecnologia branca foram:

- Células de Combustível: baterias de operação contínua que convertem energia química diretamente em energia elétrica e/ou térmica. Podem ser utilizadas, por exemplo, para a locomoção de automóveis. Como não consomem combustíveis fósseis, possuem um impacto ambiental relativamente muito menor do que as atuais alternativas;
- Biotecnologia Verde: biotecnologia aplicada a produtos e processos agrícolas;
- Biotecnologia Vermelha: biotecnologia aplicada a produtos e processos farmacêuticos;
- Energia Eólica: tecnologias para aproveitamento da energia cinética contida nas massas de ar em movimento para produção de energia elétrica ou para trabalhos mecânicos como bombeamento de água, praticamente sem impactos sobre o meio-ambiente; e
- Membranas de purificação de água: membranas que possibilitam procedimento físico de separação de partículas por serem semipermeáveis. São utilizadas, por exemplo, para dessalinização da água do mar em localidades com baixa disponibilidade de água potável, ou para tratamento e reciclagem de águas residuais.

Abaixo, a representação gráfica da evolução da atividade patentária recente para cada campo tecnológico de nossa análise. O eixo vertical representa o número de patentes, e o horizontal o tempo:



Todos os campos tecnológicos analisados possuem um crescimento muito relevante de sua atividade de patenteamento, apesar de diferir com relação à intensidade, como podemos inferir da tabela abaixo:

Tabela 3.1 – Média de crescimento anual da atividade de patenteamento

Campo Tecnológico	Média de Crescimento Anual (2000 – 2009)
Biotecnologia Branca	22,54%
Biotecnologia Verde	18,83%
Biotecnologia Vermelha	18,63%
Células de Combustível	73,98%
Energia Eólica	133,70%
Membranas de Purificação de Água	22,87%

O trabalho se volta agora à construção de cada um dos indicadores descritos.

3.2.1.1 –Índice de Concentração

O Índice de Concentração (IC) mede a centralização de patenteamento pelos *players* com posições de maior destaque na hierarquia inovativa para dado campo tecnológico. Consideraram-se, além de firmas, universidades, institutos de pesquisa e inventores individuais. Ele representa os portfólios dos *players* de maior destaque na hierarquia inovativa para o período 2000 – 2009 que, quando somados, representam 25% do total de patentes neste campo ou, em outras palavras, o primeiro quartil. Desta forma, quanto menor o IC, mais concentrado é o campo tecnológico em questão.

Como a ferramenta Análise de Resultados da base *Derwent* apresenta apenas os portfólios de patentes dos 500 principais *players* de determinada hierarquia inovativa, consideramos como o total de patentes em determinado campo tecnológico, para o período 2000–2009, o somatório dos portfólios de patentes destes *players*.

É importante ainda ressaltar que não foram excluídos os resultados de atividade de co-patenteamento, ou seja, patentes registradas sob nome de mais de um *player* devido a atividade de desenvolvimento conjunta, de modo que pode haver dupla contagem.

Uma forma alternativa de construção de indicador para comparação de concentração inovativa entre campos tecnológicos seria a análise do número de patentes sob propriedade dos dez *players* de maior proeminência, por exemplo. Porém, com isto não estaríamos levando em conta o número total de patentes em cada campo ou, em outros termos, o seu tamanho, de modo que incorporaríamos fortes distorções.

Quanto mais concentrada é a atividade de patenteamento em determinado campo tecnológico, mais rígida e marcante tende a ser a estrutura hierárquica das atividades inovativas. Deriva-se disto que uma alta concentração implica em uma tendência de forte assimetria entre os inovadores de maior e de menor destaque para dado campo tecnológico (Malerba & Orsenigo, 1997).

Como já mencionamos, campos tecnológicos com forte concentração de atividade patentária tendem a possuir maiores barreiras à entrada de novos *players* pautados em atividades inovativas, apesar de que algumas vezes a concentração pode estar correlacionada à existência de fortes oportunidades.

Especificamente com relação ao nosso problema de pesquisa, este indicador nos permite tecer considerações sobre a distribuição do aproveitamento de oportunidades emergentes. Em um campo desta natureza, quanto maior for a concentração de patentes por alguns *players*, maior é a probabilidade de que estes venham a impor um *design* dominante à indústria e ao mercado. No entanto, apesar de importante, a concentração de patentes pode não ser determinante para obtenção de sucesso, dada a forte incerteza na qual este processo está inserido.

Na tabela abaixo, além do Índice de Concentração (IC), apresentamos o que representa o portfólio de patentes dos 500 principais *players* frente ao patenteamento total no campo para o período indicado (P500); a quantidade de patentes que constitui cada quartil do portfólio de determinado campo (Q); e a posição da biotecnologia branca frente aos campos

selecionados para comparação. Devido ao limite máximo de 100.000 retornos por busca da base Derwent, os resultados para as subdivisões da biotecnologia são a média ponderada de buscas para três períodos: 2000-2003, 2004-2006 e 2007-2009.

Tabela 3.2 – Índice de Concentração

Campo Tecnológico	Total de patentes	P500	Q	IC	Posição
Células de Combustível	29.792	98,92%	7.943	7	1°
Biotecnologia Branca	15.730	58,98%	3.932,5	18	4°
Biotecnologia Verde	26.901	83,25%	6.725,25	14	3°
Biotecnologia Vermelha	104.479	67,81%	26.119,75	26	6°
Energia Eólica	3.040	55,63%	760	21	5°
Membranas de Purificação de Água	1.485	92,93%	371,25	9	2°

Dos seis campos tecnológicos de nossa análise, a biotecnologia branca é apenas o quarto mais concentrado, uma posição intermediária, porém um pouco mais próxima do campo energia eólica (5°) do que do campo biotecnologia verde (3°). Dezoito (18) *players* são responsáveis por 25% do total de patentes para o período de análise em biotecnologia branca. Em comparação com outros campos, podemos dizer que a biotecnologia é pouco concentrada, o que mostra uma certa dispersão do aproveitamento de oportunidades emergentes com seu advento. Para os propósitos deste trabalho, isto significa que ainda há espaço para que as firmas brasileiras empreendam esforços inovativos neste campo e, a partir da introdução de inovações radicais desta natureza, assumam posições de maior proeminência com relação a produtos e processos químicos industriais.

Uma observação importante é a de que parece não haver forte correlação entre o tamanho de determinado campo tecnológico e o Índice de Concentração subjacente. Assim, por exemplo, o campo Membranas de Purificação de Água, o menor entre aqueles de nossa análise, com apenas 1.485 patentes para o período 2000-2009, é o segundo mais concentrado, de modo os nove *players* de posição hierárquica inovativa de maior destaque são responsáveis por mais de 25% do total de patentes. Neste caso específico, o ponto é que o campo, com relação aos demais, é de natureza fortemente pré-paradigmática, de modo que poucos *players* conseguiram obter conceitos de produtos passíveis de patenteamento. Em outras palavras, a maioria das iniciativas

tecnológicas, provavelmente, se encontra na fase de pesquisa, e não na de desenvolvimento. Isto reforça o ponto de que pode não existir um *design* dominante nos termos aqui discutidos. Porém, esta ausência de correlação ocorre em outros campos também. A biotecnologia vermelha, o maior campo dentre os de nossa análise, é apenas o sexto mais concentrado.

Em um segundo momento, realizamos uma busca para inferir a concentração de atividade de patenteamento recente em biotecnologia branca pelas firmas de nossa amostra para o período 2000 - 2009. Como a *query* da qual partimos para obtenção da biotecnologia e das suas subdivisões a partir de refinamento já possuía 50 termos, limite máximo imposto pela base para consultas, conforme já explicamos acima, precisamos substituir dez termos pelos nomes das firmas de nossa amostra. A substituição que julgamos mais adequada foi a de técnicas apontadas como relevantes para operação em biotecnologia pela OCDE (2009) - *embryo manipulation; fermentation; bioreactor; bioprocessing; biopulping; biobleaching; biofiltration; phytoremediation; bioinformatics; e nanobiotechnology*, que parecem estar mais relacionadas à operação em biotecnologia vermelha. A *query* resultante, então, é uma *proxy* para participação das firmas de nossa amostra entre o patenteamento total em biotecnologia branca para o período analisado. Ela representa 99,8% (15.703) dos resultados desta natureza recuperados a partir da *query* original²⁴:

TS= (3-HPA OR biopesticide OR bioplastic OR cell receptor OR biomass OR 1,3-propanediol OR cellulose OR immune stimulant OR fermentation OR biofuel OR genetically modified crop OR gene therapy OR biopolymer OR cellulosic ethanol OR herbicide tolerant OR genome OR biomaterial OR PLA OR insect resistant OR monoclonal antibody OR recombinant DNA OR genomics OR gene probes OR genetic engineering OR DNA sequencing OR DNA synthesis OR DNA amplification OR RNA sequencing OR RNA synthesis OR RNA amplification OR antisense OR sequencing proteins OR proteomics OR protein isolation OR signaling OR cell receptors OR cell culture OR tissue culture OR cellular fusion OR immune stimulants) Refined*

²⁴ Foram testadas três diferentes *queries*, a partir da substituição de diferentes termos da *query* original. Foi escolhida aquela que recuperou um maior número de patentes em biotecnologia branca. Na primeira *query* alternativa, retiramos os seguintes termos, os quais julgamos intuitivamente pertencerem à biotecnologia verde ou vermelha, para inserção das firmas de nossa amostra: *biopesticide, cell receptor, genetically modified crop, gene therapy, genetic engineering, cell culture, immune stimulants, embryo manipulation, and phytoremediation*. Esta *query* recuperou 14.910 documentos de patente pertencentes à biotecnologia branca. Na segunda *query* alternativa, retiramos os seguintes termos: *herbicide tolerant, insect resistant, gene probes, DNA sequencing, DNA synthesis, DNA amplification, RNA sequencing, RNA synthesis, RNA amplification* e *cellular fusion*. Esta *query* recupera 15.662 registros desta natureza.

by: Subject Areas=(BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY) AND [excluding]
Subject Areas=(PHARMACOLOGY & PHARMACY) AND [excluding] Subject Areas=(
AGRICULTURE)

Timespan=2000-2009. Databases=CDerwent, EDerwent, MDerwent.

De todos os documentos, 319 pertencem às firmas de nossa amostra, ou seja, 2,03% do total. Como comparação, os dez principais patenteadores em biotecnologia branca possuem 4,15% (653 patentes). Esta baixa concentração da atividade de patenteamento, referendada pelo indicador IC construído acima, em comparação a outros campos tecnológicos, indica que a biotecnologia branca é um campo onde ainda não houve a definição de um *design* dominante em grande parte dos segmentos onde ela possui potencial de aplicação. Isto abre espaço para que uma grande diversidade de firmas, com diferentes competências e base de conhecimentos tecnológicos, empreenda atividades inovativas desta natureza.

3.2.1.2 - Índice de Assimetria

A assimetria entre os principais indivíduos de uma hierarquia inovativa para determinado campo tecnológico é um importante indicativo das oportunidades colocadas ao realização de atividades inovativas do tipo *catching up*. Para determinado campo tecnológico, quão mais distantes estiverem os *players* de menor proeminência na hierarquia inovativa daqueles de maior destaque, mais custoso será para aqueles alcançá-los. Altas níveis de assimetria podem estar relacionados a altas condições de oportunidade, de apropriabilidade e de cumulatividade.

O Índice de Assimetria (IA) que construímos para dado campo tecnológico é construído pela divisão do IC, ou seja, pela quantidade de *players* de posição inovativa mais proeminente necessária para constituir 25% das patentes, chamado aqui de PQ1, pela quantidade de *players* menos proeminentes – de menor patenteamento - cuja soma das patentes represente igualmente 25% do total (PQ4). Desta forma, quão mais próximo de 1 for o IA, menos assimétrico será o campo tecnológico em questão.

À semelhança do Índice de Concentração, um método alternativo para a construção do IA seria a comparação das patentes sob propriedade dos dez *players* mais proeminentes com

aquelas dos dez *players* menos proeminentes. No entanto, os problemas com relação à construção deste indicador desta maneira é que não se leva em conta o tamanho do campo tecnológico, ou seja, o total de patentes depositadas no período de análise, o que incorpora fortes distorções.

Na tabela abaixo, além de PQ1 e PQ4, apresentamos o que representa 25% das patentes pertencentes aos 500 principais *players* (Q); o Índice de Assimetria (IA) resultante; e a posição relativa de cada campo tecnológico.

Como o resultado da busca da qual derivamos o recorte para a biotecnologia e suas subdivisões supera 100.000 registros para o período considerado – limite máximo de retorno da base *Derwent* para determinada busca – os índices para estes campos foram construídos a partir de três diferentes buscas, relacionadas aos períodos: 2000 – 2003, 2004 – 2006 e 2007 – 2009. Adicionalmente, foram utilizados somente aquelas patentes pertencentes aos 500 *players* mais proeminentes e que não foi excluído o co-patenteamento.

Tabela 3.3 – Índice de Assimetria

Campo Tecnológico	Q	PQ1	PQ4	IA	Posição
Células de Combustível	7.943	7	354	0,020	1º
Biotecnologia Branca	3.932,5	18	269	0,067	4º
Biotecnologia Verde	6.725,25	14	282	0,050	3º
Biotecnologia Vermelha	26.119,75	26	257	0,101	6º
Energia Eólica	760	21	221	0,095	5º
Membranas de Purificação de Água	371,25	9	311	0,029	2º

Infere-se que há forte correlação entre a concentração em determinado campo tecnológico e a assimetria entre inovadores de maior e de menor destaque, de modo que foram repetidas as posições relativas medidas pelo IC.

Para biotecnologia branca, o Índice de Assimetria encontrado foi de 0,067, o quarto de nossa amostra. Como era de se esperar, como reflexo da concentração neste campo, este resultado coloca a biotecnologia branca em posição intermediária, porém mais próxima à biotecnologia verde (3º) do que à energia eólica (5º). Deste modo, podemos considerá-la como sendo relativamente pouco assimétrica. Isto, novamente, indica a presença de oportunidades para empreendimento de atividades inovativas por *players* de posição menos proeminente na

hierarquia inovativa relativa ao paradigma tradicional de desenvolvimento e produção de químicos industriais, porém em menor grau do que em campos como energia eólica e biotecnologia vermelha.

3.2.1.3 – Índice de tamanho científico médio das firmas que patenteiam

Este indicador é constituído pelo número de inventores relacionados ao portfólio de patentes de cada campo tecnológico, dividido pelo total de patenteadores. Ele visa medir o tamanho científico médio das firmas de determinado campo tecnológico. É importante ressaltar que, dentro de determinado campo tecnológico, não são consideradas sobreposições com relação aos inventores, de modo que mesmo que um inventor seja responsável por mais de uma patente, ele será contabilizado apenas uma vez.

Assim como o Índice de Concentração (IC) e o Índice de Assimetria (IA), quão menor for o Índice de Tamanho Científico Médio (ITC) para as firmas de determinado campo tecnológico, maiores serão as oportunidades colocadas a patenteadores de menor destaque para alcançar ou mesmo ultrapassar os *players* de maior destaque com base em atividades inovativas. Isto porque um baixo ITC significa que, em média, as firmas do campo em questão possuem base científica menos robusta, em especial com relação às equipes de P&D, com poucos cientistas com relação ao seu tamanho.

Este indicador também está relacionado à complexidade da base de conhecimentos para dado campo tecnológico. Quão maiores forem os desafios científicos colocados às firmas para exercer atividades inovativas, maior tende a ser sua infraestrutura de P&D quando medida pelo número de inventores. Assim, quão maior for o tamanho científico médio das firmas de determinado campo tecnológico com relação a outros campos, mais tácito, complexo, dinâmico e parte de um sistema maior tende a ser a base de conhecimentos relevante.

No entanto, é necessário ressaltar que em alguns campos do conhecimento tecnológico há uma tendência de se registrar um número maior de inventores por documento de patente do que em outros. Porém, não se pode afirmar se isto se constitui em um costume próprio a cada campo ou se as equipes científicas das firmas é que destoam entre os campos, de modo que esta diferença não fez parte da construção do indicador de tamanho científico médio.

Para obtenção do número de inventores, é realizada busca para determinado campo tecnológico, a partir da qual é realizado um refinamento a partir do campo “*Inventor*” na Análise de Resultados. Procedimento semelhante é realizado para o número de *players*, a partir do refinamento pelo campo “*Assignee Name*”.

Devido ao limite de retorno de até 100.00 registros por busca da base Derwent, o ICT para as subdivisões de biotecnologia foi calculado primeiramente para os três sub-períodos já mencionados, e o resultado final é uma média ponderada entre os índices de cada um destes períodos.

Tabela 3.4 – Índice de Tamanho Científico Médio

Campo Tecnológico	ITC	Posição
Células de Combustível	2,12	1°
Biotecnologia Branca	1,58	5°
Biotecnologia Verde	1,9	3°
Biotecnologia Vermelha	1,97	2°
Energia Eólica	1,25	6°
Membranas de Purificação de Água	1,8	4°

A biotecnologia branca, com ITC de 1,58, aparece na quinta posição, uma posição que indica a existência de janela de oportunidades com relação aos demais campos, só ficando atrás em termos de magnitude do campo energia eólica.

No entanto, é necessário ressaltar que a biotecnologia branca possui um tamanho científico médio correspondente a 74,53% do primeiro colocado, as células de combustível. Este resultado pode indicar que a complexidade da base de conhecimentos em biotecnologia branca é de certo modo alto, assim como de todos os outros campos, relacionado ao fato de que as oportunidades que ela representa exigem a manutenção de uma robusta equipe de P&D que possa transformar princípios científicos em conceitos de produtos e processos. Isto se constitui em vantagens que favorecem firmas que já possuem estes ativos, que foram constituídos no paradigma petroquímico, como uma forte equipe de inventores.

3.2.1.4 – Índice de mudança ao longo do tempo na hierarquia inovativa

Este indicador, assim como o subsequente, está relacionado ao grau de estabilidade ou dinamismo na organização das atividades inovativas ao nível industrial, em termos do grau de mudança na hierarquia dos principais inovadores e na relevância das firmas que introduzem inovações pela primeira vez no mercado ao longo do tempo, especificamente no período 2000-2009.

Ele visa medir proporcionalmente alterações ocorridas nas posições inovativas de maior proeminência, correspondentes a 1% do total de patenteadores para o período 2000 – 2009 para cada campo tecnológico, entre dois diferentes períodos: 2000 – 2004 e 2005 – 2009. A tabela abaixo traz o PP para cada campo tecnológico:

Tabela 3.5 – Posições inovativas hierárquicas de maior proeminência

Campo Tecnológico	PP
Células de Combustível	7
Biociencia Branca	56
Biociencia Verde	121
Biociencia Vermelha	377
Energia Eólica	13
Membranas de Purificação de Água	7

Ao contrário dos outros três indicadores acima construídos, quanto maior for a alteração na hierarquia de inovadores em determinado período para dado campo tecnológico, maior será a janela de oportunidades aberta a firmas de posição menos proeminente para empreendimento de *catching up* tecnológico. Isto se deve ao fato de que este indica a facilidade com que determinada firma consegue alcançar uma posição de liderança em determinado campo tecnológico, partindo de uma posição de baixa proeminência. No entanto, é necessário ressaltar que campos que apresentam dinamismo tecnológico muito elevado colocam desafios de grande alcance para a manutenção sustentada das posições alcançadas.

Tabela 3.6 – Índice de Alteração na Hierarquia de Inovadores

Campo Tecnológico	ΔPP	Posição
Células de Combustível	85,71%	1º
Biotecnologia Branca	69,64%	5º
Biotecnologia Verde	72,73%	3º
Biotecnologia Vermelha	59,42%	6º
Energia Eólica	76,92%	2º
Membranas de Purificação de Água	71,43%	4º

A biotecnologia branca está entre os campos de menor alteração na hierarquia de inovadores no período (5º). No entanto, ela está mais próxima ao campo membranas de purificação de água (4º) do que ao campo biotecnologia vermelha (6º). Ao contrário dos outros indicadores que utilizamos para a análise da dinâmica do padrão de atividades inovativas de campos tecnológicos, este indicador, *ceteris paribus*, nos mostra que as oportunidades abertas a firmas de menor proeminência no setor químico, onde está inserida, são relativamente baixas, porém maiores do que na subdivisão deste tipo de tecnologia utilizada no desenvolvimento e fabricação de produtos farmacêuticos.

Consideramos que isto é um indicativo de que a cumulatividade neste campo, especialmente ao nível setorial, é algo relevante, o que torna difícil a entrada inovativa. Como já mencionado, o realização de atividades inovativas pautado no uso de biotecnologia branca exige a manutenção de uma robusta infra-estrutura de P&D por um período de tempo relativamente longo, que seja capaz de acompanhar avanços da fronteira científica em campos que alimentem o processo criativo.

Adicionalmente, apesar de se tratar de um campo emergente, no qual novos parâmetros relevantes para atividades de busca se constituem em fontes de oportunidades para novos entrantes ou *players* tecnologicamente mais atrasados, aqueles que já possuíam ativos e competências que continuam sendo importantes mesmo face à ruptura provocada pelo advento das novas rotas biotecnológicas, como conhecimentos em engenharia química, possuem uma vantagem de partida.

3.2.1.5 - *Interpretação dos resultados dos indicadores relacionados ao regime tecnológico*

A tabela abaixo compila os resultados obtidos com os indicadores construídos nesta seção, de modo a possibilitar uma comparação mais efetiva das oportunidades abertas a firmas de menor proeminência no setor químico no paradigma baseado em recursos fósseis frente ao advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais com outros campos tecnológicos emergentes selecionados. Para isso, atribuímos uma pontuação para cada campo de acordo com seu padrão de atividades inovativas. Assim, para cada indicador, o campo mais próximo ao padrão típico da fase de Destruição Criativa recebe pontuação 6, enquanto o segundo recebe pontuação 5, e assim sucessivamente:

Tabela 3.7 – Compilação dos indicadores de comparação de campos tecnológicos selecionados

Campo Tecnológico	Concentração	Índice de Assimetria	Tamanho Científico das firmas	Δ Hierarquia Inovativa	Σ	Posição Final
Células de Combustível	1	1	1	6	9	5°
Biociologia Branca	4	4	5	2	15	2°
Biociologia Verde	3	3	3	4	13	3°
Biociologia Vermelha	6	6	2	1	15	2°
Energia Eólica	5	5	6	5	21	1°
Membranas de Purificação de Água	2	2	4	3	11	4°

De todos os campos tecnológicos considerados como emergentes analisados, a biociologia branca, nos termos aqui utilizados, é um dos que melhor se enquadra dentro o que definimos como janela de oportunidades, só ficando atrás do campo energia eólica, empatado com a biociologia vermelha e a frente da biociologia verde.

Em comparação com os outros campos tecnológicos selecionados, a biociologia branca possui um padrão de atividades inovativas que permite que firmas que até então possuíam baixo destaque inovativo assumam posições tecnológicas de maior destaque no desenvolvimento

e fabricação de produtos químicos industriais, desde que suas competências e ativos sejam condizentes com esta oportunidade.

De certo modo, podemos afirmar que a biotecnologia branca ainda não possui um *design* dominante em grande parte dos seus segmentos de atuação. É um exemplo desta indefinição a multiplicidade de desenvolvimentos de diversas plataformas tecnológicas voltadas à produção de biocombustíveis. Há, no mínimo, três grandes tipos: as de rota termoquímica, as de rota bioquímica e as híbridas. Isto implica na existência de novas oportunidades, especialmente para construção de capacitações técnico-científicas com potenciais impactos sobre o nível e qualidade de atividades inovativas.

No entanto, apesar das fortes oportunidades, a biotecnológica branca possui fortes condições de cumulatividade e de apropriabilidade, especialmente quando medida pelo indicador de alteração na hierarquia inovativa. É necessário ressaltar que as mesmas oportunidades encontram-se abertas também às firmas incumbentes de posição inovativa de proeminência, a despeito da existência de armadilhas do tipo de competências e de aprendizado. Muitas vezes, o aproveitamento de altas oportunidades exige que se possuam determinados ativos e competências que fazem com que as condições de cumulatividade e de apropriabilidade se fortaleçam.

Há ao menos três fatores relacionados a esta conjuntura que favorecem que firmas que ocupam posição inovativa de liderança no paradigma petroquímico mantenham suas posições frente ao advento da biotecnologia branca:

- i) a importância da manutenção de uma robusta infraestrutura de P&D de modo a possibilitar a concepção de novos produtos a partir de avanços científicos, muitos dos quais gerados exogenamente;
- ii) possibilidade técnico-científica de escalonamento gradual da produção; e
- iii) acesso a fontes de insumos renováveis.

Pelo menos os dois primeiros fatores colocam implicam em vantagens competitivas de partida para firmas que já possuem estes ativos e competências a partir de sua operação no paradigma petroquímico, de modo que o aproveitamento destas oportunidades é dificultado *players* tecnologicamente atrasados, além do fato de que o primeiro fator, apesar de favorável a

firmas localizadas em países de abundância de recursos renováveis, como o Brasil, não se constitui em uma vantagem exclusiva.

Em suma, podemos concluir a partir dos indicadores construídos que o regime tecnológico em biotecnologia branca é composto por fortes condições e oportunidade e concomitantemente de cumulatividade, de modo que se pode afirmar que há uma janela de oportunidades, porém cujas condições para aproveitamento tornam importantes ativos e capacitações que firmas de liderança inovativa no paradigma petroquímico já possuem.

A seção subsequente se volta à análise do posicionamento das firmas brasileiras incumbentes com relação a grandes concorrentes internacionais em termos de estratégias para aproveitamento destas oportunidades.

3.2.2 – Análise do posicionamento estratégico de firmas brasileiras incumbentes na indústria química e de grandes concorrentes frente o advento da bioeconomia

Existem ao menos dois distintos caminhos para a fabricação de produtos químicos utilizando insumos renováveis. O primeiro consiste na produção de oleofinas a partir de etanol, em uma reação denominada desidratação catalítica. Este caminho é comumente conhecido como rota alcoolquímica. Seu principal *output* é eteno, embora estireno e matérias-primas para produção de PET também possam ser obtidos, todos com características idênticas aos produtos de rota petroquímica.

Historicamente, a fabricação de produtos químicos pautados na utilização de etanol como principal matéria-prima, ao contrário de veículos automotores que o utilizam como combustível, tem recebido muito pouca atenção de tomadores de decisão em política industrial no mundo, sendo que a principal exceção é o Brasil (Rosillo-Calle, 1996). No início dos anos de 1960, o país já possuía quatro plantas químicas pautadas no uso de etanol: Union Carbide, Solvay, Electrocloro e Salgema.

O segundo caminho é relacionado ao conceito de biorrefinarias integradas, com o uso de biotecnologia para fracionamento da biomassa e produção de inúmeros produtos, como anteriormente discutido.

Estes dois caminhos podem ser interpretados como pertencentes a dois diferentes paradigmas tecnológicos. Deste modo, a produção de eteno por desidratação catalítica e, num

sentido mais amplo, a rota alcoolquímica, pode ser considerada uma trajetória tecnológica inserida no paradigma tradicional de produção de químicos e poliolefinas. Já a biotecnologia se constitui de fato em um evento de ruptura, por implicar não somente na extensão de competências e ativos já existentes frente a uma mudança no ambiente de seleção favorável a produtos e processos de maior apelo ambiental, mas sim na criação e absorção de novas competências e ativos, condizentes aos desafios científicos, técnicos e econômicos que representa.

O quadro abaixo visa compilar as principais características e vantagens relacionadas a cada um destes caminhos:

Quadro 3.5 – Características e vantagens relacionadas às rotas alcoolquímica e biotecnológica

	Alcoolquímica	Biotecnológicas de Ruptura
Principais Características	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades similares aos produtos tradicionais; • Competição direta – por preço – com produtos derivados de fontes fósseis 	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades novas e melhoradas; • Novos usos potenciais, além de fortes possibilidades de substituição de produtos tradicionais
Vantagens Potenciais	<ul style="list-style-type: none"> • Curva de demanda já existente, o que elimina a necessidade de forjar novos usos; • Estrutura de custo e potencial de crescimento já conhecidos; • Redução substancial no risco de introdução do produto no mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor importância relativa da estrutura de custos, devido a inexistência, em muitos casos, de produtos com usos similares; • Novas oportunidades de mercado pautadas em atributos de desempenho e qualidade
Exemplos	Polietileno Verde	PLA

As principais vantagens da rota baseada em recursos naturais, porém inserida no paradigma tradicional, estão relacionadas à menor incerteza relativa ao seu potencial de mercado. No mesmo sentido, a rota alcoolquímica possui uma estrutura de custo de produção em escala comercial relativamente mais conhecida. Não obstante, no atual estado da arte, a produção destes compostos a partir de fontes renováveis ainda é pouco competitiva, com um maior custo unitário de produção frente àquela baseada em insumos tradicionais.

A Braskem foi a primeira firma do mundo a lançar um plástico feito de 100% de fontes renováveis, o polietileno verde. Em 2010, inaugurou uma planta para produção de eteno verde. Porém, ambas iniciativas estão inseridas dentro do paradigma tradicional, já que estes produtos possuem os mesmos atributos de qualidade e desempenho do que aqueles fabricados a partir de insumos fósseis, de modo que seu desenvolvimento exigiu basicamente a extensão de competências e ativos que a firma já possuía a partir da operação relacionada a produtos de origem fóssil.

Adicionalmente, os atuais modelos de produção de plantas que operam a partir de altíssimas escalas de capital e custos reduzidos de matéria-prima (sobretudo gás), principalmente no Oriente Médio (onde a matéria-prima pode custar uma fração do seu preço na Europa ou nos EUA), colocam um forte desafio adicional à consolidação de rotas alternativas de produção.

É necessário ressaltar ainda que muitos dos produtos pertencentes ao novo paradigma são substitutos potenciais dos produtos de rotas tradicionais, incluindo os de natureza alcoolquímica. Como exemplo, o PLA, produzido por rota biotecnológica a partir do milho, é um substituto potencial ao polietileno verde em embalagens para alimentos e, por ser também de origem renovável, concorre diretamente com este pelo nicho de mercado inclinado a pagar um preço-prêmio por produtos ambientalmente mais amigáveis. Neste sentido, mesmo que investindo em tecnologias voltadas a nicho, firmas que apostem em tecnologias inseridas no paradigma convencional podem ter suas posições solapadas pelo advento de tecnologias inovadoras. Parafraseando Schumpeter (1943) a firma pode “mover-se a vontade ao longo de um trecho moderado, mas finito, da curva de demanda, ao menos até que novos modelos venham fazer tal curva em pedaços”.

De modo oposto, produtos de ruptura de natureza biotecnológica, pela possibilidade de aplicação em usos ainda não atendidos pelos produtos convencionais, possuem uma menor importância relativa de sua estrutura de custos e, assim, possuem novas oportunidades de mercado baseadas em atributos de desempenho e qualidade, especialmente em nichos de mercado, ao menos a princípio. Deve-se enfatizar que, em algumas situações, esta mesma característica pode ser válida também para produtos de natureza alcoolquímica, desde que utilizados em aplicações nas quais o custo do insumo seja uma pequena fração do custo total do produto, sendo superado pelo apelo de um menor impacto ambiental em comparação com produtos de natureza fóssil.

É importante notar também que há complementaridades entre os dois caminhos. Em primeiro lugar, um dos principais produtos das biorrefinarias é o etanol, fabricado através de novas tecnologias de processo, já que um dos seus principais objetivos é a produção de combustíveis que substituam, mesmo que parcialmente, aqueles de origem fóssil. Em segundo lugar, como os mercados para produtos dos dois caminhos muitas vezes se confundem, as firmas com atividades inovativas na rota alcoolquímica podem acumular conhecimentos através de um processo de aprendizado e transformá-los em rotinas importantes para empreendimento de esforço inovativo de ruptura relacionado à rota biotecnológica. Por exemplo, estes *players* podem estar mais aptos a antecipar necessidades do mercado, bem como podem utilizar canais de distribuição e outros ativos complementares constituídos na rota alcoolquímica.

Porém, a base de conhecimento relevante para operação no caminho biotecnológico de ruptura é em alguma medida diferente das competências constituídas e acumuladas por estas firmas. Avanços em campos do conhecimento como genética, biologia, processos em química e engenharia estão levando a novos conceitos de conversão de biomassa em produtos químicos. Deste modo, então, há uma lacuna que deve ser preenchida por estas firmas de modo a possibilitar que os benefícios da supracitada complementaridade sejam obtidos.

Em ambientes altamente dinâmicos, é de grande valor a habilidade de perceber a necessidade de reconfigurar as rotinas organizacionais e a estrutura de ativos da firma de modo a realizar a vital transformação interna e externa. Isto significa que o processo adaptativo para firmas estabelecidas exige esforços não só para ter acesso a plantas e equipamentos especializados, mas também a ativos tácitos, de difícil transação, assim como a ativos complementares e reputacionais (Teece & Pisano 1994).

Segundo March (1991), um conceito central em estudos de processos adaptativos de firmas com posições consolidadas em determinado paradigma frente a uma inovação de ruptura é a relação entre o aproveitamento de velhas certezas e o aproveitamento de novas possibilidades.

O primeiro caso é relacionado ao refinamento e a extensão do já existente portfólio tecnológico da firma, abrangendo o uso e, em adição, o desenvolvimento de poderes já existentes. Basicamente, é um processo da aquisição de competências através da adoção, síntese e aplicação do conhecimento já acumulado. Este processo requer então a revisão do conhecimento que já foi criado e internalizado, e se baseia no ganho de competitividade pelo refinamento, escolha,

seleção, implementação e aplicação do conhecimento existente. Este tipo de estratégia competitiva é denominada de *exploitation* (Liu, 2006).

Já estratégias de *exploration* se referem à experimentação com novas alternativas, ao desbravamento de um novo campo tecnológico ou à busca por novas competências. É uma atividade de grande incerteza e de grande imprevisibilidade com relação aos resultados finais, que reflete, em última instância, a habilidade da firma de adquirir novo conhecimento em contraposição ao processo de aprender a usar os conhecimentos já possuídos de modo mais eficiente. Neste caso, cria-se uma grande variedade de novas experiências com procedimentos de busca, variação, experimentação, flexibilidade, descoberta, tomada de risco e livre associação. O resultado, por conseqüência, é a criação de novo conhecimento e novas tecnologias, com grande potencial de retorno, mas de retorno incerto e de alto risco (Liu, 2006).

Ambas as estratégias requerem o emprego de recursos valiosos, e são objetos de tomada de decisão por parte das firmas, já que cada uma está pautada em rotinas e competências organizacionais diferentes. A preferência por estratégias de *exploration* pode resultar em custos excessivos com experiências do tipo “tentativa e erro” em caso de seguidos insucessos. Por outro lado, a adoção exclusiva de estratégias de *exploitation* pode não ser danosa no curto prazo ou mesmo a longos períodos se o ambiente de seleção for estável, mas ela reduz significativamente a habilidade da organização de identificar oportunidade e de responder às alterações nos parâmetros de seleção (Greve, 2007).

Mesmo em setores de baixo dinamismo tecnológico, a atividade de monitoramento, compreendida aqui como uma vertente mais branda de *exploração*, ou que precede o estabelecimento de estratégias desta natureza, é outro importante aspecto da P&D industrial, no sentido de que possibilita à firma que a empreende meios pelos quais enxerga oportunidades ou ameaças latentes a sua posição estabelecida. Além do mais, permite a firma estar ciente de mudanças técnicas estabelecidas à montante e a jusante do(s) elo(s) em que ela está localizada nas cadeias produtivas em que atua, que influenciam o que produzir e a que custo. O monitoramento ativo de concorrentes é ainda essencial na medida em que permite à firma estar a par de melhoramentos técnicos gerados alhures, e assim incorporá-los pelos meios disponíveis. Este monitoramento pode ser feito através de engenharia reversa, cooptação de empregados de concorrente, análise de patentes, análise de publicações ou encontros técnicos (Nelson 1990).

A análise dos meios pelos quais as firmas auferem e sustentam vantagens competitivas leva à constatação de que as firmas que se mantêm em posições inovativas de destaque são aquelas que podem manter competências para demonstrar a tempo compreensão da dinâmica de mercado e para a realização de atividades inovativas rápidas e flexíveis, (Teece & Pisano, 1994).

Atividades inovativas inseridas na rota alcoolquímica são classificadas aqui como estratégias do tipo *exploitation*, já que embora importantes no sentido de estenderem os conhecimentos e habilidades da firma em consonância com alterações no meio, este tipo de atividade não implica em mudanças estruturais na matriz de competências e habilidades da firma. Já as atividades inovativas inseridas na rota biotecnológica, apesar de serem mais arriscadas no curto prazo, implicam a absorção de novas competências e ativos, já que a base de conhecimentos relevantes é substancialmente diferente da até então vigente, apesar de que a constituição deste tipo de estratégia deve levar em consideração ao menos três dimensões relacionadas ao paradigma petroquímico:

- i) O desenvolvimento de soluções customizadas e com grande valor para aplicações específicas – as especialidades químicas;
- ii) O reposicionamento estratégico de ativos produtivos em países com abundância de matérias-primas a baixo custo;
- iii) A expansão das aplicações de produtos químicos fabricados a partir do etanol – especialmente o polietileno – em nichos de mercado nos quais os consumidores estão dispostos a pagar um preço que incorpore o valor de um produto ambientalmente correto.

Os sinais de mercado acumulados com esforços inovativos e o aprendizado resultante do estabelecimento de atividades de resolução de problemas no paradigma petroquímico – incluindo a rota alcoolquímica - nos termos de Dosi (1988), possuem valor na realização de esforços inovativos de ruptura em biotecnologia branca. Ademais, as competências e os ativos complementares construídos – como infraestrutura de suporte tecnológico aos consumidores ou reputação de marca – são de grande valia para a consolidação de bioprodutos, que podem servir como fatores de reforço de posições adquiridas por firmas no paradigma petroquímico.

A utilização do termo “competências” enfatiza o papel chave da gestão estratégica em apropriadamente adaptar, integrar e reconfigurar habilidades organizacionais internas e externas, recursos, e competências funcionais para atingir os requerimentos de um ambiente em mudança. As competências das firmas tem natureza tácita, sendo armazenadas e organizadas em forma de rotinas que guiam a tomada de decisão estratégica. (Nelson & Winter, 1982). As competências, assim, são desenvolvidas e endogenizadas em forma de rotinas individuais através de um processo de aprendizado que é em grande parte local e dependente da trajetória.

Deste modo, o tipo de organização e a gama de oportunidades para novos investimentos disponíveis a cada firma são limitados pela natureza das competências adquiridas a partir deste processo. Por consequência, a estratégia de cada firma no presente reflete em parte sua história passada de desenvolvimento de novas competências e da forma como estas estão organizadas. Isto implica no fato de que em um mesmo ambiente de seleção encontra-se uma grande diversidade de estratégias justamente porque estas são, em última instância, resultados da trajetória de aprendizado idiossincrática a cada firma (Malerba & Orsenigo 1993).

Adicionalmente, segundo Dosi (1988), a tecnologia nunca se comporta como uma mercadoria comum, que pode ser adquirida e utilizada por qualquer agente econômico. Apesar de seu caráter parcialmente público, a tecnologia sempre possui componente idiossincrático àquele agente que empreendeu esforço para seu desenvolvimento. Mais do que isto, ela é moldada por suas necessidades, dotação de fatores produtivos e competências tecnológicas, que derivam da cumulatividade do processo de busca que lhe é específica. A própria percepção de oportunidades para realização de esforço inovativo - ou, segundo Sahal (1985), a percepção da existência de “avenidas de inovação” que, em última instância, motiva o esforço inovativo, depende da experiência prévia dos agentes com a resolução de problemas técnicos e científicos específicos. Isto está intimamente relacionado com o caráter recursivo do processo inventivo, segundo Arthur (2007).

Ademais, o advento das novas rotas biotecnológicas parece estar de acordo com argumento de Nelson (1990) de que não há sustentação à afirmação de que a atividade de P&D de ruptura tende a se tornar uma atividade rotineira. Pelo contrário, seu advento traz às firmas que operam neste ambiente um aumento de complexidade e uma intensificação dos custos às suas atividades de busca por definir parâmetros que exigem, cada vez mais, o uso de conhecimentos que são exógenos às suas fronteiras, fazendo com que sejam complexas as formas de se absorver

conhecimento e de se organizar a atividade P&D necessárias à consolidação de uma posição inovativa de destaque. Esta tendência de crescimento da complexidade e, conseqüentemente, dos custos de P&D também está relacionada ao aumento do número de campos técnicos relevantes ao crescimento corporativo, através da diversificação produtiva, especialmente com relação a firmas que atuem em campos correlatos ou complementares à biotecnologia branca, e que passem a atuar nesse contexto a partir da incorporação de novas competências às suas rotinas de busca.

Esta constatação, por sua vez, advém da compreensão da tecnologia como sendo não só um conjunto de práticas, mas também como sendo formada por um conjunto de noções genéricas, ou seja, por conhecimento tácito, não estritamente científico sobre como as coisas funcionam, sobre variáveis -chave de desempenho, sobre a natureza das oportunidades que se criam e dos obstáculos que devem ser removidos para sua realização. A tecnologia é um corpo de conhecimento socialmente construído, cuja replicação, dependendo de condições específicas do regime tecnológico vigente, pode se tornar complicada sendo, portanto, de uso fortemente específico à firma que a desenvolve. Assim, a aquisição e transferência de conhecimentos, *know-how*, e habilidades exógenas à firma, justamente por seu caráter tácito e idiossincrático, não pode ser compreendida como uma relação comum de mercado.

O desenvolvimento de competências em um campo inteiramente novo, como a biotecnologia, exige invariavelmente a incorporação de novas rotinas, à semelhança do conceito de competências de absorção anteriormente mencionado. Estas rotinas devem pertencer tanto ao campo gerencial, de modo a permitir ou facilitar a adaptação em um novo ambiente de seleção, como em termos de parâmetros de busca, de modo a criar musculatura para operação nesse novo campo. Esse esforço nada mais é do que o desenvolvimento e funcionamento concomitante de competências dinâmicas pré-existentes e inexploradas ao longo desse processo.

Esta seção buscará analisar o posicionamento estratégico, especialmente com relação ao empreendimento de P&D pré-competitiva de grandes firmas tradicionais com posições de destaque no desenvolvimento, fabricação e distribuição de produtos químicos de alto valor agregado no paradigma petroquímico, para construção de novas competências que lhes permitam a incorporação de novas rotinas relacionadas às novas rotas biotecnológicas de produção, com foco especial no uso de recursos renováveis, o que se constitui em estratégias de *exploration*. Em especial, nos voltaremos a análise da força do portfólio de patentes em biotecnologia branca de firmas brasileiras com relação a grandes concorrentes internacionais.

Como discutido, o advento das novas rotas biotecnológicas traz à tona a grande importância da habilidade e do senso de necessidade de reconfigurar o portfólio de ativos da firma, suas rotinas operacionais e de acompanhar as transformações necessárias nos mercados em que atuam. Isto significa que este processo adaptativo demanda esforços para conseguir acesso não só a plantas e equipamentos especializados, mas também fontes de conhecimentos não facilmente transferíveis e ativos complementares a estas, bem como ativos reputacionais e relacionais.

As firmas do recorte amostral utilizado - Basf, Bayer, Braskem, Dow Chemicals, DuPont, Ineos, Mitsubishi, Petrobras, Rhodia e Solvay – possuem, em conjunto, uma base científica e tecnológica diversificada, com competências que vão de campos como o desenvolvimento e fornecimento de plantas geneticamente modificadas (BASF e DuPont) a campos como produtos para construção civil e arquitetura (Solvay), passando pela fabricação de produtos para tratamento de água (Dow), por exemplo.

Em geral, as firmas às quais serão comparadas as brasileiras, objeto central de análise deste trabalho, possuem políticas de pesquisa e desenvolvimento muito ambiciosas, tanto em termos de objetivos como com relação ao montante investido, com diversas iniciativas de risco em campos pré-competitivos, nos quais não há ainda um *design* dominante no mercado, mas sim uma profusão de iniciativas – ou, neste caso, apostas - que concorrem entre si para tornarem-se hegemônicas e que possuem, via de regra, resultados incertos. São, portanto, firmas que identificam rapidamente oportunidades para realização de esforço inovativo a partir de avanços técnicos e científicos gerados endogenamente ou em parcerias com outras firmas ou instituições com competências complementares às suas e, mais do que isso, que consideram que estas oportunidades, frente às competências construídas ou reunidas, sobrepujam os riscos inerentes a este tipo de empreendimento.

Como medida da relevância das tecnologias geradas por algumas firmas de nossa amostra, dentre as dez firmas com geração de novas tecnologias com maiores impactos na indústria química capturadas pelo *Patent Asset Index*²⁵ em 2008, seis fazem parte de nossa

²⁵ O *Patent Asset Index* mede a força do portfólio de patentes de uma firma. É construído por dois fatores: (1) tamanho do portfólio (número de famílias ativas de patentes no mundo) e (2) impacto competitivo, combinação da relevância tecnológica e difusão no mercado. O índice acima é relativo às patentes acumuladas até 31/12/2009. Fonte: Patent Sigh. Disponível em <http://www.patentsight.com/index.php/mpai.html>. Acesso em 13/09/2010

amostra. Este indicador nos mostra que as tecnologias geradas por estas firmas possuem uma influência muito forte nos mercados em que atuam, que atendem concomitantemente à oportunidades técnicas e científicas, mas que também possuem um robusto mercado potencial, o que as coloca em posição de potencialmente definir um *design* dominante hegemônico em novos campos, dentre os quais destaca-se a rota biotecnológica de produção. De modo complementar, a tabela abaixo traz os gastos em P&D das firmas da amostra:

Tabela 3.8 – Gastos em P&D

Firmas	Gastos em P&D (US\$ bi)				
	2007	2008	2009	Média	Posição
Basf	2,3	1,88	2,01	2,06	2°
Bayer	3,8	3,68	3,95	3,81	1°
Braskem	0,024	0,028	0,022	0,025	9°
DuPont	1,34	1,39	1,38	1,37	3°
Dow	1,31	1,31	1,49	1,34	4°
Ineos	ND	ND	ND	ND	ND
Mitsubishi	1,22	1,41	1,21	1,28	5°
Petrobras	0,8	0,97	ND	0,89	6°
Rhodia	ND	0,15	0,12	0,14	8°
Solvay	0,72	0,84	0,71	0,76	7°

Fonte: Relatórios anuais e sites das firmas. Para os valores não informados em dólar, fizemos a conversão a partir do Conversor de Moedas do Banco Central utilizando como data-base o dia 31/12 do ano em questão.

Este é o montante total do gasto em P&D de cada firma, de modo que somente parte deste valor é dedicada à biotecnologia branca, sendo que esta fração difere de firma para firma. De todo modo, quanto mais robusto é o esforço de P&D de uma firma, maior tende a ser seu montante total de patentes. Já a relação entre a intensidade do esforço de P&D e montante de patentes em biotecnologia parece ser fraca ou inexistente. A Dow, que possui um gasto em P&D doze vezes superior ao da Rhodia para 2009, possui um montante de patentes apenas cerca de três vezes superior. Isto ajuda a explicar porque, muitas vezes, pequenas firmas de base tecnológica, cuja existência se confunde com a aposta em uma tecnologia específica, fortemente baseada em ciência, se tornam tão promissoras em campos emergentes, como em biotecnologia branca.

Evidentemente, isto está relacionado ao fato de que, além da robustez do esforço de P&D, o montante de patentes inseridas na rota biotecnológica depende: i) de quão exploratório e ambicioso é este esforço, ou seja, a medida pela qual este esforço está voltado ao desbravamento de campos onde ainda não há um *design* dominante no mercado; e ii) da percepção por parte da firma da rota biotecnológica como uma oportunidade consistente para obtenção de ganhos excepcionais advindos do esforço inovativo o que, em última instância, está vinculado a existência prévia de competências relevantes à operação neste campo.

Existem diferentes modelos organizacionais para realização de esforço de P&D na rota biotecnológica de produção de químicos industriais. Por uma lado, há firmas que criam um “braço” dentro de sua estrutura organizacional especificamente voltado a este tipo de atividade, como o caso da DuPont com a *DuPont Applied BioSciences Technology Platform* e a Ineos, com a IneosBio, por exemplo. Por outro lado, existem firmas cujas apostas na rota biotecnológica estão inseridas dentro das rotinas normais de P&D. Ademais, há firmas que atuam em somente um elo da cadeia produtiva, focando seus esforços especificamente na área de biotecnologia branca, por exemplo. Já outras atuam em diversas etapas, como a Basf, que possui diversas iniciativas de P&D em biotecnologias relacionadas à produção de biomassa e também na produção de químicos de alto valor agregado. O quadro abaixo compila as principais iniciativas das firmas de nossa amostra em biotecnologia branca a partir de um levantamento em fontes secundárias:

Quadro 3.6 – Atuação em rotas renováveis das firmas da amostra

Firmas	Atividades inovativas em biotecnologia branca
Basf	Ácido Succínico; Co-poliéster Alifático-aromático; Hidrofobina; PLA; Poliamida; Polioli
Bayer	Poliuretanos; Policarbonatos; Serviços tecnológicos e de engenharia para plantas de etanol celulósico
Braskem	Polietileno Verde
Dow Chemicals	Etanol de Algas; Etanol via gás de síntese; PLA; Propileno Glicol
DuPont	Etanol Celulósico; Isobutanol; Propanediol; Biosuperfícies.
Ineos	Etanol Celulósico
Mitsubishi	Polibutileno Succinato e outros bioplásticos
Petrobras	Etanol Celulósico
Rhodia	Poliamidas; Surfactantes e Solventes
Solvay	Epicloriglucina; PHB; PHBV

De modo a analisar a inserção destas firmas no novo ambiente de seleção marcado pelo advento das novas rotas biotecnológicas, este trabalho visou construir indicadores que buscam trazer alguma luz sobre a atividade de patenteamento destas firmas, tanto em nível quantitativo como qualitativo, bem como sobre a força do portfólio de patentes de cada firma da amostra utilizada nestes campos.

A análise do portfólio de patentes de um grupo de firmas em determinado campo tecnológico é um importante indicador de áreas prioritárias de P&D e da receptividade de consumidores e usuários potenciais aos seus *outputs*, o que pode nos ajudar a analisar a posição tecnológica das firmas brasileiras (Braskem e Petrobras) frente a outros grandes *players* globais neste setor, de modo a indicar o provável papel a ser desempenhado por estas duas firmas no desenvolvimento e fabricação de produtos químicos industriais de natureza biotecnológica, o que, conforme argumentado, pode se constituir em uma importante janela de oportunidades.

Este trabalho utiliza índices derivados de patentes como indicadores de estratégias e de intensidade de esforços de P&D em campos pré-competitivos. Uma crítica potencial a esta metodologia – a de que as patentes são meros *outputs* de esforços inovativos, via de regra incertos, e que, portanto, não são um bom indicador de estratégias em campos pré-competitivos – não se sustenta, porque as patentes não são em geral registradas apenas ao fim do desenvolvimento de determinado produto, mas sim em estágios mais precoces de modo a proteger investimentos desta natureza da imitação de concorrentes já na partida e de prevenir, se possível, que oportunidades tecnológicas promissoras se tornem obsoletas precocemente por comportamentos oportunistas (Fabry et al 2006).

Adicionalmente, conforme já mencionado, o setor químico tradicionalmente possui um padrão inovativo no qual estão presentes fortes condições de cumulatividade, ou seja, onde *outputs* de esforços tecnológicos recentes, bem como as rotinas derivadas, são importantes para novos esforços inovativos. Assim, os patentes oferecem um *insight* importante sobre competências importantes para este tipo de atividade.

Complementarmente, Malerba & Orsenigo (1995) defendem o uso de dados derivados de patentes por esse instrumento de propriedade intelectual representar uma medida muito homogênea de novidade tecnológica entre países e por estarem disponíveis para longas séries temporais. Ademais, elas também proporcionam dados muito detalhados ao nível da firma e de campos tecnológicos. Assim, patentes se constituem em fonte muito importante de dados sobre atividade inovativa.

Este trabalho buscou estabelecer um ranking entre o dinamismo inovativo das firmas de nossa amostra relacionado ao seu portfólio de patentes neste campo, o que pode nos dar uma indicação da hierarquia inovativa e nos ajudar a analisar se, efetivamente, o advento deste novo modelo se constitui em uma janela de oportunidades para firmas de países emergentes, com foco em firmas do Brasil. Neste sentido, vamos comparar os *outputs* de esforços inovativos de Braskem e Petrobras nos campos tecnológicos relevantes a este trabalho às demais firmas de nossa amostra. Os indicadores utilizados, derivados de pesquisas na base *Derwent Innovations Index*, serão os seguintes:

Quadro 3.7: Descrição dos indicadores de atividade, qualidade média e força do portfólio de patentes

Indicador	Definição	Significado
1. Atividade de patenteamento (AP_{iF})	Aplicações de patente (AP) de determinada firma em um campo tecnológico (CT)	Medida quantitativa dos esforços de P&D da firma em determinado CT
2. <i>Technology share(i)</i>	AP_{iF} / AP de todas as firmas para aquele CT	Posição tecnológica competitiva de determinada companhia
3. Intensidade de cooperação	Co-patenteamento no CT	Acesso da firma a fontes externas de conhecimento relevante ao CT
4. Escopo Tecnológico Médio(Q1)	Média de classes da Classificação Internacional de Patentes (CIP)	<i>Pervasividade</i> das patentes da firma no CT
5. Escopo Internacional Médio (Q2)	Média de patentes registradas concomitantemente na tríade: EUA, Japão, União Européia	Potencial de mercado das patentes da firma no CT
6. Média de Citações Recebidas (Q3)	Média de citações recebidas pelas patentes da firma por outros documentos de patentes	Quão referencial é o portfólio de patentes da firma no CT
7. Citação de artigos científicos (Q4)	Média de artigos científicos citados	Em qual medida as tecnologias da firma são baseadas no aproveitamento real de oportunidades advindas do avanço da fronteira científica
8. Qualidade média do portfólio de patentes no CT (QP_{iF})	Soma de todos os indicadores de qualidade (Q1 – Q4)	Qualidade média do portfólio de patentes da firma no CT com relação à qualidade do portfólio das outras firmas da amostra
9. Força do portfólio de patentes (Fp_{iF})	$Fp_{iF} = \log (AP_{iF} \wedge QP_{iF})$	Força tecnológica de uma companhia no CT

Fonte: Adaptado de Fabry et al (2006)

3.2.2.1 – Atividade patentária

Este indicador representa as publicações totais em biotecnologia branca para as firmas de nossa amostra no período 2000 – 2009. Evidentemente, *ceteris paribus*, quanto maior a atividade patentária de uma firma em determinado campo, maior é a chance de que ela assuma e mantenha uma posição inovativa de liderança neste segmento. Este indicador foi derivado de pesquisas na base *Derwent* a partir da seguinte *query*:

TS= (3-HPA OR biopesticide OR bioplastic OR cell receptor OR biomass OR 1,3-propanediol OR cellulose OR immune stimulant OR fermentation OR biofuel OR genetically modified crop OR gene therapy OR biopolymer OR cellulosic ethanol OR herbicide tolerant OR genome OR biomaterial OR PLA OR insect resistant OR monoclonal antibody* OR recombinant DNA OR genomics OR gene probes OR genetic engineering OR DNA sequencing OR DNA synthesis OR DNA amplification OR RNA sequencing OR RNA synthesis OR RNA amplification OR antisense OR sequencing proteins OR proteomics OR protein isolation OR signaling OR cell receptors OR cell culture OR tissue culture OR cellular fusion OR immune stimulants OR embryo manipulation OR fermentation SOME bioreactor OR bioprocessing OR biopulping OR biobleaching OR biofiltration OR phytoremediation OR bioinformatics) AND
AN= Nome da Firma

Refined by: Subject Areas= (BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY)
AND [excluding] Subject Areas=(AGRICULTURE OR PHARMACOLOGY & PHARMACY)

Tabela 3.9 – Atividade Patentária para Firmas de Nossa Amostra

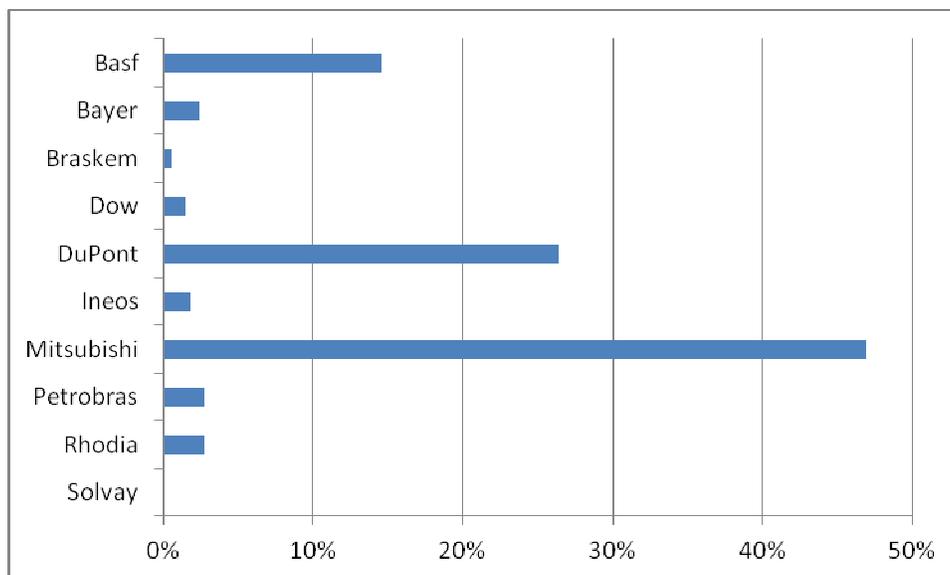
	Total de Patentes	Patentes em Biotecnologia	Patentes em Biotecnologia Branca	Posição
Basf	1.005	490	47	3°
Bayer	1.919	1.356	8	4°
Braskem	2	2	2	8°
Dow	398	140	5	7°
DuPont	1.061	663	86	2°
Ineos	37	18	6	6°
Mitsubishi	1.328	464	151	1°
Petrobras	13	9	7	5°
Rhodia	126	26	8	4°
Solvay	85	17	0	10°

Infere-se que as firmas brasileiras possuem uma atividade patentária em biotecnologia branca relativamente baixa, de modo que a Petrobras ocupa apenas a quinta posição entre as dez firmas de nossa amostra, e a Braskem a oitava. Somadas, as firmas brasileiras respondem apenas por 2,81% do total da nossa amostra, porém não muito distante de firmas de grande tradição na indústria química, como a Dow, por exemplo. Isto nos mostra que as firmas brasileiras se posicionam mau frente a estes grandes concorrentes em termos de quantidades de patentes depositadas neste campo tecnológico.

É interessante notar a distância das três primeiras firmas para as demais. Em conjunto, Mitsubishi, DuPont e Basf possuem cerca de 88% das patentes em biotecnologia branca de nossa amostra. Este fato corrobora a robustez relativa do portfólio de patentes destas firmas neste campo tecnológico, já que este é formado pela combinação da atividade patentária, ou seja, o número de patentes neste campo, com a qualidade média do mesmo.

De modo complementar, o gráfico abaixo mostra a participação de cada firma dentre o somatório das patentes em biotecnologia branca para o período 2000-2009 das firmas de nossa amostra.

Gráfico 3.1 – Comparação de atividade de patenteamento em biotecnologia branca entre as firmas da amostra



A Braskem possui um portfólio de patentes que corresponde apenas a 0,5% do total de patentes da Dow neste período, porém, quando refinamos os resultados por patenteamento em biotecnologia branca, a Braskem possui o correspondente a 40% do portfólio do rival. Isto mostra que os esforços da Braskem estão relativamente mais concentrados neste campo tecnológico, o que indica de certo modo seu comprometimento em galgar uma posição competitiva de maior destaque na indústria química a partir de atividades inovativas desta natureza. No entanto, somente a análise da força do seu portfólio de patentes em comparação à de seus grandes concorrentes poderá nos trazer *insights* mais conclusivos sobre seu posicionamento estratégico frente a este contexto.

3.2.2.2 – *Technology Share*

Com este indicador, complementar ao de atividade patentária, buscamos analisar o *market share* tecnológico de cada firma de nossa amostra em biotecnologia branca. Esta participação é medida com relação ao mercado total em biotecnologia branca (AP_{total}), representado como sendo o total das patentes nesse campo recuperados pela base *Derwent* para o período 2000 – 2009 (15.730 patentes). A *query* utilizada foi a mesma do que para a atividade patentária.

Mais uma vez, foram excluídos resultados potencialmente pertencentes à biotecnologia verde e vermelha. O resultado das buscas está representado na tabela abaixo:

Tabela 3.10: Mercado tecnológico em biotecnologia branca

Firma	Technology Share (%)	Posição
Basf	0,299	3°
Bayer	0,051	5°
Braskem	0,013	8°
Dow	0,032	6°
DuPont	0,545	2°
Ineos	0,038	7°
Mitsubishi	0,96	1°
Petrobras	0,045	4°
Rhodia	0,051	4°
Solvay	0	9°

Evidentemente, as posições do indicador acima se repetem. Como reflexo do baixo patenteamento em biotecnologia branca com relação às outras firmas de nossa amostra, as firmas brasileiras ocupam posições de baixo destaque no *technology share* neste campo do conhecimento tecnológico. A Petrobrás ocupa uma posição intermediária, enquanto a Braskem ocupa a penúltima posição. Devemos ressaltar, novamente, que a Petrobrás, com *technology share* de 0,045%, aproxima-se muito mais do quinto colocado (0,051%) do que do terceiro (0,299%). Ademais, seus esforços em biotecnologia branca estão concentrados na área de energia e combustíveis, e não em produtos químicos industriais.

3.2.2.3 – Intensidade de cooperação

Este indicador revela a intensidade de cooperação tecnológica em biotecnologia branca empreendida pelas firmas de nossa amostra com outros entes econômicos, incluindo firmas, universidades e institutos de pesquisa. Como já mencionado, o acesso a fontes externas de conhecimento é extremamente importante, especialmente quando as tecnologias em questão são fortemente baseadas em campos do conhecimento científicos diversos, como é o caso daquelas relevantes ao nosso problema de pesquisa. Para isto, buscamos por atividades de copatenteamento recuperadas pela base Derwent envolvendo as firmas de nossa amostra e as outros 40 *players* de posições de maior destaque da lista de patenteamento em biotecnologia branca recuperada na base Derwent, através de busca com a *query* acima descrita²⁶. Estes *players*, e o número de patentes em biotecnologia branca que eles possuem, estão representados abaixo.

Quadro 3.8 –Patenteadores de destaque em biotecnologia branca

Nome do Cessionário	Patentes
UNIV JIANGNAN	52
UNIV QINGHUA	39
NOVOZYMES AS	38
UNIV ZHEJIANG	37
KVASENKOV O I	36
DOKURITSU GYOSEI HOJIN SANGYO	
GIJUTSU SO	31
SUNTORY LTD	31
ASAHI BREWERIES LTD	27
DSM IP ASSETS BV	25
COUNCIL SCI & IND RES INDIA	24
INST PROCESS ENG CHINESE ACAD SCI	24
TORAY IND INC	24
UNIV NANJING POLYTECHNIC	24
PROCTER&GAMBLE CO	23
UNIV SHANDONG	23
PROCTER & GAMBLE CO	21
COUNCIL SCI&IND RES INDIA	19
NOVOZYMES NORTH AMERICA INC	19

²⁶ Devido aos limites impostos para buscas na base Derwent, a escolha dos *players* utilizados na construção do indicador de Intensidade de Cooperação se refere aos 100.000 resultados mais recentes dentro do período 2000-2009 para a *query* escolhida para recuperar patentes em biotecnologia.

FUJI ELECTRIC CO LTD	18
ZHANG Y	18
COFCO GROUP CO LTD	17
WANG J	16
DANISCO US INC	15
DANISCO US INC GENENCOR DIV	15
SAPPORO BREWERIES LTD	15
VORON TECHN ACAD	15
HARBIN INST TECHNOLOGY	14
KANEKA CORP	14
mitsui eng & shipbuilding co ltd	14
UNIV NANJING	14
UNIV TIANJIN	14
UNIV TIANJIN SCI&TECHNOLOGY	14
FOOD AROMATISERS ACIDS DYESTUFF RES INST	13
UNIV CALIFORNIA	13
UNIV NANJING TECHNOLOGY	13
UNIV ZHEJIANG POLYTECHNIC	13
CIE DANONE SA GERVAIS	12
DOKURITSU GYOSEI HOJIN NOGYO SEIBUTSU SH	12
UNIV KUBAN AGRIC	12
UNIV SICHUAN	12
ARCHER-DANIELS MIDLAND CO	11
CARGILL INC	11
EVONIK DEGUSSA GMBH	11

Abaixo, um exemplo de *query* utilizada:

AN= BASF AND (AN=BAYER OR AN= BRASKEM OR AN= DOW OR AN=DUPONT OR AN= INEOS OR AN= MITSUBISHI OR AN= PETROBRAS OR AN= RHODIA OR AN=SOLVAY OR AN= UNIV JIANGNAN OR AN= UNIV QINGHUA OR AN= NOVOZYMES AS OR AN= UNIV ZHEJIANG OR AN= KVASENKOV O I OR AN= DOKURITSU GYOSEI HOJIN SANGYO GIJUTSU SO OR AN= SUNTORY LTD OR AN=ASAHI BREWERIES LTD OR AN= DSM IP ASSETS BV OR AN= INST PROCESS ENG CHINESE ACAD SCI OR AN= TORAY IND INC OR AN= UNIV NANJING POLYTECHNIC OR AN= UNIV SHANDONG OR AN= COUNCIL SCI & IND RES INDIA OR AN= PROCTER&GAMBLE CO OR AN= NOVOZYMES NORTH AMERICA INC OR AN= FUJI ELECTRIC CO LTD OR

AN= ZHANG Y OR AN= COFCO GROUP CO LTD OR AN= WANG J OR AN= DANISCO US INC OR AN= DANISCO US INC GENENCOR DIV OR AN= SAPPORO BREWERIES LTD OR AN= VORON TECHN ACAD OR AN= HARBIN INST TECHNOLOGY OR AN= KANEKA CORP OR AN= MITSUI ENG & SHIPBUILDING CO LTD OR AN= UNIV NANJING OR AN= UNIV TIANJIN OR AN= UNIV TIANJIN SCI&TECHNOLOGY OR AN= FOOD AROMATISERS ACIDS DYESTUFF RES INST OR AN= UNIV CALIFORNIA OR AN= UNIV NANJING TECHNOLOGY OR AN= UNIV ZHEJIANG POLYTECHNIC OR AN= CIE DANONE SA GERVAIS OR AN= DOKURITSU GYOSEI HOJIN NOGYO SEIBUTSU SH OR AN= UNIV KUBAN AGRIC OR AN= UNIV SICHUAN OR AN= ARCHER-DANIELS MIDLAND CO OR AN= EVONIK DEGUSSA GMBH) Refined by: [excluding] Subject Areas=(PHARMACOLOGY & PHARMACY OR BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY) Timespan=2000-2009

A tabela abaixo sintetiza e compara os resultados entre as firmas:

Tabela 3.11 – Atividade de co-patenteamento em biotecnologia

	Biotechnologia			
	Total	Biotechnologia	Branca	Posição
Basf	74	15	0	1°
Bayer	54	3	1	5°
Braskem	0	0	0	8°
Dow	37	4	0	3°
DuPont	85	7	0	3°
Ineos	35	1	0	7°
Mitsubishi	213	13	6	2°
Petrobras	0	0	0	8°
Rhodia	20	2	0	6°
Solvay	28	6	0	4°

O posicionamento de cada firma de nossa amostra com relação às demais a partir do acesso a fontes externas de conhecimento foi classificado de acordo com a biotecnologia de modo geral, e não somente a biotecnologia branca. Isto se deve ao fato de que grande parte das biotecnologias, independente de sua aplicação, possui uma base de conhecimento comum. Assim, o acesso a fontes externas de conhecimento desta natureza, mesmo que a firma que o gerou não o use propriamente em aplicações industriais, nos termos aqui utilizados, pode ser importante fonte

de insumo para atividade inovativa em biotecnologia branca. Esta importância é reforçada pelo fato de que as firmas que escolhemos como representativas de fontes externas de conhecimento serem relevantes patenteadores em biotecnologia branca.

Inferimos da tabela acima que ambas as firmas brasileiras se encontram mal posicionadas frente a grandes concorrentes com relação ao acesso a conhecimento externo relevante para realização de atividades inovativas em biotecnologia. Novamente, é interessante notar a distância dos três primeiros colocados – respectivamente Basf, Mitsubishi e DuPont – das demais firmas. Em conjunto, estes três *players* são responsáveis por 68,63% do co-patenteamento em biotecnologia.

O baixo co-patenteamento de algumas firmas neste campo pode estar vinculado ao fato de que estágio de desenvolvimento de competências, ativos e tecnologias em biotecnologia e, por extensão em suas aplicações industriais, seja tão incipiente que as firmas ainda não sabem quais as competências complementares às suas que serão importantes para realização de atividades inovativas desta natureza, ou estas simplesmente ainda não foram criadas. Em outras palavras, há forte incerteza com relação a quais serão os parâmetros de seleção, e sobre qual será o tipo de aliança que proporcionará uma vantagem estratégica. Possivelmente, as firmas considerem que o risco de perder prematuramente a exclusividade sobre algum desenvolvimento incipiente para algum outro *player* é maior do que as vantagens que uma aliança poderia trazer.

A próxima seção volta-se a construção de indicadores relacionados à qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca para as firmas de nossa amostra

3.2.2.4 – *Escopo Tecnológico Médio (Q1)*

Os líderes em determinado campo tecnológico distinguem-se não apenas por possuir uma robusta atividade patentária, mas também – e talvez principalmente - pela qualidade do seu portfólio de patentes. Muitas vezes, companhias com grande qualidade do seu portfólio de patentes, mas com baixa atividade patentária, auferem maior sucesso em determinado campo tecnológico do que firmas que patenteiam muito, mas cujos desenvolvimentos possuem baixa qualidade, já que a difusão de tecnologias está intimamente ligada a esta característica. É importante perceber que muitas vezes, o balanceamento entre qualidade e atividade patentária é

algo que resulta da trajetória de aprendizado da firma com relação à tecnologia em questão e com o papel que a firma ocupa na hierarquia inovativa (Fabry et al 2006).

O indicador de escopo tecnológico médio (ETM), o qual inicia nossa análise sobre atributos de qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca para firmas de nossa amostra, busca avaliar o número médio de classes da Classificação Internacional de Patentes (CIP) presentes nos documentos de patentes das firmas. A classificação por CIP é importante porque, além de abrangente, ela é um padrão universal, de modo que é possível comparar patentes – ou um conjunto destas – de acordo com os campos tecnológicos nos quais estão inseridas.

$$ETM_i = \frac{\sum \text{Classes da CIP}}{N}$$

Este tipo de indicador é importante porque ele mostra, de certo modo, o potencial de *pervasividade* das tecnologias desenvolvidas pelas firmas de nossa amostra classificadas como pertencente à biotecnologia branca, relacionada ao número de classes da CIP nos quais estas estão classificadas. Quanto mais pervasiva é determinada tecnologia, maior é a chance desta se consolidar no mercado, já que maiores serão seus usos possíveis e, conseqüentemente, haverá menos produtos que lhe podem substituir.

O período de busca, novamente, foi o de 2000 – 2009. A *query* utilizada foi a mesma do que para a atividade patentária em biotecnologia branca de cada firma, porém utilizamos a ferramenta Análise de Resultados para obtermos a quantidade de códigos da Classificação Internacional de Patentes relacionados a estes portfólios de patentes. As informações obtidas estão compiladas na tabela abaixo:

Tabela 3.12 – Escopo tecnológico médio

Firma	ET	ETM	Posição
Basf	572	12,17	2°
Bayer	56	7	5°
Braskem	30	15	1°
Dow	27	5,4	8°
DuPont	838	9,74	4°
Ineos	35	5,83	6°
Mitsubishi	875	5,79	7°
Petrobras	27	3,86	9°
Rhodia	80	10	3°
Solvay	NA	NA	10°

Onde ET: Escopo Tecnológico Absoluto; ETM: Escopo Tecnológico Médio

Do indicador de escopo tecnológico, inferimos que a Braskem possui a maior média em termos de classificação por CIP. No entanto, é necessário ressaltar que esta firma possui apenas duas patentes classificadas nesta categoria. Já a Petrobras encontra-se mal posicionada, ocupando a 9° posição, a menos relevante dentre aquelas firmas que possuem patentes em biotecnologia branca.

3.2.2.5 – Escopo Internacional Médio (Q2)

As patentes são excelentes indicadores do mercado potencial que uma firma pretende atingir com a tecnologia em questão. Apesar deste trabalho reconhecer que o escopo internacional de determinado portfólio de patentes está correlacionado com a importância de cada mercado para obtenção de lucro, ele está de acordo com a afirmação de Fabry et al (2006) de que quando os depósitos são obtidos em países tecnologicamente avançados, de ambiente de seleção supostamente mais competitivo e, portanto, mais exigente, estes indicam que estas tecnologias são mais robustas, de maior qualidade, o que corrobora sua consolidação.

Posto isso, analisamos os patentes das firmas de nossa amostra em biotecnologia branca com relação aos países em que estes foram obtidos, e separamos aqueles depositados concomitantemente na tríade Estados Unidos, Europa e Japão, mercados supostamente mais competitivos e nos quais as tecnologias vencedoras são de grande importância a nível mundial.

$$EIM_i = \frac{\sum \text{Patentes Depositadas na Tríade}}{N}$$

A tabela abaixo revela as patentes em biotecnologia branca obtidas ao mesmo tempo nestes três grandes mercados:

Tabela 3.13 – Escopo Internacional Médio

Firma	EI	EIM	Posição
Basf	27	0,57	1º
Bayer	2	0,25	4º
Braskem	1	0,5	2º
Dow	1	0,2	5º
DuPont	35	0,41	3º
Ineos	1	0,17	6º
Mitsubishi	10	0,07	7º
Petrobras	0	0	8º
Rhodia	2	0,25	4º
Solvay	NA	NA	NA

Onde: EI = Escopo Internacional, EIM= Escopo Internacional Médio e NA= Não se Aplica

É interessante notar que, com relação ao patenteamento total em biotecnologia branca, a Braskem possui o segundo maior índice de escopo internacional dentre as firmas de nossa amostra, sendo que 50% das suas patentes estão depositados na tríade. Mais uma vez, no entanto, é necessário ressaltar que este resultado deve ser visto com ressalvas com relação ao seu impacto sobre a força do portfólio desta firma, já que seu patenteamento total é baixo. Já a Petrobras não possui nenhuma patente em biotecnologia branca depositada concomitantemente em EUA, Japão e Europa, ocupando o nono lugar, que corresponde ao último lugar dentre

aquelas firmas de nossa amostra que possuem patentes neste campo. Isto determina, *ceteris paribus*, a baixa qualidade do seu portfólio.

No entanto, é necessário fazer a ressalva de que este indicador possivelmente não captura a qualidade de desenvolvimentos frutos de estratégias de inovação para nichos de mercado, nos termos de Geels (2002). Estratégias de nicho, por definição, visam o aproveitamento de oportunidades localizadas, específicas a determinadas conjunturas, o que potencialmente exclui, ao menos a princípio, o interesse para mercados onde a competição é mais acirrada. Como argumentado anteriormente, há em tese um importante campo para firmas brasileiras realizarem atividades inovativas em biotecnologia branca pautado em estratégias desta natureza.

3.2.2.6 – Média de Citações Recebidas (Q3)

Para construção deste indicador, utilizamos a tag CP (*Cited Patent Number*). Separamos todos os números das patentes em biotecnologia branca para cada firma de nossa amostra, recuperadas pelo método descrito anteriormente, e utilizamos de modo a analisar, em média, o quão este portfólio de patentes é citado por ano.

$$CRM_i = \frac{\sum \text{Citações Recebidas}}{N}$$

Para fins metodológicos, caso uma patente de determinada firma esteja registrada sob mais de um número, é necessário informar todos à *query*, devido ao fato de que, caso outra patente a cite, ela não obrigatoriamente precisa mencionar todos estes números, mas apenas algum(ns) destes. Ainda é importante mencionar que para construção do indicador foi descontada a auto-citação, para o que utilizamos o operador booleano *NOT* seguido da tag *AN* e o nome da firma.

A importância deste tipo de indicador para cálculo da qualidade média de determinado portfólio relaciona-se ao fato de que quanto mais citadas são as patentes de uma firma com relação às demais, maior é sua relevância frente às de seus concorrentes, de modo que se constitui em uma medida da influência tecnológica que a firma exerce no mercado. No

entanto, é necessário fazer a ressalva de que a média de citação não capta o valor de patentes cujos depósitos foram obtidos muito recentemente. O modelo de *query* utilizado foi:

CP= Números das Patentes em Biotecnologia Branca da Firma NOT AN= Nome da Firma Timespan=2000-2009

A tabela abaixo mostra a média de citações recebidas pelo portfólio de patentes em biotecnologia branca para as firmas de nossa amostra:

Tabela 3.14 – Média de citações recebidas

Firma	CR	CRM	Posição
Basf	28	0,600	6°
Bayer	14	1,75	1°
Braskem	0	0	7°
Dow	4	0,8	4°
DuPont	110	1,28	3°
Ineos	0	0	7°
Mitsubishi	91	0,603	5°
Petrobras	0	0	7°
Rhodia	9	1,29	2°
Solvay	NA	NA	NA

Onde: CR = Citações Recebidas, CRM = Média de Citações Recebidas e NA = Não se Aplica

Ambas firmas brasileiras de nossa amostra não receberam nenhuma citação por patente de outra firma para o período de análise com relação ao seu portfólio de patentes em biotecnologia branca. Isto indica a baixa qualidade de seu portfólio e a baixa capacidade de exercer influência sobre o mercado no desenvolvimento e fabricação de produtos pautados no uso de biotecnologia branca.

Especificamente no caso da Braskem, o contraste com o seu posicionamento medido pelos dois indicadores anteriores constituintes da qualidade média, escopo tecnológico e escopo internacional, indica que, embora esta firma brasileira realize um esforço para incorporação de atributos de qualidade em suas patentes desta natureza, este esforço não é reconhecido por outras

firmas, dada a baixa média de citações recebidas por seu portfólio de patentes. Isto relativiza a robustez e confronta a eficácia deste esforço.

3.2.2.7 – Média de Artigos Científicos Citados (Q4)

A análise da média de citação de artigos científicos pelas patentes de determinada firma é outro importante indicador da qualidade das mesmas. Considera-se que quanto maior é a citação de artigos científicos, maior é a qualidade do portfólio de patentes de determinada firma.

$$CAM_i = \frac{\sum \text{Artigos Científicos Citados}}{N}$$

A citação de artigos científicos releva que a tecnologia em questão está baseada em avanços científicos, o que é especialmente importante no caso da biotecnologia branca, cujos desenvolvimentos em muitos casos dependem de avanços na fronteira científica. Assim, este indicador também pode indicar a construção de canais para absorção de conhecimento gerado exogenamente, como em universidades e institutos de pesquisa. A tabela abaixo compila os resultados encontrados:

Tabela 3.15 – Média de artigos científicos citados

Firma	CA	CAM	Posição
Basf	75	1,6	3°
Bayer	12	1,5	4°
Braskem	1	0,5	8°
Dow	6	1,2	6°
DuPont	199	2,31	2°
Ineos	5	0,83	7°
Mitsubishi	15	0,1	9°
Petrobras	9	1,29	5°
Rhodia	51	6,38	1°
Solvay	NA	NA	NA

Onde: CA = Artigos Científicos Citados, CAM = Média de Artigos Científicos Citados e NA= Não se Aplica

É interessante notar que parece não haver forte correlação entre o tamanho do portfólio de patentes em biotecnologia branca e a citação de artigos científicos. O caso da Mitsubishi é exemplar a este respeito. Esta firma, que possui o maior portfólio com 151 patentes, é apenas a nona colocada em termos de média de citação de artigos científicos (0,1), muito aquém de Rhodia, DuPont e Basf, os melhores colocados com respectivamente 6,38, 2,29, 1,6. Chama a atenção a robustez da média da firma francesa, que chega a ser quase três vezes superior ao do segundo colocado.

A posição que a Petrobras ocupa com relação a este quesito é intermediária (5°). Já a Braskem ocupa uma posição ruim (8°) com relação à citação de artigos científicos pelas suas patentes em biotecnologia branca, só ficando à frente da Mitsubishi. De todo modo, ambas as firmas brasileiras estão distantes dos líderes neste quesito. Quando somadas, por exemplo, as citações de artigos científicos das firmas brasileiras correspondem apenas a 5% do total da DuPont.

3.2.2.8 – *Qualidade Média do portfólio de patentes em biotecnologia branca*

De modo semelhante ao que fizemos para a comparação da biotecnologia branca a outros campos do conhecimento tecnológico com relação à existência de uma robusta janela de oportunidades para *catching up* na indústria química para firmas de posição de baixa proeminência frente aos parâmetros colocados como relevantes pelo paradigma petroquímico para atividades de busca, atribuímos uma pontuação para cada firma com relação aos indicadores de qualidade de seu portfólio de patentes neste campo tecnológico. A firma melhor posicionada em cada indicador recebeu pontuação 10, enquanto a segunda recebeu pontuação nove, e assim sucessivamente. O objetivo do indicador resultante será o de apresentar o posicionamento relativo – mas não a distância relativa – entre as firmas da amostra, de modo a possibilitar a relativização da importância da intensidade de patenteamento de cada firma de acordo com a qualidade média do seu portfólio. Como resultado, auferem-se a força do portfólio de patentes em biotecnologia branca para cada firma.

Por fim, compilamos os resultados dos quatro indicadores de forma a posicionar cada firma frente aos demais concorrentes com relação a qualidade média do seu portfólio de patentes em biotecnologia branca. O resultado está compilado na tabela abaixo:

Tabela 3.16 – Qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca

Firma	ETM(Q1)	EIM(Q2)	CRM(Q3)	CAM(Q4)	ΣQ1 -Q4	Posição
Basf	9	10	5	8	32	2°
Bayer	6	7	10	7	30	3°
Braskem	10	9	4	3	26	4°
Dow	3	6	7	5	21	5°
DuPont	7	8	8	9	32	2°
Ineos	5	5	4	4	18	6°
Mitsubishi	4	4	6	2	16	7°
Petrobras	2	3	4	6	15	8°
Rhodia	8	7	9	10	34	1°
Solvay	NA	NA	NA	NA	NA	NA

É importante ressaltar que este indicador visa apenas a estabelecer o posicionamento relativo entre as firmas de nossa amostra com relação à qualidade do seu portfólio de patentes em biotecnologia branca e, por extensão, da força deste, de modo que estes resultados não devem ser estendidos a todas as firmas com possibilidade de atuação neste campo, apesar de possibilitar a concepção de *insights* sobre a alteração no padrão de atividades inovativas na indústria química frente a este evento de ruptura.

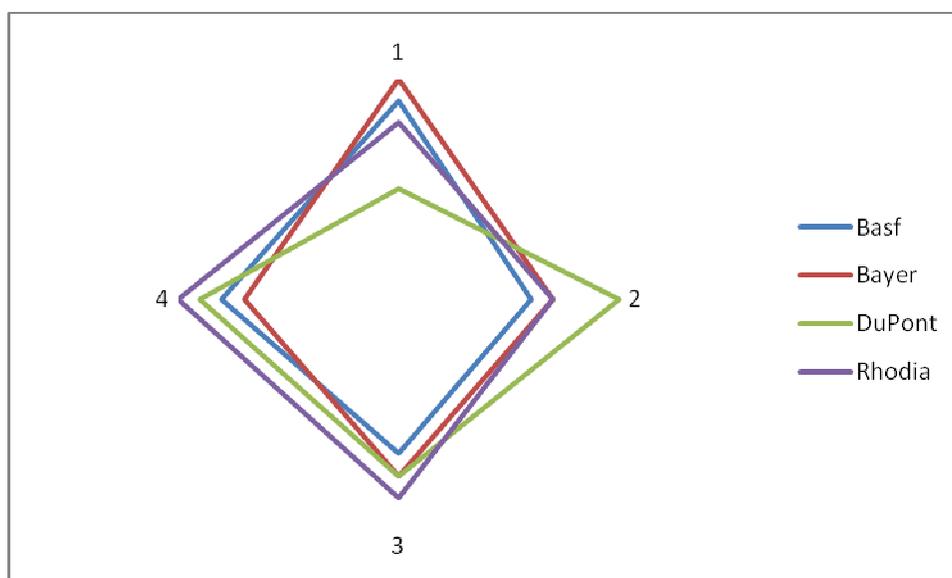
Com relação às firmas brasileiras, infere-se que a Braskem ocupa papel intermediário com relação à qualidade média de seu portfólio de patentes em biotecnologia branca, ocupando a 4° colocação, enquanto que a Petrobras ocupa 9° posição, o que a coloca como última colocada dentre as firmas que possuem patentes em biotecnologia branca de nossa amostra. Isto corrobora a baixa força do seu portfólio, visto que sua atividade patentária neste campo também não é robusta com relação aos rivais. Especialmente, é interessante notar a distância das firmas brasileiras com relação a Rhodia, Basf e DuPont, que possuem, cada uma, qualidade média de seu portfólio de patentes em biotecnologia branca que chega a ser superior ao dobro do da Petrobras, por exemplo.

Como argumentado no restante deste trabalho, patentes com boa qualidade média estão estritamente vinculados à adoção destas tecnologias por outros *players*, o que corrobora, *ceteris paribus*, o fato destas firmas estarem posicionadas de forma desvantajosa frente a grandes

concorrentes internacionais para o aproveitamento de oportunidades emergentes com o advento das rotas biotecnológicas para atuação na indústria química.

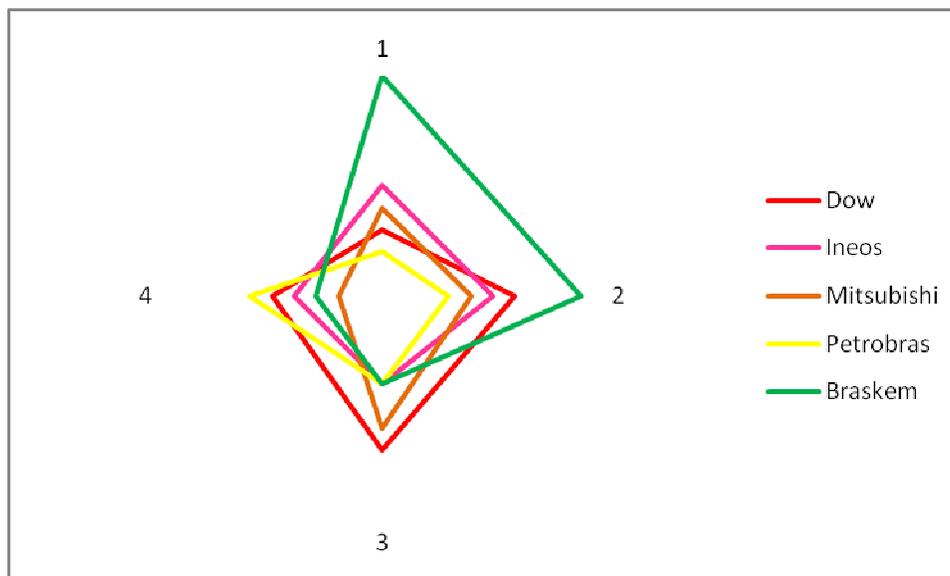
Os gráficos abaixo apresentam uma melhor visualização da qualidade média relativa do portfólio de patentes em biotecnologia branca. Quanto mais extremo for o posicionamento de determinada firma em cada uma das quatro dimensões do gráfico, maior será a qualidade média do seu portfólio naquela dimensão:

Gráfico 3.2 – Qualidade Média do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca –
BASF, Bayer, DuPont e Rhodia



Onde: 1 = ETM, 2 = EIM, 3 = CRM e 4 = CAM

Gráfico 3.3 - Qualidade Média do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca – Braskem, Dow, Ineos, Mitsubishi e Petrobras



Onde: 1 = ETM, 2 = EIM, 3 = CRM e 4 = CAM

Infere-se dos gráficos anteriores que há dois diferentes padrões com relação à qualidade medida relativa do portfólio de patentes em biotecnologia branca para as firmas de nossa amostra. No primeiro, envolvendo Basf, Bayer, DuPont e Rhodia, os valores relativos aos atributos de qualidade estão mais próximos aos extremos do gráfico, evidenciando portfólios de patentes de grande qualidade média. Em complemento, parece haver desenvolvimento mais equilibrado entre os quatro atributos.

Já no segundo, envolvendo Braskem, Dow, Ineos, Mitsubishi e Petrobras e, portanto, as firmas brasileiras da amostra, evidencia-se uma baixa qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca, já que a curva desta empresas está localizada longe dos extremos. Mesmo a Braskem, que parece de alguma forma destoar destas outras quatro firmas devido ao seu bom desempenho em escopo tecnológico e escopo internacional médios, se posiciona mau nos outros dois atributos, demonstrando desbalanceamento com relação à qualidade média do seu portfólio. Isto corrobora o mau posicionamento destas firmas frente aos seus concorrentes para aproveitamento das oportunidades trazidas pelo advento da biotecnologia branca para realização de atividades inovativas na indústria química.

3.3 – Força do portfólio de patentes em biotecnologia branca

Este indicador é construído a partir da combinação da atividade patentária em biotecnologia branca das firmas com a qualidade média deste portfólio. A qualidade média relativiza o peso da intensidade de patenteamento de cada firma já que, como argumentado ao longo do trabalho, a força do portfólio de patentes de determinada firma que, em última instância, determina seu posicionamento estratégico em determinado campo tecnológico, nos termos aqui colocados, é formada pela combinação de ambas as dimensões. A fórmula utilizada para seu cálculo foi a seguinte:

$$FP_{iF} = \log (AP_{iF} \wedge QP_{iF})$$

Onde AP_{iF} é a atividade patentária da firma em biotecnologia branca para o período 2000-2009 e PRQ_i a pontuação relativa à qualidade média do seu portfólio. A tabela abaixo apresenta a força do portfólio de patentes para cada firma:

Tabela 3.17 – Força do portfólio de patentes em biotecnologia branca

Firma	AP_{iF}	QP_{iF}	FP_{iF}	Posição
Basf	47	32	53,51	2°
Bayer	8	30	27,09	5°
Braskem	2	26	7,83	9°
Dow	5	21	14,68	6°
DuPont	86	32	61,90	1°
Ineos	6	18	14	7°
Mitsubishi	151	16	34,86	3°
Petrobras	7	15	12,68	8°
Rhodia	8	34	30,71	4°
Solvay	0	NA	NA	10°

Em primeiro lugar, é importante ressaltar que nem sempre a firma que possui mais patentes em determinado campo tecnológico é aquela que possui o portfólio de patentes mais forte em termos competitivos, já que a qualidade do que se patenteia é um atributo relevante para adoção. Como exemplo, a Mitsubishi, o principal patenteador em biotecnologia branca de nossa

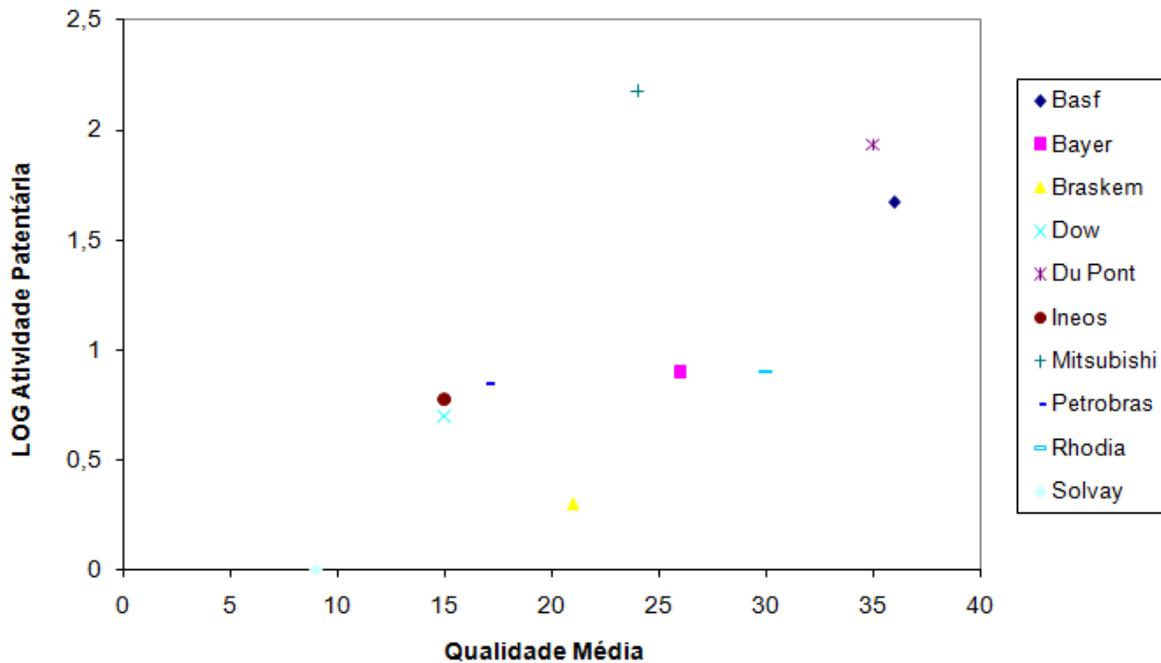
amostra – $AP_{IF} = 151$ – fica em terceiro lugar em termos de força de portfólio, já que a qualidade das 86 patentes da DuPont é significativamente superior, assim como a da Basf.

Com relação às firmas brasileiras, infere-se que estas estão mal posicionadas frente a grandes concorrentes internacionais selecionados para aproveitamento da janela de oportunidades para desenvolvimento e produção de químicos industriais a partir do advento da biotecnologia branca, o que se constitui, conforme conferimos, em uma janela de oportunidade *catching up* tecnológico. Respectivamente, Braskem e Petrobras ocupam a nona e a oitava posição, as piores dentre as firmas da amostra que possuem patentes em biotecnologia branca. Por exemplo, a DuPont, firma melhor posicionada dentre as de nossa amostra, possui um portfólio de patentes em biotecnologia branca cerca de oito vezes mais “forte” do que a da Braskem, e cerca de cinco vezes mais “forte” do que o da Petrobras. Conjuntamente, as firmas brasileiras possuem um portfólio de patentes em biotecnologia branca com “força” correspondente a apenas cerca de 8% do total. É interessante notar que a mesmo com uma relativamente robusta qualidade média do seu portfólio de patentes, a Braskem possui o pior posicionamento em termos da força do seu portfólio, já que seu patenteamento total nesse campo é pouco robusto.

É interessante notar a distância das três primeiras colocadas com relação a este quesito das demais. O portfólio de DuPont, Basf e Mitsubishi corresponde, respectivamente, a 24,06%, 20,08% e 13,55% do total. Em conjunto, possuem uma força de portfólio de patentes em biotecnologia branca que representa 58,41% do total da nossa amostra, o que as colocam como bem posicionadas para aproveitamento das oportunidades advindas com a emergência da biotecnologia branca para criação de vantagens competitivas frente aos novos parâmetros de busca estabelecidos como relevantes, o que corrobora a manutenção de sua posição inovativa de destaque. Isto está de acordo com a tese de Ahuja e Lampert (2001) de que grandes firmas incumbentes são, muitas vezes, os entes econômicos responsáveis pela introdução de inovações radicais de ruptura paradigmática, mesmo que esta “destruição criativa” schumpeteriana impacte sobre ativos e competências importantes destas mesmas firmas, construídos no bojo das condições competitivas relevantes frente aos parâmetros do paradigma anterior – neste caso, na produção de químicos industriais por via petroquímica.

O gráfico a seguir, elaborado a partir do trabalho de Fabry et al (2006), nos auxilia na visualização do posicionamento competitivo das firmas da amostra às rotas biotecnológicas:

Gráfico 3.4 – Força do Portfólio de Patentes em Biotecnologia Branca



Quanto mais próxima ao canto superior esquerdo estiver determinada firma, maior será a força do seu portfólio de patentes. Como nos mostra o gráfico, ambas as firmas brasileiras ocupam posições de baixo destaque, ou seja, estão entre aqueles *players* que potencialmente perderão a seleção real operada pelo mercado com relação a desenvolvimentos em biotecnologia branca.

No entanto, embora uma firma que possua grande força do portfólio de patentes com relação aos seus rivais tenha maiores chances de ser a vencedora da luta empreendida no mercado, isso não é algo inexorável. Um portfólio de patentes relativamente pequeno, porém que apresenta uma grande qualidade média, pode alçar a firma que o possui ao sucesso competitivo desde que a trajetória tecnológica vencedora seja aquela na qual esta firma depositou suas apostas. Além disto, a simples existência da propriedade de patentes em biotecnologia branca mostra a existência de capacidades dinâmicas para estas firmas, algo que pode se mostrar importante no médio e longo prazo. Isto é especialmente relevante no caso de estratégias de nicho, onde uma firma que busque oportunidades para realização de atividades inovativas muito específicas pode se inserir em uma trajetória de aprendizado que a eleva a um posicionamento competitivo mais robusto.

Conclusão

O advento da bioeconomia está estritamente vinculado ao apelo ambiental da sociedade por produtos e processos produtivos mais amigáveis ao meio ambiente quando comparados aos atuais, especialmente àqueles advindos da utilização de insumos fósseis. Isto exige a alteração dos atuais modelos produtivos em termos da diminuição da utilização quantitativa de insumos, e uma alteração qualitativa dos mesmos. Existem diversos fatores que pautam alterações desta natureza, e seu inter-relacionamento impacta sobre as estratégias da indústria e sobre políticas de ciência, tecnologia e inovação relacionadas a este contexto.

No bojo deste advento está a emergência das denominadas novas rotas biotecnológicas, ou seja, a aplicação de organismos vivos - ou parte deles - e de processos biológicos para a produção de bens e serviços. Especificamente, o objeto deste trabalho é a chamada biotecnologia branca, ou seja, a aplicação de tecnologias desta natureza ao desenvolvimento e fabricação de produtos químicos, materiais, combustíveis e energia. Apesar do foco deste trabalho não estar na área de energia, é necessário ressaltar que competências geradas neste campo podem ser de grande valia para operação em produtos químicos industriais de base biotecnológica.

Este tipo de tecnologia é amplamente pautado no uso de recursos renováveis, de modo que é grande seu potencial de atender ao apelo ambiental supracitado. É representativo deste modelo produtivo o advento das chamadas biorrefinarias, ou seja, plantas produtivas de incorporação de diversas plataformas tecnológicas derivadas do fracionamento da biomassa, à semelhança das atuais refinarias petroquímicas.

O Brasil e, por extensão, suas firmas, pela sua imensa disponibilidade de recursos desta natureza e pela experiência na sua utilização industrial, possui papel central nesta conjuntura. No entanto, é necessário distinguir atividades inovativas que se inserem no paradigma tradicional apesar de baseadas em recursos renováveis, como as da chamada rota alcoolquímica, de atividades inovativas de ruptura, como a biotecnologia. A base de conhecimentos relevantes para operação em biotecnologia é substancialmente diferente da que foi desenvolvida até o presente a partir do uso destes recursos, o que coloca grandes desafios às empresas brasileiras que pretendam assumir uma posição tecnológica de proeminência neste contexto, apesar de existir complementaridades entre as duas rotas.

Este trabalho buscou analisar a existência de uma janela de oportunidade para empreendimento de *catching up* tecnológico para desenvolvimento e produção de químicos industriais frente ao advento das rotas biotecnológicas, o que se constitui, como apresentado, em uma mudança paradigmática de ruptura na indústria química. Buscou-se também obter o posicionamento estratégico de importantes firmas brasileiras nesta indústria – Braskem e Petrobras – para aproveitamento destas oportunidades com relação a grandes concorrentes internacionais selecionados.

Este trabalho utilizou o termo janelas de oportunidades para representar a conjuntura de circunstâncias favoráveis representada pelo advento de uma inovação de ruptura em determinada indústria para que *players* que até então ocupavam uma posição inovativa de baixa proeminência venham a galgar posições de maior destaque. Isto se dá devido ao fato de que, líderes tecnológicos, por possuírem ativos e competências comprometidos com o paradigma anterior, possam ter suas posições solapadas por atividades inovativas de *players* que atendam aos novos parâmetros relevantes para atividades de busca emergentes com o evento de ruptura.

O termo “comprometimento” foi utilizado neste trabalho para representar dois tipos de armadilha das quais líderes tecnológicos podem padecer frente à emergência de uma inovação desta natureza. Enquanto as chamadas armadilhas de aprendizado estão relacionadas ao foco exclusivo em rotinas que garantem um bom desempenho no curto prazo, mas que impedem a manutenção de uma posição de destaque no longo prazo, as armadilhas de competências estão relacionadas ao foco em alternativas tecnológicas tecnicamente inferiores, que garantem desempenho superior no curto prazo, mas que podem aprisionar a firma em uma trajetória que possivelmente se torne obsoleta.

A medida pela qual o advento da biotecnologia branca representa uma janela de oportunidades na indústria química foi analisada em comparação a outros campos tecnológicos que também têm recebido crescente atenção do mercado e de tomadores de decisão política pelo seu apelo ambiental: células de combustível, energia eólica e membranas de purificação de água, além de outras duas subdivisões da biotecnologia, verde (aplicada a produtos e processos agrícolas) e vermelha (aplicada a produtos e processos farmacêuticos).

Em especial, analisamos características do regime tecnológico subjacente a cada campo a partir do padrão de atividades inovativas correlato, a partir das seguintes dimensões: i) concentração das atividades inovativas; ii) assimetrias entre inovadores de maior e de menor

destaque; iii) tamanho científico médio das firmas que patenteiam; e iv) alteração na hierarquia de inovadores. Estes indicadores foram construídos a partir do uso da base privada de patentes *Derwent Innovation Index*, para o período 2000-2009.

Julgamos que uma indústria onde exista uma robusta janela de oportunidades para *catching up* é caracterizada pela existência de um regime tecnológico com fortes condições de oportunidade e baixas condições de apropriabilidade e cumulatividade (Malerba & Orsenigo, 1993, 1997). Isto se reflete nas seguintes características do padrão de atividades inovativas da indústria: i) baixa concentração de atividades inovativas; ii) baixa assimetria entre inovadores de maior e de menor destaque; iii) baixo tamanho científico das firmas inovadoras; e iv) alta alteração na hierarquia de inovadores ao longo do tempo.

A biotecnologia branca aparece como o segundo colocado em termos da robustez da janela de oportunidades quando medida pelos indicadores supracitados. No entanto, é necessário fazer a ressalva de que os indicadores apontaram a importância da cumulatividade para realização de atividades inovativas, como sugere a baixa alteração na hierarquia inovativa no período analisado com relação aos outros campos tecnológicos.

Isto significa que alguns dos ativos e competências importantes para alcance e manutenção de uma posição de proeminência no paradigma petroquímico se mantêm relevantes para realização de atividades inovativas em biotecnologia. Especificamente, ainda são importantes a manutenção de uma robusta infraestrutura de P&D, possibilidades de escalonamento gradual da produção e competências em engenharia química. Isto se torna especialmente relevante quando compreendemos que as atividades inovativas em biotecnologia branca são pautadas por pesquisa básica inspirada pelo uso aplicado, de modo que este campo pode ser classificado como pertencente ao Quadrante de Pasteur de Stokes (1993). Isto está de acordo com a afirmação de Ahuja & Lampert (2001) de que algumas vezes, devido a fatores conjunturais, os líderes tecnológicos de determinado setor são os entes geradores de inovações de ruptura, mesmo que estas impliquem na destruição de algumas vantagens competitivas consolidadas.

De modo a compreender o possível papel que as firmas brasileiras possam assumir frente a este contexto, comparamos seu posicionamento competitivo em biotecnologia branca com o de grandes concorrentes internacionais selecionados – Basf, Bayer, Dow Chemicals, DuPont, Ineos, Mitsubishi, Rhodia e Solvay. A força do portfólio de patentes em biotecnologia

branca de cada uma destas empresas, dimensão utilizada para comparação, foi construída a partir do levantamento da intensidade de patenteamento de cada firma e da qualidade média do portfólio de patentes resultante. Um argumento central neste trabalho é que o balanceamento entre estas duas dimensões é fundamental para alcance de sucesso inovativo. Novamente, estes indicadores derivam de pesquisas realizadas na base Derwent para o período 2000 – 2009. A qualidade média do portfólio de patentes em biotecnologia branca de firma foi medida com base em quatro critérios: escopo tecnológico, escopo internacional, citações recebidas e artigos científicos citados.

Com relação à atividade de patenteamento, a Braskem, com apenas duas patentes desta natureza, ocupa a oitava posição, somente à frente da Solvay, para a qual não foi identificada nenhuma patente desta natureza. Já a Petrobras, com sete patentes, ocupa uma posição intermediária, porém distante dos líderes neste quesito – especialmente, Mitsubishi, DuPont e Basf com, respectivamente, 151, 86 e 47 patentes. É necessário ressaltar ainda que não foram encontradas atividades de co-patenteamento para as empresas brasileiras em biotecnologia, o que mostra uma certa lacuna no acesso a fontes externas de conhecimento quando medida por este meio, de modo antagônico, por exemplo, a Basf e Mitsubishi, líderes neste quesito.

É importante ressaltar que grande parte das atividades inovativas da Braskem com relação à utilização de insumos renováveis está concentrada na rota alcoolquímica, especificamente na produção do chamado polietileno verde, o que, conforme argumentado, é uma trajetória inserida no paradigma petroquímico. Este tipo de iniciativa é arriscada devido ao fato de que as vantagens construídas a partir da sua realização podem ser solapadas pelo advento de produtos inovativos que possuam as mesmas possibilidades de aplicação porém a partir de distintos atributos de qualidade e desempenho, como o PLA.

No entanto, a simples existência da propriedade de patentes em biotecnologia branca mostra esforços para construção de capacidades dinâmicas por estas firmas. Conseqüentemente, seus esforços inovativos poderão ser premiados caso estes sejam condizentes aos novos parâmetros de seleção do ambiente. Isto é especialmente relevante no caso de estratégias de nicho, onde uma firma que busque oportunidades para atividades inovativas muito específicas, pode se inserir em uma trajetória de aprendizado que a eleva a um posicionamento competitivo mais robusto. Este tipo de estratégia, pautadas em oportunidades de mercado não atrativas para

grandes líderes, pode colocar estas firmas em trajetórias de aprendizado que as alcem a posições inovativas de maior destaque na indústria química.

Já com relação à qualidade média do seu portfólio de patentes em biotecnologia branca, a Braskem ocupa a quarta posição, especialmente devido ao seu escopo tecnológico e escopo internacional. No entanto, devido à baixa intensidade de patenteamento, a empresa possui a nona colocação com relação à força do portfólio, ficando apenas à frente da Solvay, empresa para a qual não foi encontrada nenhuma patente em biotecnologia branca. Já a Petrobras, que ocupa a oitava colocação em qualidade média, possui o oitavo portfólio mais forte.

Em suma, apesar de haver uma janela de oportunidades para obtenção de *catching up* tecnológico na indústria química por *players* que ocupam uma posição de baixa proeminência inovativa frente aos parâmetros colocados como relevantes para atividades de busca pelo paradigma petroquímico, dado o advento das novas rotas biotecnológicas de desenvolvimento e produção, o que consideramos um evento de ruptura, as firmas brasileiras incumbentes com potencial para aproveitamento desta janela se encontram muito mal posicionadas frente a grandes concorrentes internacionais que possuem iniciativas neste campo, o que corrobora o impedimento da sua ascensão a posições inovativas de maior destaque.

Por fim, possíveis implicações derivadas dos resultados do esforço de pesquisa deste trabalho são:

- i) As características das tecnologias em questão, especialmente seu enquadramento no Quadrante de Pasteur, tornam de grande relevância, para seu desenvolvimento, o estabelecimento de uma maior proximidade entre empresas e universidades e institutos de pesquisa. Assim, é necessário que a política de ciência, tecnologia e inovação encoraje esta aproximação, através, por exemplo, de iniciativas de incentivo à contratação de doutores pelas empresas;
- ii) Como os desafios colocados para o desenvolvimento destas tecnologias muitas vezes estão relacionados ao avanço da fronteira científica em diversos campos disciplinares, bem como à interação entre estes, e devido ao caráter recursivo do processo inovativo, a

construção de plantas multipropósito, em consonância ao conceito de biorrefinaria, onde pesquisadores dedicados aos mais diversos problemas de pesquisa específicos possam interagir, de forma a alavancar concomitantemente diferentes plataformas tecnológicas, é de grande relevância. Um exemplo de planta desta natureza é a *Integrated Biorefinery Research Facility (IBRF)* do *National Renewable Energy Laboratory* do Departamento de Energia estadunidense, voltada ao desenvolvimento de etanol, outros combustíveis e produtos químicos a partir da biomassa lignocelulósica²⁷.

- iii) Devido a grande importância de escalonamento gradual da produção para desenvolvimento de tecnologias desta natureza, é importante que a política de C,T&I incorpore mecanismos de financiamento para este tipo de atividade, que se constitui em verdadeiro gargalo para que princípios científicos e invenções promissoras em biotecnologia se tornem inovações de fato.

²⁷ Uma descrição mais detalhada sobre esta planta pode ser encontrada em:
http://www.nrel.gov/biomass/integrated_biorefinery_research_facility.html.

Referências Bibliográficas

ABPol . Biorefinaria - Desenvolvimento de plataformas químicas através de tecnologias integradas de biomassa, **Polímeros**, vol.19 no.1 São Carlos, 2009.

AHUJA & LAMPERT Entrepreneurship in the Large Corporation: A Longitudinal Study of How Established Firms Create Breakthrough Inventions, **Strategic Management Journal**, Vol. 22, No. 6/7, 2001

ARTHUR, W. BRIAN. " Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events" **The Economic Journal**, Vol. 99, No. 394. (Mar., 1989), pp. 116-131, número 36(2): 274-287.

ARTHUR, W. BRIAN. "The Structure of Invention." **Research Policy**, número 36(2): , 2007, pp 274-287.

ARCHIBUGI, D. & MICHIE, J. **Technology, Globalisation and Economic Performance**. Cambridge University Press: Cambridge, 1997

ARROW, K. **The Economic Implications of Learning by Doing**. **Review of Economic Studies** (The Review of Economic Studies, Vol. 29, No. 3) 29 (3): 155–73.

BACCARIN, J. G. **A constituição da nova regulamentação sucroalcooleira**. Brasília, São Paulo: Universidade de Brasília, Editora UNESP, 2005.

BASF. **Biotechnology**. Disponível em <http://www.basf.com/group/corporate/en/products-and-industries/biotechnology>. Acesso em: 25 set. 2010

BASF. **White biotechnology**. Disponível em: <<http://www.basf.com/group/corporate/en/products-and-industries/biotechnology/white-biotechnology>>. Acesso em: 25 set. 2010.

BASTOS, V.D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias in BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar, 2007.

BIOTECHNOLOGY INDUSTRY ASSOCIATION. **Guide to Biotechnology**. 2008

BNDES e CGEE; Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, RJ.: BNDES, 2008.

BENNET, Simon; PEARSON, Peter. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid fuels and chemicals production in the UK. **Chemical Engineering Research and Design** 87 (2 0 0 9) 1120–1139

BELL, Martin; Pavitt, Keith. "Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts Between Developed and Developing Countries". **Industrial and Corporate Change**, 2(2). 1993

BHALLA, A (1994) **Technology Choice and Development** in Salomon, J.J., Sagasti, F e Sachs-Jeantet, C (eds) *The Uncertain Quest – Science, Technology and Development*, United Nations University Press, Tokyo, pp. 412 – 445.

BOSCOLO, M. (2003). Sucroquímica: síntese e potencialidades de aplicações de alguns derivados químicos de sacarose, *Quimica Nova*, Vol. 26, No. 6, 906-912, 2003. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n6/a21v26n6.pdf>. Acesso em 24 ago. 2009.

BRAMBILLA, S. D. S.; VANZ, S. A. de S.; STUMPF, I. R. C. **Mapeamento de um artigo produzido na UFRGS: razões das citações recebidas**. Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., Florianópolis, n.esp., jan./jun. 2006.

BROOKS, H. "National Science Policy and Technological Innovation," in Ralph LANDAU and Nathan ROSENBERG, eds., **The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth** .Washington, D.C.: National Academy Press, 1986.

BUSH, V. **Science, the Endless Frontier**. Republished by United States National Science Foundation, Washington: 1960

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. **History of Energy System**. Pittsburgh .2003.
Disponível em: <http://telstar.ote.cmu.edu/enviro/m3/s3/01history.shtml> . Acesso em out. 2010.

COASE, Ronald H. The Lighthouse in Economics, **Journal of Law and Economics** 17 (2): 357–376, 1974

COHEN, W.M., LEVINTHAL, D. A. “Innovation and learning: the two faces of R&D.”
Economic Journal, v. 99, n. 397, p. 569, 1989.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **CONVERSOR DE MOEDAS**. Disponível em
<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp> . Acesso em 01.mar.2011

DAVID, P.A. Clio and the economics of Qwerty. **American Economic Review**, v. 75, n. 2, p. 332-337. Maio de 1985.

DINA, B. MICHAL, D. & MANFRED, W. Status of second generation biofuels demonstration facilities in June 2010. **A report to IEA bioenergy task 39**. 2010.

DOSI, G., Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, **Research Policy**, 11(3):147-162, 1982

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

DUNNING, J. Location and the Multinational Enterprise: A Neglected Factor?
Journal of International Business Studies, Volume 29, 1, 1998

EUROPABIO. **An introduction to the applications of industrial (white) biotechnology europabio's biotechnology information kit.** Disponível em:

[http://www.ibec.ie/Sectors/IBIA/ibiadoclib3.nsf/wvICSS/AE1D70C0938E14B280256D9F005B B7EB/\\$File/Intro+to+the+Applications+of+White+Biotechnology+I+%2823.9KB%29.pdf](http://www.ibec.ie/Sectors/IBIA/ibiadoclib3.nsf/wvICSS/AE1D70C0938E14B280256D9F005B B7EB/$File/Intro+to+the+Applications+of+White+Biotechnology+I+%2823.9KB%29.pdf) .

Acesso em: Nov. 2010.

EUROPABIO. Green biotechnology - a help to the environment. (2002) Disponível em:

<http://www.europabio.org/documents/greenbio.pdf>. Acesso em Abril.2010

EUROPABIO. **Industrial (White) Biotechnology. An Effective Route to Increase EU Innovation and Sustainable Growth.** Disponível em:

<http://www.europabio.org/positions/DSM-WB.pdf> . Acesso em 20.Outubro.2010.

EUROPABIO. What is healthcare biotechnology ? Disponível em:

<http://www.europabio.org/Healthcare/>. Acesso em 20.Outubro.2010

EUROPABIO. **White Biotechnology: Gateway to a More Sustainable Future.** Bruxelas, 2009.

FABRY, B. et al, Patent portfolio analysis as a useful tool for identifying R&D and business opportunities—an empirical application in the nutrition and health industry. **World Patent Information** 28, 215–225, 2006

FAPESP. **Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia.** Disponível em

<http://bioenfapesp.org>. Acesso em: out. 2010.

FAYAD, M.; Motamen, H. **The economics of the petrochemical industry.** London : F. Pinter; 1986

FOLHA DE SÃO PAULO, Braskem adquire Quattor por R\$ 870 milhões e cria megapetroquímica. 22/01/2010.

FREEMAN, Christopher. **Unemployment and Technical Innovation: A Study of**

Long Waves and Economic Development. Westport, CT: Greenwood Press; 1982

FUNVERDE. **O que são plásticos biodegradáveis ?** Disponível em:

<http://www.funverde.org.br/blog/archives/5882>. Acesso em 30 ago. 2010.

GENENCOR. **Pathway Engineering.** Disponível em:

http://www.genencor.com/wps/wcm/connect/genencor/genencor/technology/expressionx_secretion/pathway_engineering/1x3_propanediol/1x3_propanediol_en.htm . Acesso em 02 nov. 2010.

GREVE, H. R. “Exploration and Exploitation in Product Innovation” **Industrial and Corporate Change**, Volume 16, Number 5, pp. 945-975, 2007.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JOHANSSON, T. B. et. al. **Renewable energy: sources for fuels and electricity.** Washington, D.C.: Island Press, 1993.

GILSING, V. et al Network embeddedness and the exploration of novel technologies:

Technological distance, betweenness centrality and density. **Research Policy** 37;1717–1731. 2008.

GOETTEMOELLER, J. et al. **Sustainable Ethanol: Biofuels, Biorefineries, Cellulosic Biomass, Flex-Fuel Vehicles, and Sustainable Farming for Energy Independence.** Praire Oak Publishing, Maryville, Missouri, 2007.

HAMELINCK, C.N et al. ‘Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term’. **Biomass and Bioenergy** 28; 2005 384–410.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Statistics – Consumption of Oil Products, World.** Paris, 2008.

KAMM, B; GRUBER, Patrick R.; KAMM, Michael. **Biorefineries-industrial processes and products: status quo and future directions**. Weinheim: Wiley-vch Verlag Gmbh & Co. Kga, 2006.

KEMP, R. "Technology and Environmental Sustainability: The Problem of Technological Regime Shifts" **Futures** 26(10):1023-1046. 1994

KLINE, J. AND ROSENBERG, N, "An Overview of Innovation", in R. LANDAU AND N. ROSENBERG (eds), **The Positive Sum Strategies: harnessing Technology for Economic Growth**. National Academic Press, 1986.

KREIDER, J.F, CURTISS, P.S. 2007. Comprehensive evaluation of impacts from potential, future automotive fuel replacements. **Energy Sustainability**, Long Beach, 2007 .

KUHN, T.S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press. 1962.

LALL, S. & TEUBAL, M. "Market-stimulating" technology policies in developing countries: A framework with examples from East Asia, **World Development**, Elsevier, vol. 26(8), pages 1369-1385, 1998.

LAMBE, C. J. & SPEAKMAN, R. E. Alliances, External Technology Acquisition, and Discontinuous Technological Change. **J Prod Innov Manag** 1997; 14: 102-116, 1997.

LANDAU, R. O processo de inovação na indústria química, In ARORA, A.; LANDAU, R.; ROSENBERG, N., **Chemicals and Long-term Economic Growth: Insights from the Chemical Industry**, Nova York: John Wiley, 1998.

LANDES, D. **The Unbound Prometheus: Technological and Industrial Development in Western Europe**, 1750-1914. Cambridge: Cambridge University Press, 1969

LANXESS. **LANXESS invests in U.S. biofuel & biochemical company** . Disponível em: [http://corporate.lanxess.com/en/investor-relations/investor-news/detail/15679/?tx_editfiltersystem_pi1\[news_category\]=32](http://corporate.lanxess.com/en/investor-relations/investor-news/detail/15679/?tx_editfiltersystem_pi1[news_category]=32). Acesso em 20.Setembro.2010

LEE, K. and C. LIM “Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries’, **Research Policy**, 30, 459-483. 2001

LIU, W. Knowledge exploitation, knowledge exploration, and competency trap. **Knowledge and Process Management** 13:3, 144-161, 2006.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy** 31 247–264, 2002.

MALERBA, F; ORSENIGO, L. Technological Regimes and Firm Behavior. **Industrial and Corporate in Change**. 2(1). 1993.

MALERBA, F., L ORSENIGO, Schumpeterian Patterns of Innovation, **Cambridge Journal of Economic**,19 (1), 47-65, 1995.

MALERBA, F., L ORSENIGO. Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. **Industrial an Corporate Change**. vol. 6, n.1, 1997.

MARCH, J. G. Exploration and exploitation in organizational learning, **Organization Science** 2 (1), pp. 71–87, 1991.

MORAES, V. Poema para Gilberto Amado. **Para Viver Um Grande Amor**, p. 80, Editora Record, Rio de Janeiro, 1991.

MOWERY & ROSENBERG. **Paths of Innovation: Technological Change in 20th-Century America**. Cambridge, MA: Cambridge Univ. Press, 1998.

NELSON, R. Capitalism as an Engine of Progress, **Research Policy**, Elsevier, vol. 19(3), pages 193-214, 1990.

NELSON, R. & WINTER, S. G. **An evolutionary theory af economic change**. Estados Unidos: Harvard U. P, 1982.

NOGUEIRA, S. O poder do hidrogênio. Caderno Mais. **Folha de São Paulo**, 10.Dezembro.2010.

NREL. **Biomass Program Overview**. Disponível em:
<http://www.nrel.gov/programs/biomass.html> . Acesso em: 05 nov. 2010.

NREL. **From Biomass to Biofuels NREL Leads the Way**. Disponível em
<http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/39436.pdf>. Acesso em: Out. 2010.

NREL. Integrated Biorefinery Research Facility (IBRF). Disponível em:
http://www.nrel.gov/biomass/integrated_biorefinery_research_facility.html. Acesso em 03.nov.2010.

NREL. **NREL Industry Partners Move Cellulosic Ethanol Technology Forward**. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/news/press/2008/600.html>>. Acesso em: 02 nov. 2010.

NREL. **Sítio do National Renewable Energy Research**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/>. Acesso em: 10 out. 2010.

NREL & PNNL. **Top Value Added Chemicals from Biomass, Vol. I**. Ago 2004.

NREL & PNN. **Top Value Added Chemicals from Biomass, Vol.II**. Out de 2007.

OCDE, **A Framework for Biotechnology Statistics**, Paris, 2005

OCDE. **The Bioeconomy to 2030: Design a Policy Agenda**. Paris, 2009.

OKAMURA, K. & VONORTAS, N. “European Partnership and Knowledge Networks”. **Technology Analysis and Strategic Management**, 18(5): 535-560, December 2006.

OKUBO, Y. **Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples**. Paris: OCDE/GD, 1997.

OLIVEIRA, L.G.O., PINTO, A.C., RIBEIRO, N.M., SILVA, R.B., SUSTER, R. Informação de Patentes: Ferramenta Indispensável para Pesquisa e o Desenvolvimento Tecnológico, **Química Nova**, Vol. 28, Suplemento, S36-S40, 2005.

PAIVA, P. **Boletim Sociedade Portuguesa de Química**. Out/Dez 2006 n 103, PP. 56-61.

PATENTSIGHT GMBH. **The Patent Asset Index**. Disponível em:
<<http://www.patentsight.com/index.php/mpai.html>>. Acesso em: 13 set. 2010.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. Working Papers in **Technology Governance and Economic Dynamics**. The Other Canon Foundation, Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn, 2009

PEREZ, C. & SOETE Catching up in technology: Entry barriers and windows of opportunity. In Dosi, G. et al. (eds.), **Technical Change and Economic Theory**. London: **Pinter Publishers**, 1988, p. 458-479

PERLACK, R. et al. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply (DOE/GO-102005-2135). Oak Ridge, TN: US DOE. 2005

RAGAUSKAS, A.J et al. The path forward for biofuels and biomaterials. **Science**, 311(5760), 2006, 484–489.

ROSENBERG, N. The historiography of technical progress. In: Inside the Black Box: technology and economics, **Cambridge University Press**: Cambridge, 1982

ROSEMBERG, N. Quão Exógena é a Ciência, **Revista Brasileira de Inovação**, vol.5, número 2, julho/dezembro 2006.

ROSSEL, C E V. Hidrólise de bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de etanol celulósico. In: **PROJETO ETANOL**, 2007, Campinas.

SAHAL, D. “Technological Guideposts and Innovations Avenues”. **Research Policy**, v. 14, n. 2, Apr 1985, p. 61-82.

SCHUMPETER, J. A.. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Abril Cultural, 1943.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**, col. Os Economistas, Abril Cultural, São Paulo, 1983.

SILVEIRA, J. M. & BORGES, I. Um panorama da biotecnologia moderna in SILVEIRA, J.M., DAL POZ, M.E., ASSAD, A.L. (org) **Biotecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil**, Instituto de Economia (IE) da Unicamp & FINEP, 2004.

SPITZ, P. (ed) **The Chemical Industry at the Millennium: Maturity, Restructuring, and Globalization**. Philadelphia, Pa.: Chemical Heritage Foundation, 2003.

STOKES, D. E. Pasteur’s quadrant: a study in policy science ideas. Mimeo draft, Princeton. 1993.

TEECE, D. J., (1986) “Profiting From Technological Innovation: implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy”, in **Research Policy**, 15/6, p. 285-305, 1986.

TEECE, D., PISANO, G. “The Dnamic Capabilities of the Firm: an Introduction”. **Industrial and Corporate Change**, 3(3), p. 537-56, 1994.

TEECE, D.J., PISANO, G., SHUEN, A., Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal** 18 (7), 509–533, 1997.

THOMSON REUTERS. **Derwent World Patents Index**. Disponível em:
<<http://thomsonreuters.com/content/legal/products/DWPI>>. Acesso em: 02 out. 2010.

US DOE. **Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol – a joint research agenda**. Eua, 2006.

U.S. Doe Energy Efficiency And Renewable Energy. Vv. **Biomass FAQs**. Disponível em:
<http://www1.eere.energy.gov/biomass/biomass_basics_faqs.html>. Acesso em: 03 nov. 2010.

US GEOLOGICAL SURVEY. **Cooperative Research and Development Agreement**. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/tech-transfer/what-crada.html>>. Acesso em: 21 set. 2010.

USITC (2008). Industrial biotechnology: development and adoption by the US chemical and biofuel industries. Investigation n. 332-481, USITC Publication 4020, Jul 2008. Disponível em <http://www.usitc.gov/publications/332/pub4020.pdf> . Acesso em 03 ago. 2009.

VASCONCELOS, Y. Degradação difícil - estudo revela que plásticos oxibiodegradáveis não se decompõem na natureza como esperado. **Revista Pesquisa Fapesp**, n. 152, Out. 2008.
Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3660&bd=1&pg=1&lg=> . Acesso em 04 ago. 2009.

WINTER, S. Understanding Dynamic Capabilities. **Strat. Mgmt. J.**, 24: 991–995, 2003