

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PEDRO LUCAS CHAGAS MENDONÇA

**Caracterização da trajetória tecnológica de patentes de biotecnologia: estudo
de caso do bioetanol.**

PROFESSOR ORIENTADOR: DOUTOR JOSÉ MARIA F.J. DA SILVEIRA
INSTITUTO DE ECONOMIA, UNICAMP

CAMPINAS
2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PEDRO LUCAS CHAGAS MENDONÇA

**Caracterização da trajetória tecnológica de patentes de biotecnologia: estudo
de caso do bioetanol.**

TRABALHO APRESENTADO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM CIÊNCIAS
ECONÔMICAS

PROFESSOR ORIENTADOR: DOUTOR JOSÉ MARIA F.J. DA SILVEIRA
INSTITUTO DE ECONOMIA, UNICAMP

CAMPINAS
2015

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais, Francisco e Graça Maria pelo apoio e exemplo em toda a minha vida e principalmente nesses últimos seis anos em que vivi longe de casa.

Agradeço também ao meu orientador José Maria e à equipe do Núcleo de Economia Agrícola do Instituto de Economia da Unicamp.

Não poderia deixar de agradecer a família “República Dois de Julho” e todos aqueles que conviveram comigo no Instituto de Economia da Unicamp.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é traçar um panorama para o cenário de tecnologia do etanol de segunda geração. Inicialmente, apresenta-se um breve histórico do desenvolvimento da produção de etanol no Brasil e nos Estados Unidos. O segundo capítulo discute questões atuais sobre biocombustíveis: o desenvolvimento de um novo sector, a bioeconomia. O tópico seguinte aborda as etapas de conversão de biomassa em etanol de lignocelulose. O terceiro capítulo traz a análise do cenário de inovação de quatro tecnologias para conversão da biomassa lignocelulósica em biocombustíveis a partir da perspectiva de redes de patentes. A metodologia que surge a partir da análise de redes é abordada apresentando-se os seus principais elementos. Descreve-se então às características das redes de inovação em bioetanol e, por fim, segue-se uma breve conclusão.

PALAVRAS-CHAVE: BIOETANOL, REDES, PATENTES, INDICADORES, TECNOLOGIA, LIGNOCELULOSE

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to plot an overview for the technology scenario for the second generation ethanol. Initially, I present a brief history of the ethanol production development in Brazil and in the United States. The second chapter discuss about current issues on biofuels: the development of a new sector, the bioeconomy. The next topic describes the lignocellulosic biomass conversion process into ethanol. The third chapter brings the analysis of four technologies innovation scenario to convert biomass into biofuels from the patents networks perspective. Initially I discuss about the dynamic of the intellectual propriety system and the methodology that arises from analysis of networks. I highlight important finds about those technologies.

KEYWORDS: BIOETHANOL, NETWORKS, PATENTS, INDICATORS, TECHNOLOGY, lignocellulose

Lista de figuras

Figura 1: Composição da molécula de celulose	36
Figura 2: Estrutura da biomassa lignocelulósica	37
Figura 3: Rede Bioprocessing	51
Figura 4: Rede Direct Microbial Conversion	53
Figura 5: Rede Separate Hydrolysis and Fermentation	55
Figura 6: Rede <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>	57
Figura 7: Subrede SSF – <i>k-core</i> 20 e distância geodésica 1	58
Figura 8: Gráfico biparte de requerentes, patentes e inventores	59
Figura 9: <i>ThemeScape</i> gerado a partir das patentes dos quatro processos de conversão	63
Figura 10: Áreas temáticas destacadas nas quatro tecnologias de conversão de biomassa	64

Lista de gráficos

Gráfico 1: Distribuição dos diferentes usos da biomassa para energia	14
Gráfico 2: Licenciamento anual de veículos novos no Brasil	18
Gráfico 3: Produção global anual de etanol por país/região.....	19
Gráfico 4: Plantas de etanol, capacidade e produção nos Estados Unidos.....	22
Gráfico 5: RFS2 - Nível exigido e produção real de etanol 2g	23
Gráfico 6: Preços dos alimentos e da energia.....	27
Gráfico 7: Plantas de etanol celulósico nos Estados Unidos.....	33
Gráfico 8: Pagamentos anuais a NPE nos anos de 2005 a 2011	42
Gráfico 9: Rede CBP, <i>top assignees</i> por ano, 1997-2011	52
Gráfico 10: Rede DMC, <i>top assignees</i> por ano, 1993-2011.....	54
Gráfico 11: Rede SHF, <i>top assignees</i> por ano, 2005-2011.	55
Gráfico 12: Rede SSF, <i>top assignees</i> por ano, 1994-2011	59

Lista de quadros

Quadro 1: Matriz de termos de busca.....	46
Quadro 2: Indicadores de Rede	62

Lista de tabelas

Tabela 1: Plantas de etanol de segunda geração.....	19
Tabela 2: Composição química de biomassas lignocelulósica com potencial de produzir bioetanol	35

Sumário

Capítulo 1	10
1.1 Introdução	10
1.2 Produção de Etanol no Brasil	16
1.2.1 Proálcool	16
1.3 Produção de etanol nos Estados Unidos	20
Capítulo 2	24
2.1 Biocombustíveis	24
2.1.1 Impactos no preço dos alimentos?	24
2.2 As origens da era dos biocombustíveis	27
2.3 Bioeconomia	29
2.4 Biorrefinarias	31
2.5 Cenários norte-americano e brasileiro de P&D	32
2.6 Etanol de Segunda Geração	34
Capítulo III	41
3.1 Patentes	41
3.1.1 O que é <i>patent trolling</i>	43
3.2 Redes de Inovação	46
3.2.1 Redes de Citação de Patentes: sistemas econômicos complexos e evolucionários	48
3.2.2 Trajetórias tecnológicas	56
3.2.3 Indicadores de Rede	59
Conclusão	66
Referências bibliográficas	68

Capítulo 1

1.1 Introdução

O desenvolvimento deste trabalho parte do atual contexto marcado pelo debate sobre formas de se mitigar os impactos na natureza decorrente das atividades do homem e a busca por fontes alternativas de combustíveis. O fenômeno do aquecimento global está diretamente relacionado ao uso dos combustíveis fósseis. Neste cenário, o desenvolvimento de biocombustíveis não só contribuiria para reduzir os danos à natureza, como também abre espaço para o desenvolvimento de um novo setor, a bioeconomia, baseada em grandes investimentos de P&D em biotecnologia e produtos químicos *biobased*.

O etanol de segunda geração, ou bioetanol é um dos diversos biocombustíveis que estão sendo desenvolvidos atualmente; sua viabilidade comercial depende da evolução das tecnologias de conversão da biomassa lignocelulósica em etanol. Além desses desafios tecnológicos, a produção de biocombustíveis ainda sofre críticas como o fato de que seria um dos causadores da elevação dos preços dos alimentos.

O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica de inovação em etanol de segunda geração buscando observar como um portfólio de patentes detido por uma ou mais empresas de biotecnologia indica a constituição de barreiras à entrada e quais os impactos para o desenvolvimento do setor de biocombustíveis.

A hipótese é de que as patentes não são apenas mecanismos de proteção dos direitos intelectuais; elas são utilizadas ativamente pelas empresas como estratégia de mercado.

Inicialmente apresenta-se um breve histórico sobre a produção de etanol no Brasil e nos Estados Unidos, os dois maiores produtores mundiais. No capítulo dois será abordado o desenvolvimento da bioeconomia e também será descrito as etapas para a produção do etanol de lignocelulose. O capítulo três apresenta a análise da dinâmica da inovação das tecnologias de conversão da biomassa lignocelulósica em etanol.

1.2 Biocombustíveis: conceitos básicos

Segundo o portal do Ministério do Meio Ambiente¹ (MMA), biocombustível é qualquer combustível originado de espécies vegetais - isto é, que tem origem biológica, desde que não tenha passado por processo de fossilização. Conforme a definição técnica da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, biocombustível é todo combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna; ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Os biocombustíveis são produzidos, principalmente, a partir da biomassa ou resíduos orgânicos e são considerados fonte de energia limpa e renovável disponíveis em grande abundância na natureza.

Na prática, qualquer combustível hidrocarboneto que é produzido a partir de matéria orgânica (viva ou que foi material vivo em algum momento) num curto período de tempo (dias, semanas ou mesmo meses) é considerado um biocombustível. Isto contrasta com os combustíveis fósseis, que levam milhões de anos para se formar e com outros tipos de fontes de energia, que não são baseadas em hidrocarbonetos (fissão nuclear, por exemplo).

A produção de biocombustíveis não necessariamente precisa ser feita por um organismo vivo, embora eles possam fazer. Os biocombustíveis também podem ser obtidos por meio de reações químicas, realizadas num laboratório ou ambiente industrial, que utilizam matéria orgânica (a chamada biomassa) para fazer combustível. Os únicos requisitos reais para um biocombustível são de que o material de partida deve ser CO₂ que foi fixado (transformada em outra molécula) por um organismo vivo e o produto final do combustível deve ser produzido de forma rápida e não ao longo de milhões de anos.

Os biocombustíveis podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, embora o termo seja frequentemente utilizado na literatura em sentido estrito para se referir apenas aos biocombustíveis líquidos para o transporte. Estes combustíveis podem ser usados para quaisquer fins, mas o principal uso para o qual eles têm sido destinados está no setor de transportes. A maioria dos veículos exigem combustíveis que fornecem alta potência e são densos, de modo que

¹ Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis>>. Acesso em 25/11/2014.

o armazenamento seja mais fácil. Estes motores exigem combustíveis que são limpos e estão na forma líquida.

A vantagem da utilização de combustíveis líquido é que eles podem ser facilmente bombeados. Esta é a principal razão pela qual quase todos os veículos utilizam forma líquida de combustíveis para fins de combustão. Para aplicações em outros setores além do transporte existem alternativas de combustível de biomassa sólida, como a madeira. Estas aplicações não relacionadas ao transporte podem utilizar combustíveis de biomassa sólida, pois eles podem suportar a baixa densidade de potência da combustão externa. A madeira tem sido colocada em uso desde um período muito longo, anterior ao desenvolvimento do motor de combustão interna e é um dos principais contribuintes do aquecimento global.

O Ministério do Meio Ambiente entende que biomassa é todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica - de origem vegetal ou animal - tendo por objetivo principal a produção de energia. Grãos de milho, algas, e caules de cana-de-açúcar são todos exemplos de biomassa. O Brasil, por possuir condições naturais e geográficas favoráveis à produção de biomassa, pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso como recurso energético. Além de possuímos grande quantidade de terra agricultável, com boas características de solo, a sua situação geográfica também é um fator favorável: o país recebe intensa radiação solar ao longo do ano - o que é a fonte de energia fundamental para a produção de biomassa. No entanto, é necessária a conjugação de esforços no sentido de que esta produção ou o seu incremento seja feito de maneira sustentável, tanto do ponto de vista ambiental quanto social.

Antes do aquecimento global relacionado à queima de combustíveis fósseis tornar-se um fator importante na determinação da origem da energia, a maior preocupação era que os combustíveis fósseis, que são considerados limitados na oferta, se esgotariam em período de médio prazo. A ideia era de que se pudssemos produzir hidrocarbonetos de outra forma, e rapidamente, então poderíamos atender às nossas demandas de energia sem grandes dificuldades. Isto leva a um dos principais fatores de separação entre um biocombustível e um combustível fóssil – “renovabilidade”.

A energia renovável é qualquer fluxo de energia perpétua (com duração de um longo período de tempo) que pode ser aproveitada para fins úteis. Com a exceção da geotérmica e da *tidal energy* (é diferente da energia oriunda do movimento das ondas oceânicas), toda energia

renovável é uma forma de energia solar, quer direta, que inclui energia solar e da fotossíntese, ou indireta, inclusive eólica, hídrica, e energia das ondas. A energia geotérmica é a energia de calor gerado no interior da Terra por processos radioativos gravitacionais e naturais. A *tidal energy* é a água em movimento decorrente da interação gravitacional da Terra e da Lua e é distinta da energia das ondas.

Um combustível fóssil não é considerado renovável porque leva milhões de anos para se formar. Renovável caracteriza algo que é inesgotável ou então regenerado em um dado período de tempo; no caso da energia, normalmente definido como a duração de uma vida humana. Os biocombustíveis, por outro lado, vêm da biomassa e, portanto, podem ser produzidos, ano após ano, através de práticas agrícolas sustentáveis. Isto significa, portanto, que biomassa e biocombustíveis são renováveis (podemos substituir biocombustível usado ao longo de um período muito curto de tempo).

É importante notar que “energia renovável” não é a mesma coisa que “energia verde”. A energia de fontes renováveis como os biocombustíveis, energia hidrelétrica, eólica e solar, simplesmente não vai se esgotar em um período de curto prazo. A energia verde é aquele que também é boa para o planeta, porque não prejudica os ecossistemas, tampouco contribui para a chuva ácida, ou para o agravamento do aquecimento global. A energia solar é uma energia verde. Toda a energia verde é considerada renovável, mas o contrário não necessariamente é válido. Os biocombustíveis são exemplos de fontes de energia renováveis, que nem sempre são verdes porque eles produzem gases de efeito estufa.

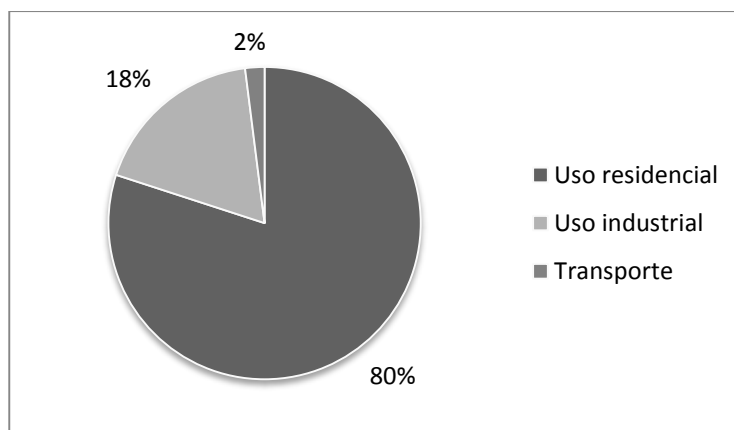
Segundo Brown e Brown (2012) o desenvolvimento de combustíveis alternativos aos derivados do petróleo envolve duas questões básicas: decidir qual a fonte primária de energia e quais as formas de energia (*energy carriers*) para os nossos sistemas de transporte. Fontes primárias de energia são as formas de energia como elas são encontradas na natureza, seja o petróleo em bacias sedimentares ou o vento circulando na atmosfera. Raramente estas formas podem ser usadas em motores de combustão interna sem que haja algum tipo de transformação em uma forma mais limpa e mais conveniente como o etanol ou a gasolina. As formas primárias de energia têm de ser convertidas em “transportadores de energia” (*energy carriers*) compatíveis com os nossos sistemas de transporte. Não faz sentido abastecermos nossos meios de transporte através do uso de grandes quantidades de carvão como era feito na era do vapor ou de biomassa.

O relatório da FAO (2008) classifica os biocombustíveis de acordo com a sua origem e seu tipo. Eles podem ser derivados de produtos florestais, agrícolas ou de pesca ou resíduos urbanos, bem como da agroindústria e da indústria de alimentos. Podem ser sólidos, tais como lenha, carvão de madeira; líquidos, tais como o etanol, biodiesel e óleo de pirólise; ou gasosos como o biogás. Também é feita uma distinção básica entre os biocombustíveis primários (não transformados) e secundários (transformados).

Biocombustíveis primários, como lenha e cavacos de madeira, são aqueles onde o material orgânico é utilizado essencialmente na sua forma natural (como colhido). Esses combustíveis são queimados diretamente, geralmente para fornecer combustível para cozinhar, aquecer ou necessidades de produção de energia elétrica em aplicações industriais de pequena escala e larga.

Biocombustíveis secundários na forma de sólidos (por exemplo, carvão), líquidos (por exemplo, etanol, biodiesel), ou gases (por exemplo, biogás, gás de síntese e hidrogênio) podem ser usados para uma ampla gama de aplicações, incluindo transporte e processos industriais de alta temperatura.

Gráfico 1: Distribuição dos diferentes usos da biomassa para energia



Fonte: IEA, 2007. Elaboração própria.

O principal uso de biocombustíveis é no setor de transportes. Conforme dito anteriormente, os biocombustíveis são adequados para o uso em transporte porque apresentam

densidade² de energia relativamente elevada (ao contrário da eletricidade e baterias) e porque eles são fáceis de distribuir, através da infraestrutura atual, com apenas pequenas modificações (ao contrário do hidrogênio). Além disso, como os biocombustíveis são bastante semelhantes aos combustíveis à base de petróleo, pouca modificação é necessária para tornar os veículos aptos a funcionarem bem com os biocombustíveis. Apesar de quantitativamente o seu papel ser apenas marginal quando comparado aos outros destinos da biomassa como fonte de energia (no gráfico acima observamos que o uso da biomassa como fonte de energia para transporte é 2%), o maior crescimento nos últimos anos tem sido em biocombustíveis líquidos para transporte, com destaque para o etanol e biodiesel.

² É a relação entre a quantidade de energia contida em um dado sistema ou região do espaço e o volume ou a massa, dependendo do contexto, deste sistema/região.

1.2 Produção de Etanol no Brasil

A presença da cana-de-açúcar no Brasil remete ao período colonial brasileiro, desde o século XVI faz parte da economia nacional. Em São Paulo, em fins do século XIX, início do século XX, foram instalados diversos engenhos centrais e usinas. A agroindústria canavieira paulista cresceu no interior, nas fazendas de colonos, em geral, imigrantes e em 1930, Piracicaba já produzia 20% do açúcar³ do estado de São Paulo.

A relação entre o etanol e o Brasil remete aos anos 1920. O extinto Instituto de Açúcar e do Alcool (IAA) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) foram instituições que exerceram um papel muito importante para o crescimento do setor alcooleiro no país, ao buscar, no exterior, a melhor tecnologia então disponível para a fabricação do álcool etílico. No fim dos anos 1930 foram realizadas novas aquisições de máquinas e as *Usines de Melle*, instaladas na França, responsáveis pelo desenvolvimento e pela patente do processo de fermentação com reciclo do fermento.

No Brasil, a primeira mistura obrigatória de etanol foi instituída pelo governo em 1931, pelo decreto 19.717: estabelecia a aquisição obrigatória de álcool, na proporção de 5% da gasolina importada. A redução da importação de petróleo durante a II Guerra Mundial devido à guerra submarina alemã serviu de incentivo ao etanol de cana-de-açúcar. Brown e Brown (2012) indicam que a produção teria aumentado de 26 mil galões em 1933 para 20 milhões de galões em 1945.

1.2.1 Proálcool

Em 1973, os países produtores de petróleo do Oriente Médio, onde se concentravam as maiores jazidas, uniram forças e romperam com o cartel das grandes multinacionais distribuidoras que, historicamente, fixavam seu preço no mercado. Surgiu a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Em apenas um ano, o gasto do Brasil com importação

³ Do álcool ao etanol, Unica, 2010.

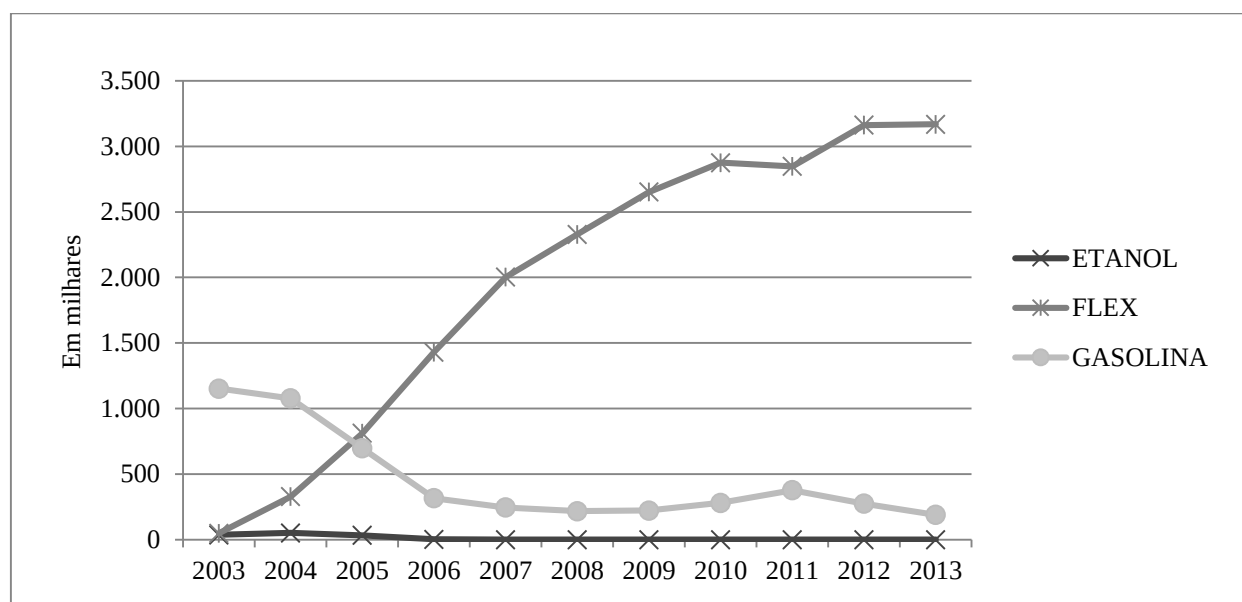
do petróleo quadruplicou, subindo de US\$ 60 milhões de dólares, em 1973, para US\$ 2,5 bilhões de dólares, em 1974. A crise do petróleo foi uma das razões para o governo criar em 1975, por meio do decreto nº 76.593/75, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Com o Proálcool, o governo criou incentivos para substituir em larga escala os combustíveis derivados de petróleo por etanol.

Bastos (2012) traça um panorama geral deste programa que foi desenhado, quando as importações de petróleo representavam cerca de 80% do consumo doméstico, para encorajar o etanol combustível por meio de: regras regulatórias (mistura mandatória do etanol anidro à gasolina e, depois da segunda crise do petróleo, o desenvolvimento de motor especial de veículos movido exclusivamente a etanol hidratado); incentivos fiscais; empréstimos subsidiados; e preços de combustíveis controlados por meio de um esquema de subsídio cruzado em que os preços da gasolina eram artificialmente fomentados para manter o preço do etanol em nível competitivo (XAVIER 2007 apud BASTOS 2012). Em setembro de 1979, o Governo Federal e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) assinam um protocolo pelo qual os fabricantes deveriam desenvolver novas tecnologias para a produção em série de veículos a etanol. Entre outras medidas de estímulo, foi reduzido o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para esse tipo de veículo. Também ficou acertado que o preço do etanol equivaleria a 64,5% do preço da gasolina. No contexto internacional, a segunda crise do petróleo levou o preço do barril disparar de US\$ 12 para US\$ 34 em média (valores da época).

Os veículos movidos a álcool chegaram a atingir 85% das vendas totais no país. No entanto, o cenário mudou a partir da segunda metade da década de 1980, devido ao contexto econômico negativo: alta inflação, altos déficits fiscais, queda nos preços do petróleo e reorientação da cana para produção de açúcar, em função da alta dos preços do produto no mercado internacional, levando à oferta insuficiente e à importação de etanol, o que comprometeu a continuidade do programa. Em 1986 o governo federal reviu as políticas de fomento, retirando o subsídio ao álcool, o que reduziu a rentabilidade média da agroindústria canavieira e estimulou ainda mais o uso da cana para a fabricação de açúcar para exportação. Brown e Brown (2012) aponta que ao fim dos anos 1980, os preços da cana sofreram elevados aumentos, de modo que em 1989, eram apenas 60% dos automóveis abastecidos por etanol e em 1996 o número tinha caído para 1%.

A indústria de etanol enfrentou grandes dificuldades até a onda de expansão seguinte, permitida com o desenvolvimento de tecnologia de motores e lançamento de veículos bicomcombustíveis em 2003, além do aumento da mistura obrigatória do etanol à gasolina (na faixa de 20% a 25%, dependendo do mercado de etanol). A elevação dos preços internacionais do petróleo, a partir de 2002, e o consequente aumento do preço da gasolina trouxeram de volta o interesse do consumidor pelo carro a álcool. Porém, as vendas não deslanchavam pelo receio que a população tinha quanto à garantia de abastecimento, até o momento em que as montadoras de veículos disponibilizaram o motor flexível ao combustível *Flex Fuel Vehicle* (FFV). É o que revela o Relatório do Ipea (2010)⁴ (veja o gráfico abaixo): o desenvolvimento da tecnologia FFV marca um novo momento para o mercado do etanol no Brasil, que se consolida a partir de 2005. No gráfico abaixo não estão inclusos os veículos movidos a diesel nem os movidos a eletricidade.

Gráfico 2: Licenciamento anual de veículos novos no Brasil



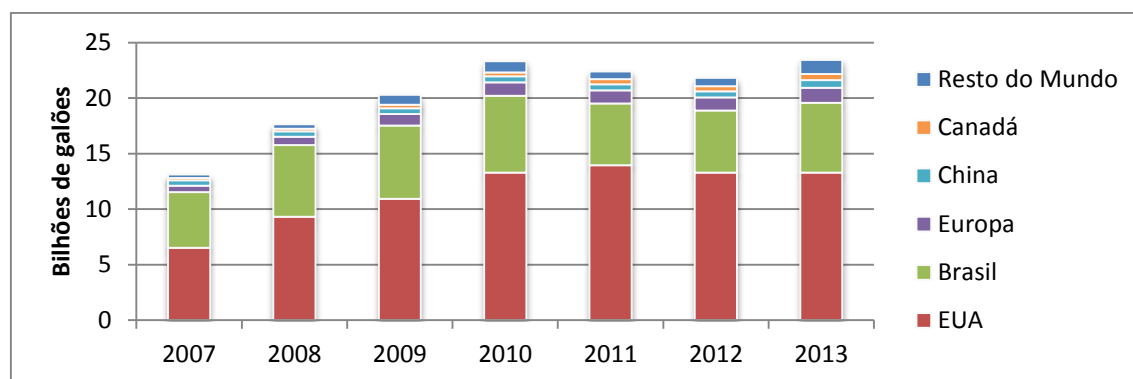
Fonte: UnicaData⁵. Elaboração Própria.

Atualmente, o Brasil e nos Estados Unidos são responsáveis por 84% da produção de etanol conforme observamos no gráfico abaixo.

⁴ Biocombustíveis no Brasil: Etanol e biodiesel. Comunicados do Ipea, nº 53, 2010.

⁵ Disponível em <<http://www.unicaData.com.br/listagem.php?idMn=54.>> Acesso em 25/11/2014

Gráfico 3: Produção global anual de etanol por país/região



Fonte: Alternative Fuels Data Center (AFDC)⁶. Elaboração própria.

A tabela abaixo apresenta as primeiras plantas produtoras de etanol celulósico em escala comercial já em operação ou ainda em construção (caso da planta da Raízen) no Brasil e nos Estados Unidos. Não há uma tecnologia única comum aos projetos; as plantas utilizam diferentes insumos de biomassa para produzir etanol. Trata-se de um setor ainda emergente, e, portanto, dependente do apoio do setor público. No caso norte-americano, o Departamento de Energia foi um grande incentivador desses projetos e no Brasil, os investimentos contaram com apoio de recursos do BNDES.

Tabela 1: Plantas de etanol de segunda geração

Localidade	Organização	Matéria-prima	Capacidade*	Operação	Investimento
Vero Beach, Flórida	Ineos	resíduos agrícolas do milho	8	jul/13	US\$ 130 mi
Emmetsburg, Iowa	Poet e Royal DSM	resíduos agrícolas do milho	20	set/14	US\$ 250 mi
Hugoton, Kansas	Abengoa	palha de milho, palha de trigo	25	out/14	US\$ 500 mi
Nevada, Iowa	DuPont	resíduos agrícolas do milho	40	dez/14	US\$ 200 mi
Galva, Iowa	Quad County Corn Processors	fibra de grãos de milho	2	jul/14	US\$ 9 mi
São Miguel dos Campos, Alagoas	Granbio	palha da cana	22	set/14	US\$ 190 mi
Piracicaba, São Paulo	Raízen e Novozymes	Bagaço da cana	11	mar/15	US\$ 102 mi

Fonte: Elaboração do autor a partir de dados obtidos nos sites das empresas.

* Capacidade em milhões de galões por ano

⁶ Disponível em <<http://www.afdc.energy.gov/data/10423>> Acesso em 25/11/2014

1.3 Produção de etanol nos Estados Unidos

A resposta do governo norte-americano ao embargo imposto pela Opep, ao contrário do governo brasileiro, não teve a mesma intensidade em relação ao uso de biocombustíveis como alternativa a gasolina. Nos EUA, os biocombustíveis foram apenas um dos esforços para a redução da dependência do país em relação à importação de petróleo. As medidas centrais envolviam a melhora dos padrões de eficiência dos automóveis e o desenvolvimento tecnológico para a conversão do carvão em combustíveis de transporte. A adoção do etanol foi encorajada através de iniciativas como o “Federal Energy Tax Act” de 1978 que garantiu um subsídio de quarenta centavos de dólar por galão que tivesse uma mistura de 10% de volume de etanol com gasolina. Nos anos subsequentes, o subsídio chegou a sessenta centavos de dólar por galão até ser completamente rescindido no fim de 2011. Durante este período, nos anos 1980 observou-se uma redução do interesse pelo etanol devido a queda nos preços do petróleo atingindo níveis históricos mínimos. A invasão do Kuwait pelo Iraque e a intervenção militar norte-americana renovou o interesse dos Estados Unidos em reduzir a dependência em relação às importações de petróleo oriundo do Oriente Médio.

O início da experiência brasileira vinte anos antes da experiência dos EUA em comercializar biocombustíveis e a superioridade da eficiência energética da cana-de-açúcar em relação ao milho como insumo para produção de etanol inspirou um receio nas autoridades norte-americanas de que a sua jovem indústria teria dificuldades em competir com o etanol brasileiro. Afinal, como pode ser observado no gráfico abaixo o etanol de cana-de-açúcar é consideravelmente mais barato de ser produzido do que o etanol de milho. Como uma medida de defesa da sua indústria nascente, os Estados Unidos impuseram uma tarifa de cinquenta e quatro centavos de dólar sob o etanol importado em 1980.

Os ataques terroristas de 2001 e a revelação de que a maior parte dos sequestradores eram cidadãos da Arábia Saudita, um dos maiores fornecedores de petróleo para os Estados Unidos, causou grande apreensão sobre o fato da dependência norte-americana em relação às importações de petróleo do Oriente Médio. A demanda crescente da China e da Índia e violência crônica espalhada nos países produtores tais como Iraque, Nigéria e Líbia causaram uma forte elevação

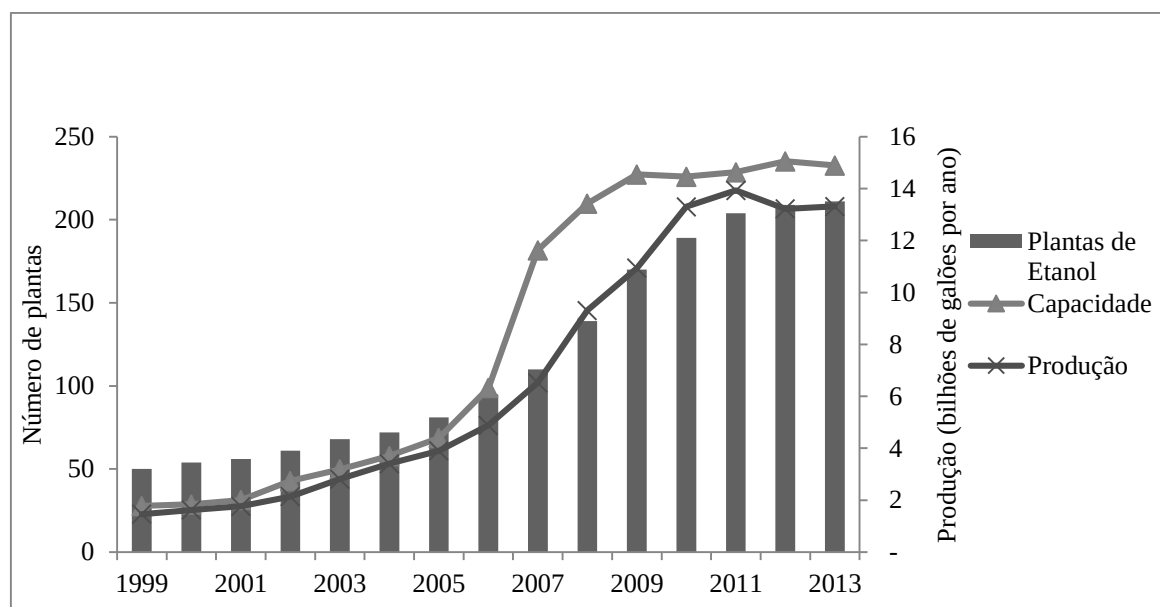
do preço do petróleo (e, portanto, da gasolina), quadruplicando os preços entre 1988 e 2008. Brown e Brown (2012) apontam que o desenvolvimento da era dos biocombustíveis nos Estados Unidos iniciou-se em 2005, quando o então presidente, George W. Bush transformou em lei o *Energy Policy Act*. Este contexto foi marcado pela iniciativa do estado da Califórnia em banir o Éter metil-terc-butílico (MTBE, também conhecido como éter metil terciário butílico é um aditivo para a gasolina, usado como um oxigenato e para elevar a octanagem). No Brasil ele é proibido inclusive por questões socioeconômicas, devido ao uso do etanol como aditivo na gasolina. O MTBE usado como aditivo para reduzir as emissões de poluentes no ar pelos automóveis estava contaminando as águas subterrâneas, o que levou ao seu banimento em diversos estados norte-americanos e, subsequentemente, a substituição pelo etanol. O aumento do comportamento hostil dos líderes da Venezuela e da Rússia contra os Estados Unidos e seus aliados levantou a preocupação de que estas duas nações ricas em petróleo poderiam adotar a chantagem de bloquear a oferta de energia para os mercados norte-americanos e europeus caso haja discordância em algum evento de política internacional.

Em 2006, quando os preços do etanol atingiram o pico, cerca de 450 milhões de galões do etanol brasileiro foram importados pelos Estados Unidos. O subsídio do governo norte-americano que chegou ao nível de US\$ 0,60 por galão em 1984, foi reduzido gradualmente para US\$ 0,54 em 1990, US\$ 0,51 em 1998 e US\$ 0,45 em 2008. Quando o subsídio foi finalmente extinto em 2011, a produção de etanol nos EUA já havia se tornado rentável, de maneira que não havia mais necessidade em ter o apoio federal. A tarifa sobre importação de etanol também foi extinta em 2011, encerrando uma grande barreira às relações comerciais do Brasil com os Estados Unidos.

O *Renewable Fuel Standard*⁷ foi criado pelo *Energy Policy Act* de 2005, estabeleceu, inicialmente, uma exigência mínima de volume de combustível renovável a ser misturado à gasolina nos Estados Unidos. A proposta original determinava uma meta de se misturar à gasolina cerca de 7,5 bilhões de galões de combustível renováveis até 2012. O estímulo ao etanol pode ser percebido no gráfico abaixo: a partir do ano de 2005, a quantidade de plantas produtoras e a capacidade de produção de etanol nos Estados Unidos sofre um grande crescimento.

⁷ United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <http://www.epa.gov/oms/fuels/renewablefuels/>

Gráfico 4: Plantas de etanol, capacidade e produção nos Estados Unidos



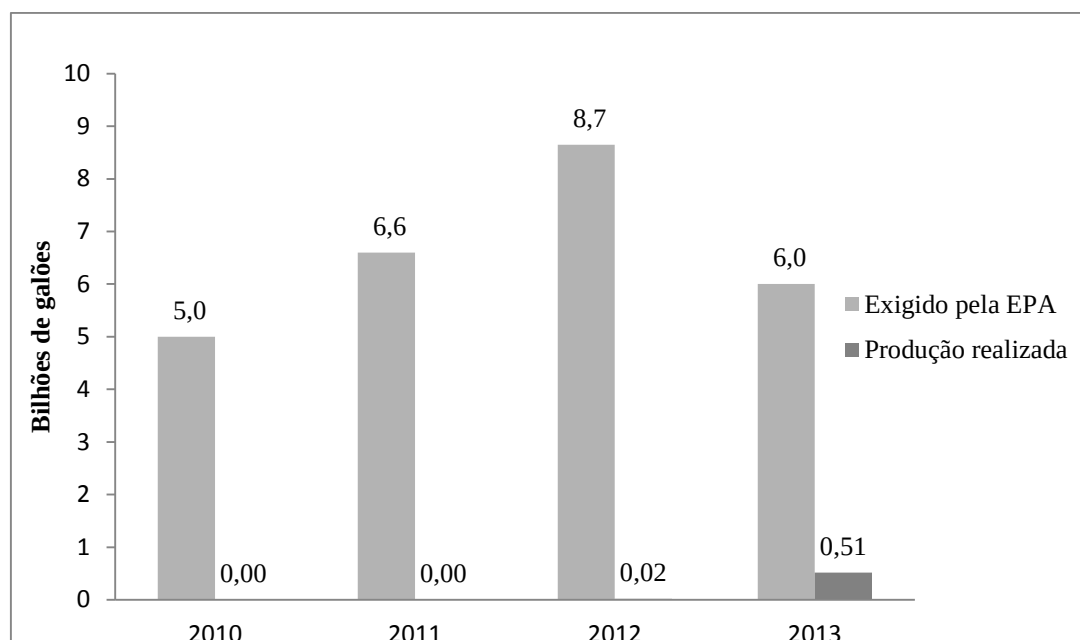
Fonte: Alternative Fuels Data Center (AFDC)⁸. Elaboração própria.

O *Renewable Fuel Standard*, em 2007, passou por algumas mudanças: estabeleceu novas categorias de combustíveis renováveis e determinou o volume mínimo exigido para cada categoria. Existem quatro categorias⁹ de biocombustíveis: celulósicos, diesel de biomassa, biocombustíveis avançados e combustíveis renováveis no geral. Esta divisão é problemática, pois as categorias acabam se sobrepondo: a categoria de biocombustíveis avançados inclui biocombustíveis celulósicos e diesel à base de biomassa, bem como biogás e outros combustíveis de biomassa. A categoria de combustível renovável geral é o total do volume de biocombustíveis avançados e volume de etanol à base de milho. No ano de 2006, o então presidente norte-americano, George W. Bush declarou ser um objetivo do governo federal, elevar a produção de etanol celulósico a um nível de escala comercial no prazo de seis anos. Este compromisso foi reafirmado pela administração Obama em 2010 quando adotou-se o *Renewable Fuel Standard 2* que exigia dos distribuidores de combustíveis de transporte dos Estados Unidos misturar dezesseis bilhões de galões de etanol celulósico por ano até 2022. No entanto, diversas críticas são feitas às medidas adotadas pelo governo norte-americano. Conforme observamos no gráfico abaixo, há uma grande discrepância entre as metas estabelecidas pela autoridade de energia norte-americana e a produção efetivamente realizada.

⁸ Disponível em < <http://www.afdc.energy.gov/data/10342>>. Acesso em 25/11/2014

⁹ LAMB e ALEXANDER, 2013.

Gráfico 5: RFS2 - Nível exigido e produção real de etanol 2g



Fonte: Institute for Energy Research, 2013. Elaboração própria

Para 2014, a EPA tinha proposto uma redução da meta exigida de combustível renovável total de 18,15 bilhões de galões para 15,21 bilhões de galões. Para os biocombustíveis avançados a redução seria de 3,75 bilhões de galões para 2,20 bilhões e para o biocombustível celulósico de 1,75 bilhões de galões para 17 milhões de galões. Em junho¹⁰ de 2014, as metas para o ano de 2014 ainda não haviam sido determinadas. Argumenta-se que as reduções propostas são uma reação às condições atuais do mercado, a limitada capacidade da infra-estrutura atual norte-americana em relação ao uso de combustível com misturas de gasolina que contenha mais de 10% de etanol, e a escassez de etanol celulósico. Nos volumes propostos, haveria um excedente de capacidade de produção de etanol nos Estados Unidos. O termo *blend wall* resume esta limitação que a infra-estrutura disponível nos Estados Unidos sofre; tanto as bombas nos postos como os veículos, poderiam suportar níveis de E10 (gasolina com uma mistura 10% de etanol) ou E15 (gasolina com uma mistura 15% de etanol). Os carros *flex-fuel* representam uma minoria no mercado norte-americano. Haveria, portanto, um teto máximo para a demanda do mercado por etanol.

¹⁰ BASTASCH, 2014.

Capítulo 2

2.1 Biocombustíveis

Nos últimos anos pode-se observar o desenvolvimento de um intenso debate a cerca dos biocombustíveis. Questões como a redução da emissão de gases ligados ao efeito estufa e, portanto, a mitigação do aquecimento global e o desenvolvimento de alternativas ao petróleo podem encontrar uma resposta com o desenvolvimento dos biocombustíveis. No entanto, a produção de biocombustíveis convencionais defronta-se com sérias dificuldades para atingir os níveis desejados: alguns críticos acusam os biocombustíveis de primeira geração de serem responsáveis pelo aumento dos preços dos alimentos, além de causarem impactos negativos na terra e de contribuir para a emissão de gases estufa. Estas críticas servem de estímulo à adoção de tecnologias avançadas, como o etanol de segunda geração.

Os biocombustíveis de segunda geração permitiriam o emprego, em grande escala, de matérias-primas vegetais de menor custo, como resíduos agrícolas, ou que fossem provenientes de áreas pouco adequadas à agricultura convencional. A pressão sobre a produção de alimentos seria, portanto, muito diminuída.

2.1.1 Impactos no preço dos alimentos?

Entre 2006 e 2008, os preços dos alimentos básicos como arroz, trigo, milho e soja sofreram um rápido crescimento chegando a dobrar ou triplicar em alguns casos. Neste período, a produção de biocombustíveis sofreu diversas críticas. A Grocery Manufacturers Association dos Estados Unidos lançou uma campanha contra o etanol, afirmando que ele era culpado pelo aumento dos preços do milho e o aumento dos preços dos alimentos. O Banco Mundial declarou que a produção de biocombustíveis nos Estados Unidos e na Europa era o principal responsável pelo aumento dos preços dos alimentos. Brown e Brown (2012) observam que, esta ideia fazia sentido a princípio, pois os preços do milho começaram a subir no momento em que a indústria de etanol começou a crescer rapidamente. Esta ideia parte da premissa de que a produção de

milho nos Estados Unidos é voltada fundamentalmente para a produção de alimento, o que não é verdade. Apenas cerca de 3%¹¹ da produção de milho nos Estados Unidos é voltada para o consumo humano como alimento. Esta confusão também ocorre em relação à soja: somente 20% do seu conteúdo é utilizado como óleo para cozinha e ingredientes; o restante é proteína de soja, utilizado principalmente como alimento para os animais. É fundamental perceber que a maior parte da produção de milho e soja dos Estados Unidos é utilizada como alimento para gado.

O Banco Mundial, em um relatório divulgado em 2010, aponta os biocombustíveis como um dos fatores menos relevantes para o aumento dos preços dos alimentos em 2008, enquanto que o grande responsável seria o aumento do preço da energia¹². Após o pico dos preços dos alimentos ter sido atingido em julho de 2008, os preços de milho e soja, os dois principais insumos para a produção de biocombustíveis nos Estados Unidos, começaram a cair e, em dezembro de 2008, já haviam retornado ao nível em que se encontravam dois anos antes. Enquanto isso, a produção de etanol atingia níveis recordes. Instabilidade política, falta de uma infraestrutura adequada para armazenamento e transporte, preços elevados do petróleo, excesso de liquidez e políticas governamentais que desencorajaram o desenvolvimento da agricultura são alguns entre os principais elementos que podem explicar este movimento. É o preço do petróleo no limite que determina o preço das commodities enquanto vivermos numa economia do petróleo. A sua queda de preço após o verão de 2008 está alinhada com a queda redução dos preços das commodities.

O estudo de Merkushev e Rapsomanikis (2014) corrobora com esta visão, ao encontrar uma relação de determinação entre os preços do petróleo e os preços de etanol e de grãos no longo prazo. Os autores partem da observação de que, no caso do milho por exemplo, ele serve de insumo tanto para a produção de energia como para a produção de alimentos. Aumentos no preço do petróleo podem levar a aumentos na produção de etanol (efeito substituição) e em uma redução na oferta de milho como alimento, resultando, portanto, em aumento no preço dos alimentos. No curto prazo, a oferta de grãos não pode ser expandida de modo a atender tanto a demanda de energia quanto a demanda de alimentos. Os autores partem da hipótese de que a lógica de maximização do lucro, a política de biocombustíveis dos Estados Unidos (sobretudo o

¹¹ HANSEN, R. e HUNTRODS, D. (2009) **White corn profile**. Agriculture Marketing Resource Center.

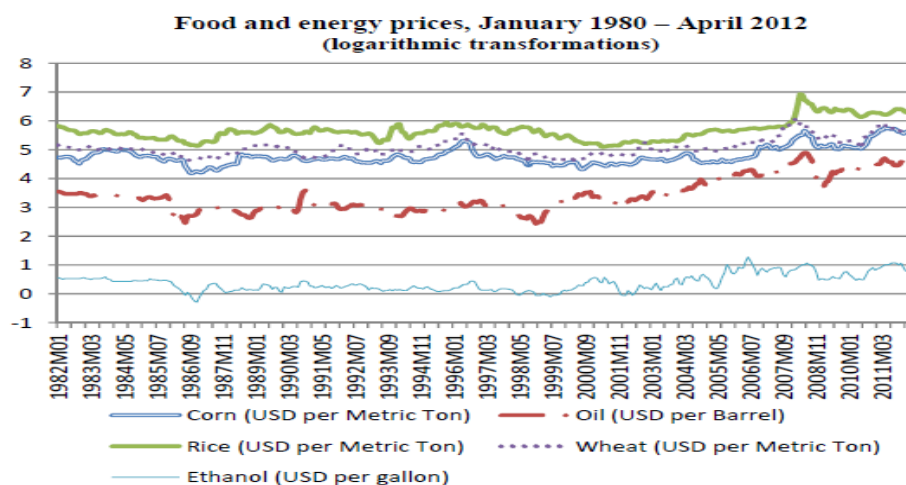
¹² BAFFES, J. e HANIOTIS, T. (2010) **Placing the 2006/08 Commodity price Boom into Perspective**.

Renewable Fuel Standard) e a tecnologia atual nos automóveis¹³ norte-americanos estabelecem uma relação não-linear entre os preços do petróleo e do etanol, e, por extensão, entre os preços do petróleo e dos grãos. A lógica de maximização do lucro age em termos da substituição de um combustível para outro: petróleo e etanol podem ser bens substitutos, complementares, com seus preços movendo-se de maneira conjunta ou podem ser bens totalmente não relacionados, com movimentos de preços independentes. O RFS, conforme visto anteriormente, determina um nível mínimo de consumo de etanol no mercado norte-americano ao determinar a quantidade mínima de etanol que cada refinaria deve adicionar ao combustível. O *blend wall* é o limite superior de etanol que pode ser misturado em gasolina e consumido pela frota automotiva dos Estados Unidos. A relação não-linear de ajuste do preço de etanol e dos grãos determinada pelo preço do petróleo seria consequência das possibilidades limitadas de substituição do petróleo por etanol no mercado de combustíveis de transporte dos EUA (*blend wall* determina o volume máximo), ou devido às políticas estabelecidas pela RSF (determina o volume mínimo).

A análise de dados sobre preços do petróleo, milho, arroz, trigo e etanol no período de 1980 a 2012 revelou que os preços do milho, do trigo e do arroz moveram de acordo com o preço do petróleo no longo prazo. Merkushev e Rapsomanikis (2014) observam que para os preços do milho, este movimento correspondente com o preço do petróleo pode ser atribuído à demanda por milho para produzir etanol. Para o arroz e trigo, culturas não utilizadas como insumo na produção de etanol, o movimento de preços correlacionado ao preço do petróleo pode ser o resultado do efeito substituição dessas culturas no consumo de alimentos.

¹³ A frota norte-americana é composta, na maior parte, por carros que suportam uma mistura de gasolina que tenha até 10% do volume em etanol.

Gráfico 6: Preços dos alimentos e da energia



Fonte: Merkushev e Rapsomanikis (2014).

Em geral, um aumento de 10% no preço do petróleo determina um aumento de 4,5% no preço do etanol no longo prazo; e um aumento de 10% no preço do etanol resulta em um aumento de 14,2% nos preços do milho no longo prazo.

2.2 As origens da era dos biocombustíveis

O uso de biocombustíveis para transporte não é novidade: Henry Ford concebeu, originalmente, o modelo T para operar com etanol; Rudolf Diesel, inventor do motor a diesel, também pensou na sua criação, inicialmente, para funcionar com óleo vegetal. Na verdade, uma de suas primeiras manifestações, na Exposição Mundial de Paris em 1897, tinha um motor diesel funcionando com óleo de amendoim. No entanto, a produção de biocombustíveis era irrelevante; esta situação mudou apenas ao fim da década de 1970. Até então o etanol era utilizado essencialmente como insumo para as indústrias de bebidas e alguns segmentos da indústria química e o biodiesel era praticamente inexistente. Segundo, Rosa e Garcia (2009) a totalidade da produção mundial de etanol, destinada basicamente a fins não energéticos – equivalia a menos de um milésimo da extração de petróleo. Eles observam ainda que este panorama mudou com a implantação do Proálcool, seguido de um período de estagnação de cerca de 15 anos, e um novo

impulso, puxado pelo desenvolvimento dos motores bicom bustíveis no Brasil e com a mudança da legislação de alguns estados norte-americanos que determinava a substituição do uso do éter metil-terbutílico – MTBE pelo etanol como aditivo na gasolina em meados da década de 2000.

Os biocom bustíveis não são a única alternativa ao petróleo: existem outras formas de com bustíveis fósseis, tais como carvão, gás natural, xisto betuminoso. No entanto, exceto pelos biocom bustíveis, nenhuma dessas alternativas anteriores tem perspectiva de serem sustentáveis no longo prazo em termos de custos, emissões de gases estufa, demanda hídrica, impactos nas comunidades e no investimento em infraestrutura. As outras formas de energia alternativa: eólica, hidroelétrica, solar, em geral, são mais caras e menos compatíveis com a infraestrutura já criada quando comparadas aos biocom bustíveis.

Gasolina e etanol apresentam diferenças nas propriedades físicas e químicas que implicam em obstáculos para uma mudança no uso dos com bustíveis. A gasolina consiste de hidrocarbonetos puros e não contém oxigênio na sua estrutura exceto quando é deliberadamente adicionado. O etanol, por sua vez, contém 35% de oxigênio na sua massa. O *heating value* de um com bustível é determinado através da quantidade de calor produzida quando ocorre a queima do com bustível no oxigênio. O oxigênio presente na estrutura do etanol o torna oxidado parcialmente comparado a outros hidrocarbonetos os quais tem um número próximo de átomos de carbono e de hidrogênio. Portanto, o *heating value* do galão de etanol é apenas 66% do valor do galão de gasolina. Isto significa que é esperado que o etanol alcance apenas 66% da distância realizada em comparação a queima da gasolina em um motor de combustão interna desenhado para utilizar a gasolina.

Outro problema para que seja feita a substituição da gasolina pelo etanol é a interação entre o etanol e a água. Hidrocarbonetos como a gasolina ou o com bustível de aviação são hidrofóbicos, ou seja, eles repelem as moléculas de água. O etanol, ao contrário, é hidrofílico e absorve a água. A água pode ser um problema para qualquer sistema de com bustível, no entanto, no caso do etanol isto implica em uma grave questão: o etanol absorve rapidamente a água que estiver vazando de algum sistema, o que resulta numa mistura em que a camada inferior é rica em água e a camada superior é rica em hidrocarboneto, o que afeta o correto funcionamento do motor. A contaminação por água é um problema que ainda não foi adequadamente solucionado pela indústria de refino, mistura e distribuição.

O etanol é ainda um poderoso solvente, o que causou inicialmente diversos problemas em motores em se substituiu a gasolina pelo etanol: isto fez com que sujeiras e partículas oriundas da gasolina e que foram acumuladas nos motores desses veículos antigos os veículos quando se passou a usar o etanol, essas partículas se soltaram e passaram a causar entupimentos nos filtros do motor. O fato é que os motores à gasolina estavam adaptados a um combustível cujos componentes são relativamente não reativos. O etanol atacou agressivamente estes materiais.

A natureza hidrofílica do etanol e o seu alto poder de solvente são duas características incompatíveis com a atual infraestrutura de combustível presente nos Estados Unidos. É por isso que lá, a mistura de etanol na gasolina é limitada a 10% do volume, a chamada E10. (Recentemente teria ocorrido uma elevação para o uso do E15). O aumento da utilização de etanol pelo público nos Estados Unidos e a consequente expansão da indústria de etanol poderia se dar com o uso de misturas com maior grau de etanol. Caso se todos os veículos norte-americanos que utilizam gasolina tivessem motores bicomcombustíveis e aptos a queimar o E85 (85% de etanol no volume da mistura com gasolina), o etanol que poderia ser absorvido pelo mercado de combustíveis norte-americano seria limitado apenas pelo consumo de combustíveis para transporte. Mas esta mudança exigiria um elevado nível de investimentos em infraestrutura, incluindo a produção de mais veículos com motores bicomcombustíveis e a adição de bombas aptas a abastecer com o E85. O departamento de energia dos Estados Unidos estima que o custo para modificar todos os postos de gasolina seria entre US\$ 3,4 bilhões a US\$ 10 bilhões (dados apontados por Brown e Brown 2012).

2.3 Bioeconomia

Bomtempo trata, em uma série de artigos¹⁴ a dinâmica de um novo setor industrial em construção, a Bioeconomia, um conceito que envolve tanto biocombustíveis quanto bioprodutos e biorrefinarias. Este termo surgiu recentemente em discussões da OCDE (2009 apud Bomtempo 2014), da Comissão Europeia (2012 apud Bomtempo 2014) e pode ser resumido como: uma

¹⁴ O futuro dos biocombustíveis, disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2014/03/31/bioeconomia-em-construcao-i-os-fatores-de-competitividade-na-bioeconomia/>>.

atividade global que envolve a produção de recursos biológicos renováveis e o aproveitamento de seus resíduos, transformando-os em produtos de valor agregado, tais como alimentos, bioenergia e outros produtos *biobased*. Este novo setor, criado a partir da utilização da biomassa, seria guiado por princípios do desenvolvimento sustentável, conhecimento e inovação em biotecnologia e a integração entre suas diversas aplicações.

Bomtempo dedica-se então a analisar os fatores de competitividade deste setor emergente. Estes atributos devem ser entendidos como ligados fundamentalmente a estratégias de inovação em um setor onde o nível de incerteza é elevado. Quais tecnologias de conversão, que tipo de matéria-prima utilizar, são questões que os *policy makers* e os empresários devem considerar.

O primeiro fator seria a capacidade de compreender a dinâmica do setor e orientar seus investimentos e políticas num ambiente de incerteza para a construção de uma base tecnológica sólida e, a partir daí, assegurar a competitividade futura neste setor em desenvolvimento. Este fator necessitaria de um forte conhecimento setorial associado à bases científico-tecnológicas.

O segundo fator refere-se às tecnologias desenvolvidas. O desenvolvimento de novas enzimas de pré-tratamento de matérias-primas, a busca de novas tecnologias para aproveitamento do material lignocelulósico e novos processos de fermentação. Bomtempo destaca também a questão da aplicação dessas tecnologias em escala comercial. O desafio não é apenas na inovação científica, mas também deve ocorrer aliada à engenharia e a sua aplicação industrial.

O terceiro fator descrito por Bomtempo é ligado à matéria-prima. A estruturação da oferta de biomassa, que atenda aos requisitos de produtividade, disponibilidade, qualidade, custo e performance ambiental, além de observar as questões da cadeia logística de suprimento.

A capacidade de introdução e difusão de novos produtos é um outro fator decisivo para a consolidação da Bioeconomia. A dinâmica da inovação deve estar atenta à compreensão da utilização dos produtos e o desenvolvimento de relações com os agentes econômicos.

O último fator tratado por Bomtempo trata-se do contexto resultante do ambiente competitivo em que diferentes perfis de empresas, de startups de biotecnologia a empresas estabelecidas de diferentes setores, tentam explorar suas competências chave e ao mesmo tempo buscam competências complementares dos diferentes perfis de empresas. A estruturação de alianças e associações para explorar esses efeitos de complementaridade é um atributo de competitividade desafiador tanto para as políticas a serem estabelecidas quanto para as estratégias das instituições.

2.4 Biorrefinarias

De acordo com o National Renewable Energy Laboratory (NREL apud BASTOS 2012) dos Estados Unidos, uma biorrefinaria é uma unidade que integra os processos de conversão da biomassa e equipamento para produzir múltiplos combustíveis, químicos e energia. Bastos (2012) coloca que se trata de um conceito ainda em construção e que inclui diferentes fontes de matéria-prima (*feedstock*) e tecnologias de conversão. A autora identifica quatro tipos de biorrefinarias, conforme a biomassa que é utilizada como insumo:

- biorrefinarias verdes: baseadas em biomassa verde (gramíneas, cereais imaturos etc.);
- biorrefinarias de *whole crop*: baseadas em grãos comestíveis (fontes de amido);
- biorrefinarias lignocelulósicas: baseadas em matéria-prima lignocelulósica; e
- biorrefinarias aquáticas: baseadas na biomassa das algas.

A implantação de diversas biorrefinarias tem sido realizada através de parcerias e joint ventures entre empresas líderes químicas e do petróleo, ou ainda firmas produtoras de alimentos e matérias-primas de biomassa, com firmas desenvolvedoras de processos biotecnológicos, abrindo possibilidades de cadeias de valor completamente novas na indústria química. Bastos (2012) observa que o P&D em biocombustíveis avançados exige ação conjunta de redes que incluem universidades, institutos de pesquisa, laboratórios do governo e também firmas de biotecnologia. No caso norte-americano, percebe-se que muitos dos atores mais inovadores e *fast movers* no campo de biorrefinarias são *start-ups* americanas de biotecnologia industrial. A autora entende que esta colaboração é explicada pelo fato de que os custos da inovação são crescentes, envolvem incerteza acerca de seu sucesso comercial, juntamente com dificuldades relacionadas à apropriabilidade dos resultados de inovações.

Segundo Bastos (2012), os principais desafios para a competitividade do modelo de biorrefinaria estão relacionados à disponibilidade e aos custos de matérias-primas, às novas técnicas da moderna biotecnologia industrial, a processos termoquímicos aperfeiçoados e a sua aplicação em escala comercial.

Os quatro tipos de biorrefinarias identificadas pela autora classificadas de acordo com as tecnologias em que se baseiam são:

- Tecnologias de primeira geração: tecnologias maduras para produção de etanol do açúcar e amido. Sofrem sérias críticas por competir com a produção de alimentos (diretamente ou na disputa pelo uso da terra como no caso da produção de etanol a partir de milho nos Estados Unidos), além do real balanço energético e da redução da emissão de gases de efeito estufa.
- Tecnologias de segunda geração: biomassa lignocelulósica convertida em biocombustíveis e outros produtos químicos por processos bioquímicos (tais como a hidrólise enzimática, que emprega enzimas e microrganismos geneticamente modificados para quebra da celulose e transformação em açúcar, com conversão subsequente em etanol, por fermentação) ou processos termoquímicos (gaseificação da biomassa e posterior liquefação; pirólise).
- Tecnologias de terceira geração: biocombustíveis avançados e rotas químicas por meio de algas e hidrogênio da biomassa, muitas em estágio de P&D.
- Tecnologias de quarta geração: que combinam matérias-primas geneticamente “otimizadas” (com capacidade de capturar maior quantidade de carbono) microrganismos geneticamente modificados com vistas a alcançar fonte.

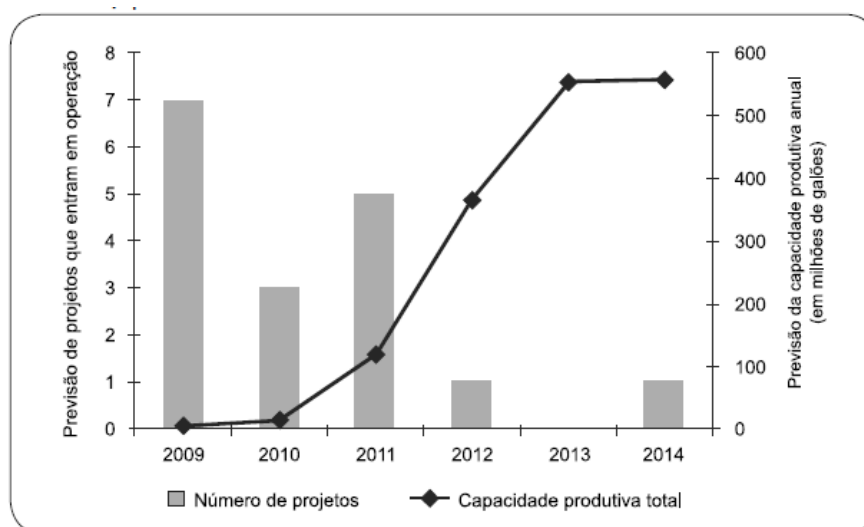
2.5 Cenários norte-americano e brasileiro de P&D

Nyko et al (2010) analisam a institucionalidade que apoia o desenvolvimento dos biocombustíveis de segunda geração nos Estados Unidos. Destacam duas diretrizes que guiam o governo norte-americano na busca pelas novas gerações de biocombustíveis:

- i. A necessidade de resolver o problema da biomassa, dado que o milho não é a matéria-prima mais indicada para a conversão em biocombustível, o que explicaria as iniciativas que focam na diversificação regional de matérias-primas. Através do P&D em biomassa, o governo também pretende criar e desenvolver mercados para sua comercialização.
- ii. A necessidade de garantir a viabilidade financeira das novas tecnologias. Isto explica o surgimento de novas plantas de demonstração em escala piloto e semi-industrial. O

gráfico abaixo apresenta a capacidade produtiva total dos projetos de plantas de etanol celulósico anunciados, em fase de construção ou já em operação nos EUA.

Gráfico 7: Plantas de etanol celulósico nos Estados Unidos



Fonte: Nyko et al (2010).

Para o cenário brasileiro, Nyko et al (2010) divide o Sistema Nacional de Inovação em Etanol (SNI-Etanol) em três categorias: o governo e seu papel ao criar o ambiente institucional indutor de P&D de etanol; os agentes que, de fato, realizam P&D - as universidades, os centros de pesquisa (privados e públicos) e as empresas (privadas e públicas); os atores responsáveis pelo apoio financeiro, como as agências de fomento, as fundações de amparo à pesquisa e os bancos de investimento (públicos e privados).

Em relação ao papel do estado como agente indutor, os autores destacam a criação, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) 2006-2010, cuja ação era oferecer subsídios para nortear a formulação de políticas públicas destinadas ao tema. A cadeia produtiva do etanol de cana-de-açúcar foi identificada como uma das áreas prioritárias pelo PNA: envolveu o desenvolvimento de tecnologias agrícola, como por exemplo, o melhoramento genético dos cultivares; as tecnologias industriais, sobretudo, as que buscassem maior eficiência nos diferentes processos de conversão; e os temas transversais, como critérios de sustentabilidade. Outra medida de destaque tomada pelo governo foi a criação, pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), do Plano de Ação em

Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) 2007-2010. O PACTI atribuiu prioridade aos biocombustíveis: desenvolvimento de processos de hidrólise enzimática de materiais celulósicos e lignocelulósicos, bem como a identificação de micro-organismos com vistas à otimização da conversão da biomassa em etanol. O programa ainda resultou na criação de instituições como o CTBE, um centro de ciência e tecnologia destinado ao bioetanol.

O apoio financeiro dessas iniciativas conta com a participação de diversas instituições públicas como as diversas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (as Fapes), o CNPq, os Fundos Setoriais, a Finep e o BNDES. Para estes dois últimos, os autores realizaram uma análise da carteira de investimentos relacionada aos projetos de inovação na cadeia de produção do etanol e seus derivados. Foi identificado que projetos referentes à produção de etanol de primeira geração e à melhoria genética e desenvolvimento de novas variedades da cana, rotas tecnológicas amplamente dominadas pelo Brasil, foram os maiores receptores de apoio dessas instituições. Os autores comentam que o potencial para ganhos de produtividade na produção de etanol seria pequeno, portanto, não seria uma área prioritária para receber novos recursos.

2.6 Etanol de Segunda Geração

O etanol, em geral, é produzido a partir de matéria-prima rica em açúcares, tais como a cana-de-açúcar e a beterraba ou, rica em amido, como no caso do milho. Os carboidratos mais conhecidos são açúcares simples como a glicose e a frutose, monossacarídeos, e o açúcar de mesa, um dissacarídeo formado a partir da glucose e frutose. A indústria de etanol de cana-de-açúcar toma por base a fermentação desses açúcares para produzir o etanol. Os açúcares são fermentados por leveduras ou bactérias para converter em etanol. Através de destilação adicional e desidratação, o teor de etanol é, em seguida, concentrado ao nível suficiente para que o produto sirva como combustível líquido. Outra forma de se produzir etanol parte do uso de carboidratos mais complexos, polissacarídeos, como matéria prima. Carboidratos na forma de longas cadeias de açúcares simples, tais como o amido, a hemicelulose e a celulose, os quais não podem ser quebrados diretamente para serem aproveitados na fermentação e produção do etanol. São necessárias etapas de pré-tratamento e hidrólise na presença de ácidos e enzimas para que se obtenham os monossacarídeos.

Grande parte da celulose ocorre na natureza na forma de um material composto chamado de lignocelulose ou fibra vegetal. As fibras lignocelulósicas podem ser obtidas nos caules (juta, cânhamo, bagaço de cana, bambu), nas folhas (sisal, caroá, banana, piaçava), nos frutos (algodão, coco) e nos troncos (madeira). Materiais lignocelulósicos são compostos principalmente de celulose, hemicelulose, e lignina, que formam uma estrutura complexa e densa. A dificuldade de converter a biomassa lignocelulósica em etanol e em outros insumos químicos deve-se às suas características químicas e morfológicas, aponta Santos et al (2011). Os materiais lignocelulósicos são constituídos de fibras de celulose envolvidas em uma matriz amorfa de polioses e lignina que age como uma barreira natural ao ataque de micro-organismos e/ou enzimas e torna esses materiais estruturalmente rígidos e pouco reativos. A composição química da biomassa lignocelulósica varia em função do tipo de biomassa, conforme é mostrado na tabela abaixo:

Tabela 2: Composição química de biomassas lignocelulósicas com potencial para produção de bioetanol

Biomassa Lignocelósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Forragem de milho	38-40	28	7-21
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19

Fonte: Santos et al, 2011

A celulose é um polissacarídeo composto por uma cadeia longa homogênea do monossacarídeo glicose. Observamos na figura abaixo a estrutura da molécula de celulose formado por uma cadeia longa de unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas.

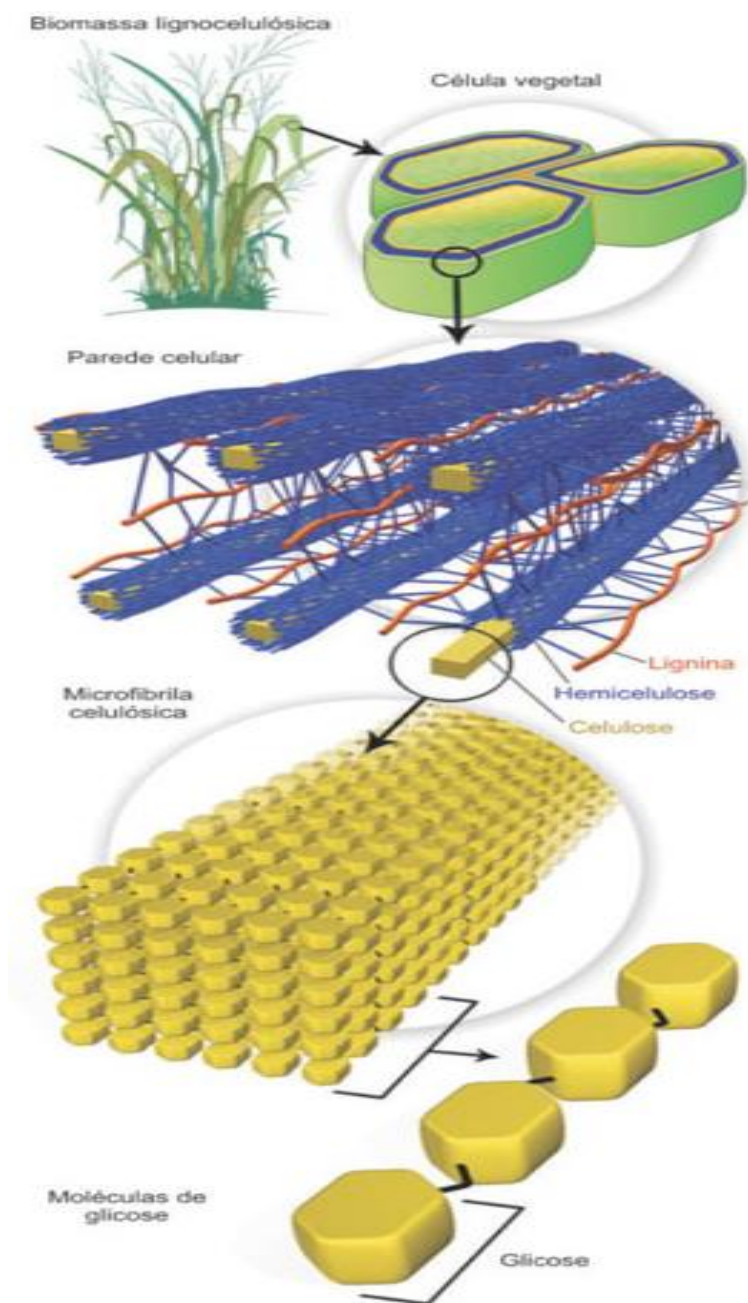


Figura 2: Estrutura da biomassa lignocelulósica

As tecnologias de etanol de segunda geração utilizam a biomassa lignocelulósica como matéria-prima, incluindo resíduos orgânicos e resíduos. Conforme apontado anteriormente, quando se utilizam materiais lignocelulósicos como matéria-prima, são necessárias etapas de pré-tratamento e hidrólise para converter a celulose em glicose antes da fermentação. Embora essa

matéria prima seja barata, as etapas extras necessárias para o seu processamento ainda representam altos custos.

O pré-tratamento quebra as fibras da planta tornando os polissacarídeos mais suscetíveis à hidrólise. Sacarificação é o processo de liberação de açúcares simples pelos polissacarídeos através de processos físicos, químicos ou bioquímicos. A sacarificação da celulose é geralmente realizada através da hidrólise, reação da água para quebrar as ligações glicosídicas entre as unidades de glicose que compõem a cadeia do polímero. Devido à sua complexa¹⁵ estrutura, boa parte da pesquisa atual foca na hidrólise enzimática, a qual, afirma Brown e Brown (2012), teria maior espaço para melhorias significativas através de avanços em biotecnologia. A hidrólise enzimática quebra as moléculas de polissacarídeos em açúcares mais simples através de diversas etapas em que a água age na presença da enzima celulase. Para cada tipo de ligação glicosídica presente nas cadeias de hemicelulose existe correspondência com um tipo único de enzima de hidrólise. Portanto, enzimas hemicelulases específicas precisam ser desenvolvidas para os diferentes tipos de biomassa de onde se obtém a lignocelulose. O custo estimado para produzir as enzimas chega a cerca de cinco dólares por galão de etanol segundo Brown e Brown (2012). Este custo é um dos fatores que deve ser trabalhado para que a produção de etanol de segunda geração torne-se economicamente viável.

Ocorre então a fermentação biológica, etapa em que os açúcares simples são convertidos em etanol. A primeira etapa da fermentação trata-se da remoção de toxinas presentes no substrato as quais poderiam inibir o crescimento dos organismos fermentadores. Outro elemento que pode elevar o custo da fermentação se deve ao fato de que diversas espécies de leveduras não conseguem fermentar as hexoses e pentoses (resultantes da hidrólise da hemicelulose): elas conseguem fermentar de maneira eficiente apenas as hexoses, o que tornaria o processo de conversão da biomassa lignocelulósica ineficiente. Pesquisas no campo da biotecnologia têm utilizado técnicas de recombinação de DNA para se conseguir novas linhagens de microrganismos que sejam capazes de fermentar ambas as hexoses e pentoses.

Brown e Brown (2012) analisam que a sacarificação e a fermentação eram processos realizados em diferentes reatores. Desta forma, os custos eram elevados; a sacarificação e fermentação simultânea (*Simultaneous saccharification and fermentation* – SSF) foram introduzidas então como uma forma de superar esta desvantagem. Segue-se a etapa de destilação,

¹⁵ A celulose apresenta uma estrutura recalcitrante difícil de ser desestruturada.

onde separa-se o etanol da água e da biomassa não convertida. A tecnologia de Bioprocessamento consolidado (*Consolidated bioprocessing* - CBP) integra em uma etapa única os processos de produção de celulase, hidrólise da celulose e a fermentação da pentose e hexose. Consegue-se assim uma operação mais simples e com custos dos insumos químicos reduzidos. Mas a aplicação do bioprocessamento consolidado para o etanol ainda não atinge níveis de eficiência atrativos. Brown e Brown (2012).

Souza (2014) resume as etapas para a conversão do material lignocelulósico em outros produtos:

- A etapa inicial envolve a produção de enzimas a partir de fungos e bactérias. Representa a maior parte do custo, cerca de 50%, para obtenção dos açúcares mediante hidrólise enzimática.
- A etapa de pré-tratamento do material lignocelulósico, em que o objetivo é aumentar a exposição das fibras de celulose de maneira a facilitar a ação das enzimas e dos ácidos. As fibras da planta são quebradas, de modo que os polissacarídeos se tornam mais suscetíveis ao processo de hidrólise.
- A hidrólise, a etapa de quebra do material lignocelulósico, em que ocorre a conversão da celulose e da hemicelulose em açúcares menos complexos passíveis de fermentação. Três tipos de hidrólise: a partir do ácido concentrado, hidrólise com ácidos diluídos e hidrólise enzimática. Este último utiliza fungos e bactérias apresenta um custo reduzido em comparação às rotas alternativas. A sacarificação¹⁶ da celulose é alcançada, em geral, através da hidrólise.
- A etapa de fermentação converte esses açúcares simples em etanol. A destilação separa o etanol da água e de outros materiais. Estas etapas são comuns ao etanol de segunda e primeira geração.

Brown e Brown (2012) observam que a conversão bioquímica da biomassa em etanol ainda não atingiu uma viabilidade comercial. Alguns dos desafios incluem: melhorar os pré-tratamentos de modo a aumentar a conversão da biomassa, reduzir os custos das enzimas requeridas para hidrolisar os polissacarídeos em monossacarídeos, desenvolver microrganismos que possam fermentar diversos tipos de açúcares liberados pela quebra da celulose; e aumentar a

¹⁶ Sacarificação é o processo de liberação de açúcares simples a partir de polissacarídeos através de processos físicos, químicos ou bioquímicos.

eficiência da conversão da lignina em energia. A produção de etanol a partir do material lignocelulósico é uma área que tem espaço para grande evolução através de avanços em biotecnologia. Zilberman et al(2014) concordam que avanços na tecnologia e na estrutura de custo precisam ser feitos para que se torne viável o uso comercial do etanol de segunda geração. Eles identificam alguns dos pontos críticos:

- Desenvolvimento de matéria-prima: Redução do conteúdo de lignina no material lignocelulósico reduziria os custos de pré-tratamento. Desenvolver plantas com elevado conteúdo de celulose contribuiria para elevar o rendimento do processo.
- Tecnologias de pré-tratamento: a maior demanda energética das tecnologias de pré-tratamento ocorre para a manutenção de altas temperaturas ou alta pressão. Assim, os esforços de P&D buscam modelos de temperatura mais baixa e de baixa pressão para reduzirem os custos.
- Otimização da enzima: O desafio é tornar as enzimas celulase competitivas em termos de custo quando comparadas as enzimas utilizadas na tecnologia de primeira geração (a amilase, por exemplo). Além disso, novas tecnologias são necessárias para reduzir o custo de fontes de celulose.
- Cofermentação: uma vez que os principais produtos da hidrólise são a glicose (de celulose) e xilose (de hemiceluloses), há dois açúcares que poderiam produzir energia. As tecnologias atuais têm dominado a conversão de glicose por leveduras e bactérias, mas a conversão de xilose em etanol ainda não apresenta resultados satisfatórios. Os esforços de pesquisa são necessários para manipular microrganismos para converter eficientemente a glicose e xilose em etanol, de forma sinérgica, para maximizar a produção de etanol.

Capítulo III

3.1 Patentes

Campos (2008) mostra que o desenvolvimento de um produto comercial, fruto de pesquisas na área de agro-biotecnologia, diferentemente do senso comum, não resulta apenas da inserção de um gene em uma planta que seja o alvo comercial. O processo até que se disponha de um organismo geneticamente modificado apto a ser comercializado é bastante arriscado. Isso porque, primeiro, os projetos comerciais de biotecnologia não são tomados a esmo. Com objetivos claros, os pesquisadores devem seguir protocolos específicos até que essa nova variedade esteja disponível para comercialização. Demanda também um conjunto de conhecimentos articulado envolvendo tecnologias habilitadoras (*enabling technologies*) que estão sob o domínio de diferentes empresas.

É na tentativa de proteger o investimento que surge a necessidade de mecanismos de defesa à propriedade intelectual. O conceito de Direito de Propriedade Intelectual refere-se à institucionalidade (agências e regulações) que possibilitam a um agente depositar os principais conceitos, funcionalidades e inovações de sua tecnologia, recebendo em troca a patente.

A patente é

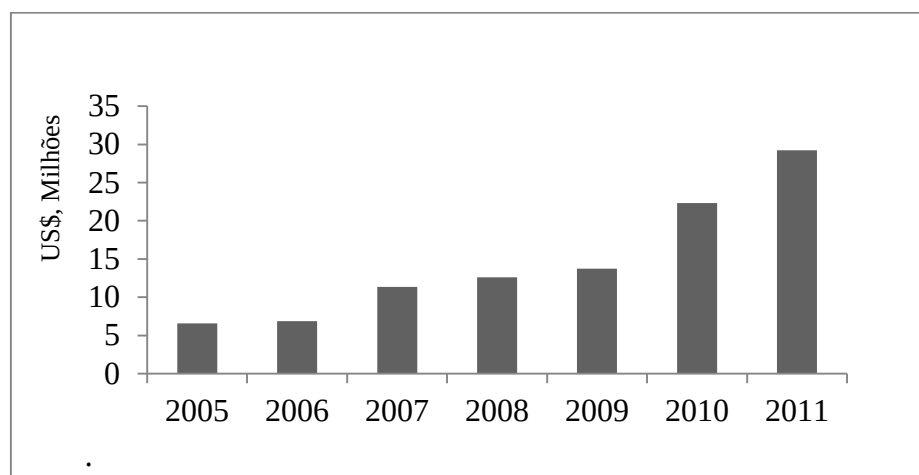
um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgados pelo Estado aos inventores ou autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação. Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente. (INPI, 2011).

As patentes, além de mecanismos de proteção dos direitos intelectuais são fontes de informação fundamentais para estudos de prospecção tecnológica. Superando a literatura clássica que se baseava em contagem do número de patentes, utiliza-se o fato de que a citação de patentes tem se revelado um importante instrumento para avaliar a importância de certas invenções, permitindo prospectar sobre seu efeito na geração de inovações tecnológicas. (HALL *et al.*, 2005).

As empresas podem utilizar as suas patentes por outras razões. Elas podem usar suas patentes para monopolizar as principais tecnologias, para sufocar a inovação dos seus concorrentes, efetivamente criando monopólios para as suas próprias linhas de produtos. Há um jogo de valorização de ativos de conhecimento e de criação de valor antes mesmo da comercialização dos produtos da tecnologia e principalmente, de confirmação “coletiva” de que a trajetória tecnológica já está se constituindo no estágio de pesquisa e de desenvolvimento de tecnologias intermediárias, facilitadoras, Dal Poz et al (2010).

Bessen et al (2012) ao analisar o sistema americano, observaram um forte aumento de litígios de patentes ao longo da última década iniciada pelas chamadas entidades não praticantes (*non-practicing entities* ou NPE). Os autores descobriram que os custos diretos estimados acumulados devido ao fato das NPE exercerem os direitos sobre as patentes as quais eram detentoras totalizaram US\$ 29 bilhões em 2011.

Gráfico 8: Pagamentos anuais a NPE nos anos de 2005 a 2011



Fonte: Bessen et al (2012). Elaboração própria

As NPE são indivíduos e empresas que possuem patentes, mas não usam diretamente a sua tecnologia patenteada para produzir bens ou serviços; em vez disso, elas exercem seus direitos sobre as patentes de sua propriedade contra as empresas que produzem bens e serviços. No passado, algumas NPE desempenharam um papel importante em trazer inovações a partir de pequenos inventores para o mercado. Alguns inventores careciam de recursos e conhecimentos necessários para licenciar suas tecnologias com sucesso ou, se necessário, para fazer valer suas patentes. As NPE forneceram uma maneira para esses inventores obterem rendas que de outra

forma eles não poderiam receber proporcionando-lhes, assim, maiores incentivos à inovação. No entanto, algumas NPE usaram as patentes de forma oportunista. Durante o final do século XIX, *patent sharks* (*tubarões de patentes*) foram amplamente vistos como meio de extrair dinheiro de inocentes agricultores individuais e companhias de estrada de ferro. O fato importante a ser reconhecido é que enquanto a existência das NPE não é um fato novo, o fenômeno do litígio iniciado pelas NPE atingiu uma escala e escopo totalmente sem precedentes nos últimos anos. Em 2011, 2.150 empresas distintas foram obrigadas a montar 5.842 defesas em processos movidos por ações de NPE. Além disso, o número de defesas vem crescendo rapidamente. Parte deste crescimento tem sido alimentado por novas fontes de financiamento e novos modelos de negócios.

3.1.1 O que é *patent trolling*

Conforme visto anteriormente, *patent assertion*¹⁷ e o uso de patentes para fins não práticos não são fenômenos novos. A própria complexidade do sistema de patentes contribui para o aumento do risco referente ao *patente trolling*: é extremamente difícil entender o que a linguagem da patente cobre e o seu custo pode ser muito maior caso a empresa queira descobrir através de um processo contra a patente. Além disso, se uma empresa de produtos desafia uma patente e perde, além dos custos de litígio, a empresa poderia estar enfrentando enormes prejuízos, e até mesmo a possibilidade de que o seu produto possa ser desligado completamente.

Durante certo tempo, os agentes mais importantes no sistema de patentes e, muitos que possuíam grandes portfólios de patentes, eram empresas de produtos. Se uma empresa de produtos lançava suas patentes contra outra, a empresa-alvo teria apenas de lançar o seu próprio conjunto de patentes em troca, colocando o produto da empresa inicial em risco. Assim, uma forma de destruição mutuamente assegurada e uma comum aversão ao risco agiram como um sistema de equilíbrio natural em demandas de patentes. No novo mercado para monetização de patentes, *monetizers* não produzem e podem ser organizados como uma estrutura com poucos ativos. Assim, eles são livres para iniciar um ataque de patente, sabendo que há pouco a perder em troca.

¹⁷ *Patent assertion* é o ato em que uma empresa detentora de patente, que acredita que teve sua patente violada, busca obter alguma reparação pelo infrator da patente.

Feldman e Price (2013) comparam as características da indústria farmacêutica e de biotecnologia com a indústria de alta tecnologia buscando analisar o fenômeno do *patent trolling*. A visão tradicional entende que o *patent trolling* seria uma prática corrente no setor de tecnologia (software, computadores), mas não seria uma tendência comum no setor de biotecnologia e farmacêutica, devido a algumas características dessas indústrias: as suas pesquisas implicam um maior investimento de tempo, dinheiro e experiência. Isso resulta em menos patentes e menos alvos para os *monetizers*. Além disso, os produtos de biotecnologia e farmacêuticos tendem a ter menos componentes e as patentes tendem a ser menos amplas do que as de software e patentes de métodos de negócio que proliferam na indústria de tecnologia.

No entanto, os autores apresentam evidências que os setores de biotecnologia podem se tornar grandes alvos do *patent trolling*. A visão tradicional apresentaria três falhas:

a) Ignora o papel que a regulação exerce em dificultar o processo de “inventar ao redor” (to invent around) de algumas patentes farmacêuticas. No caso em que um fabricante é alvo de um processo de *patent trolling* sobre certa patente, uma das alternativas do fabricante seria criar uma nova patente parecida com a patente anterior, ou seja, “inventar ao redor”, de maneira a evitar a violação da suposta patente infringida. Assim, uma regulação que dificulta a prática do “inventar ao redor” diminui as alternativas que o fabricante tem para tentar evitar o custo de um acordo com o *monetizer*. Quanto maior o custo de “inventar ao redor”, mais custoso é para a empresa evitar o processo litigioso.

b) A visão tradicional também tem como premissa um modelo de negociação de patentes em que o valor e a relevância de cada patente em relação a um potencial produto infrator são cuidadosamente ponderados, as exigências espúrias são eliminadas, e as reivindicações mais meritórias avançam para que haja uma decisão no tribunal. É um mundo em que os atores relevantes são evidentes, e existe um certo nível de disciplina imposta pelo medo de que um agente alvo de um processo de *patent trolling* poderia lançar seu próprio portfólio de patentes contra a empresa que iniciou o processo, ameaçando os próprios produtos da empresa acusadora. Porém, Feldman e Prince identificam um novo tipo de disputa envolvendo a monetização das patentes: como os custos e riscos decorrentes do litígio contra as patentes podem ser elevados, em alguns casos, pode ser menos custoso para a empresa que está sendo acusada buscar um acordo com o *monetizer*. Além disso, no sistema atual, um processo contra patentes pode ser iniciado sem que o acusador tenha de especificar qual elemento na patente estaria sendo violado, na sua

opinião, ou qual aspecto do produto viola a patente. Como resultado, o ônus de investigar processo contra patente recai inteiramente sobre a empresa alvo do processo, enquanto o *monetizer* pode gastar muito pouco. Outro problema se refere às dificuldades para se calcular o valor da indenização de um processo de violação de patentes; uma patente que faz uma pequena contribuição para o produto global pode render um retorno muito além do seu valor proporcional ao eventual produto.

O sucesso do método de rentabilização moderna das patentes não é, necessariamente, com base no valor da patente. Esse sucesso é, em muitos aspectos, atribuível à alavancagem derivada dos custos e riscos de litígio. As empresas de biotecnologia e farmacêuticas não estão imunes a este poder. Na verdade, essas indústrias podem ser mais suscetíveis. Uma empresa que está à beira da aprovação de uma nova droga pela FDA após uma década de desenvolvimento do produto pode ser particularmente vulnerável a ameaças de litígio de patentes.

c) Por fim, a terceira falha da visão tradicional é de que ela baseia-se na premissa de que os *trolls de patentes* só irão atrás do melhor e mais lucrativo mercado. É verdade que o setor de alta tecnologia oferece melhores possibilidades de ganho do que as indústrias de biotecnologia e produtos farmacêuticos. Smartphones, que podem envolver dezenas de milhares de patentes, fornecem um alvo muito melhor do que um medicamento, cuja patente chave envolve uma composição química única. Mesmo a definição clássica de patente unitária, no entanto, vai envolver patentes periféricos. Os processos de experimentação, a produção e a distribuição envolvem o uso de várias tecnologias, todos os quais podem estar vulneráveis a reivindicação de patente.

Apesar da análise de Feldman e Price mostrar que o setor de biotecnologia também pode ser alvo de casos de trolls de patentes, em uma busca realizada em ferramentas de pesquisa na internet¹⁸, não foram identificados esses tipos de casos envolvendo patentes relacionadas às tecnologias para produção de etanol lignocelulósico. A própria natureza sigilosa desses casos de litígio pode ser um fator que tenha contribuído para não se identificar esses casos. No entanto, observamos¹⁹ casos de disputa entre empresas de biotecnologia, em destaque o caso envolvendo a Novozymes e a Danisco, duas empresas de biotecnologia produtoras de enzimas utilizadas na produção do etanol de segunda geração.

¹⁸ Pesquisas realizadas no Google utilizando a seguinte query: “patente trolling biofuels”.

¹⁹ Caso da patente 8,252,573. Conforme disponível em < <http://www.greenpatentblog.com/category/ip-litigation/page/2/>>. Acesso em 12/12/2012

3.2 Redes de Inovação

Dal Poz, Silveira e Masago (2012) analisam a dinâmica de esforços de P&D sobre processos de fermentação para obtenção do etanol de segunda geração. Os autores identificam quatro frentes tecnológicas que representam o estado da arte sobre os processos de conversão de biomassa em açúcares fermentáveis:

- a) Fermentação e Sacarificação simultânea (*Simultaneous saccharification and fermentation* - SSF);
- b) Bioprocessamento consolidado (*Consolidated bioprocessing* - CBP)
- c) Conversão Microbiana Direta (*Direct Microbial Conversion* – DMC)
- d) Fermentação e Hidrólise separadas (*Separate Hydrolysis and Fermentation* – SHF).

Processo	Palavras-chave	Query de Busca	Período
SSF	“Simultaneous Saccharification”	Claims	01/01/1976 - 10/10/2011
	“And”	Conector	
	“Fermentation”	All fields	
BP	“Bioprocessing”	Claims	01/01/1976 - 10/10/2011
	“And”	Conector	
	“Fermentation”	All fields	
DMC	“Direct Microbial Conversion”	Claims	01/01/1976 - 10/10/2011
	“And”	Conector	
	“Fermentation”	All fields	
SHF	“Separate Hydrolysis and Fermentation”	Claims	01/01/1976 - 11/01/2011
	“And”	Conector	
	“Fermentation”	All fields	

Quadro 1: Matriz de termos de busca

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

A tabela anterior apresenta as palavras-chave utilizadas pelos autores para obtenção das redes referentes às quatro tecnologias para produção de etanol de segunda geração.

A análise da dinâmica de inovação referente aos processos de obtenção do etanol de segunda geração foi realizada através de três procedimentos metodológicos: a abordagem de redes de citação de patentes; o acesso a bancos de dados de patentes e a análise dos *top assignees*; a construção dos ThemeScapes™ e a análise lexicográfica.

A metodologia desenvolvida por Dal Poz, Silveira e Masago (2012) utiliza os bancos de dados de patentes oriundos do: *United States Patent and Trade Office (USPTO)*, *European Patent Office (EPO)* e *WIPO (World Intellectual Property Organization)*, no período de 1976 a 2012. As buscas por patentes foram realizadas na plataforma Thomson Innovation™, utilizando os termos apresentados na tabela acima na coluna “Query de Busca”.

Masago (2013) apresenta o sistema computacional denominado Odyssey’s: utilizado para verificar a similaridade entre uma determinada patente dada pelo usuário e um grupo de documentos, ordenando-os conforme o seu grau de semelhança em relação a patente em avaliação. O sistema funciona por meio de análises textuais entre uma patente a ser avaliada, ou mesmo um pré-modelo de patente provisória, e um grupo de documentos pertencentes a uma mesma área tecnológica ou, até mesmo, de campos distintos.

Para o processo de geração de redes de citações de patentes, utilizam-se como padrão as patentes originárias da base de dados do USPTO, uma vez que os documentos são disponibilizados abertamente ao público via internet e possuem uma estrutura padrão para a avaliação e extração de informações.

Dessa forma, o software pode realizar buscas de patentes de forma não supervisionada, retornando um conjunto de documentos correlacionados presentes na base de dados do USPTO por meio de uma consulta – query de busca – designada pelo usuário. Para esse procedimento, os termos de pesquisa podem ser fornecidos conforme campos já pré-definidos pelo sistema ou utilizar uma query personalizada conforme o padrão descrito para buscas de patentes na base USPTO.

3.2.1 Redes de Citação de Patentes: sistemas econômicos complexos e evolucionários

No conteúdo das patentes, encontramos descrições detalhadas sobre a inovação, o nome e endereço do indivíduo que a aplicou e referências a patentes anteriores (citações de patentes). Segundo Narin et al. (2000 apud Silveira et al 2012)), a citação posterior recebida por uma patente pode ser considerada um excelente indicador de sua qualidade ou impacto econômico. Detentores de patentes que se citam mutuamente formam redes de interesses, gerando cadeias de obtenção de títulos de propriedade intelectual. Segundo Hall et al (2005), patentes podem ser consideradas como uma fonte rica e confiável para os estudos de inovação e mudança técnica. Breschi e Lissoni (2004) e Jaffe e Trajtenberg et al (2002 apud Verspagen, 2005) concordam sobre a validade do uso de citações de patentes como indicadores de fluxo de conhecimentos entre inovadores ou entre detentores na geração de invenções. Trajtenberg (1990) defende a mensuração de citações posteriores recebidas por uma patente como indicador de inovação, pois se A cita B, A se inscreve no corpo de conhecimentos incorporados por B. Na abordagem detalhada por Verspagen (2005), as patentes são entendidas como peças do conhecimento, ou ideias, e a presença de uma citação sobre a patente X em uma patente Y indica que a patente Y foi construída a partir do desenvolvimento da patente X. A referência a patentes anteriores indica que o conhecimento contido na patente que citada foi, de algum modo, útil para o desenvolvimento do conhecimento na patente que cita. A própria patente Y pode ser citada futuramente por outra patente, e, assim, forma-se a rede de citação de patentes, que pode ser vista também como uma rede de ideias e a forma como elas estão relacionadas. Portanto, as redes de citação de patentes podem ser interpretadas como redes de inovação.

Esta abordagem de redes baseadas na citação de patentes é contrária ao senso comum, cuja ideia é de que as patentes são apenas documentos que servem para proteção dos direitos de propriedade intelectual, mecanismos que garantem o monopólio da tecnologia sobre aplicações em processos industriais. Outra crítica de Dal Poz, Silveira e Masago (2012) ao senso comum se refere à importância de patentes já expiradas. Patentes altamente citadas seriam relevantes para o mercado e representam os esforços de P&D que ocorreram ao longo de determinado período. Portanto, segundo os autores, as patentes expiradas devem fazer parte da análise dos sistemas de

inovação, pois são elementos que não podem ser dissociados desse processo cumulativo de inovação. Caso contrário, corre-se o risco de distorcer efeitos oriundos do sistema de direitos de propriedade intelectual:

Em um ambiente com inovações sequenciais, o escopo de uma patente (ou seja, patent breadth) determina o nível de proteção de patente para uma invenção contra a imitação e inovações posteriores. Esta última forma de proteção de patentes, que é conhecido como leading breadth na literatura, dá aos detentores de patentes direitos de propriedade sobre invenções futuras. Por causa dos direitos de propriedade intelectual resultantes sobrepostos, um inventor infrator pode ter que compartilhar seus lucros com os detentores das patentes violadas e têm menos incentivos para investir em P & D. Esta dimensão negativa dos direitos de propriedade intelectual que se sobrepõem é conhecido como bloqueio de patentes. Chu (2009 apud Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.)

Dal Poz et al (2013) observam dois processos de elevação às barreiras à entrada decorrentes das patentes e do sistema de direitos de propriedade intelectual:

i) O desenvolvimento de patentes sobre inovações que são consideradas centrais para um certo produto ou processo, formando uma estrutura de “cerca” que protege a patente central, e assim, restringe-se o desenvolvimento de tecnologias com funções semelhantes e a capacidade de novos concorrentes entrarem no mercado;

ii) Em setores como sementes transgênicas, nos quais os processos de desenvolvimento e comercialização de produtos são caracterizados por inovações sequenciais que exigem a combinação de diversas inovações intermediárias, as patentes sobre essas tecnologias intermediárias podem servir como elemento inibidor de concorrência.

No entanto, estratégias como “patentear ao redor” (*to design around*) podem servir como uma alternativa utilizada para se desenvolver uma tecnologia semelhante a uma invenção já patenteada sem que os direitos legais do inventor original sejam infringidos. Conforme dito anteriormente, o conteúdo das patentes traz descrições detalhadas sobre a invenção. Este próprio conteúdo pode servir para que outro agente desenvolva uma patente para uma tecnologia muito próxima da patente original. Esta prática também pode servir de defesa contra os trolls de patentes.

Saviotti (2009), ao analisar a evolução de sistemas econômicos, com destaque para os sistemas intensivos em P&D (caso do setor de biotecnologia) aponta duas características:

i) O desenvolvimento de sistemas econômicos é caracterizado pela mudança qualitativa, uma vez que as novas entidades emergentes durante o seu curso não são comparáveis a outras previamente existentes.

ii) A diversidade do sistema econômico aumenta ao longo do seu desenvolvimento.

Esses movimentos de mudança podem ser analisados a partir das redes de citação de patentes, resumindo os esforços cumulativos sobre P&D e revelando como agentes de mercado estão olhando para os esforços dos outros agentes ao longo do tempo. Por entender as redes como sistemas evolutivos, isto implica que no seu *core* encontram-se as trajetórias tecnológicas que apresentam as patentes mais importantes ou com maiores potenciais de mercado. No entanto, não se pode afirmar com certeza que as estruturas do mercado já estão definidas (a difusão da tecnologia e a sua apropriação no mercado serão estabelecidos no futuro). Assim, a análise das redes referentes aos quatro processos para produção de etanol de segunda geração não é capaz de determinar qual será a tecnologia vencedora ou a empresa que apresentará os maiores ganhos com a sua difusão.

A complexidade da estrutura da rede é outra característica a ser analisada e que permite fazer inferências sobre a dinâmica de inovação de um setor e as possibilidades quanto à entrada de novos concorrentes e o desenvolvimento de novas tecnologias. As redes do tipo *scale-free* apresentam uma estrutura assimétrica de distribuição das conexões entre seus vértices: alguns vértices concentram um número elevado de conexões, enquanto muitos vértices apresentam um baixo número de conexões. Saviotti (2009) afirma que nas redes do tipo *scale-free*, podem-se romper, de maneira aleatória, até 80% das conexões entre os vértices sem que, no entanto, destrua-se a rede. Porém, um ataque seletivo, interrompendo as conexões mais centrais (os vértices chamados hubs) pode destruir a rede sem que seja necessário atingir o equivalente a 20% das conexões presentes na rede. Dado que certo agente realizou um esforço de P&D e este resultou em uma tecnologia que se encontra difundida no mercado, sua presença no cenário de inovação torna-se tão importante para o mercado, que é difícil remover sua presença desta dinâmica de inovação em particular. Por outro lado, redes que não apresentam as características do tipo *scale-free* podem indicar um cenário de inovação em que a rede possui menor maturidade, o que implicaria na existência de espaços em que poderiam surgir novas tecnologias e futuros paradigmas tecnológicos.

As imagens abaixo apresentam as redes referentes aos quatro processos de fermentação identificados por Silveira et al (2012). Os pontos representam as patentes (os números ao lado são os números registrados das patentes nos bancos de dados) e as linhas representam as citações entre as patentes. Uma patente não pode citar a si mesma e as citações são unidirecionais (uma patente cita outra, não existem patentes com citações mútuas).

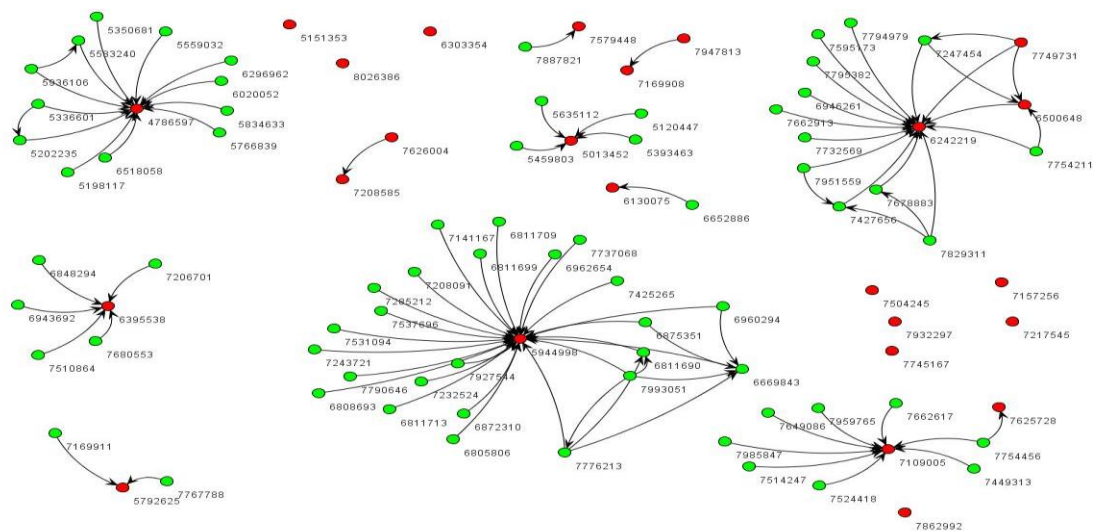
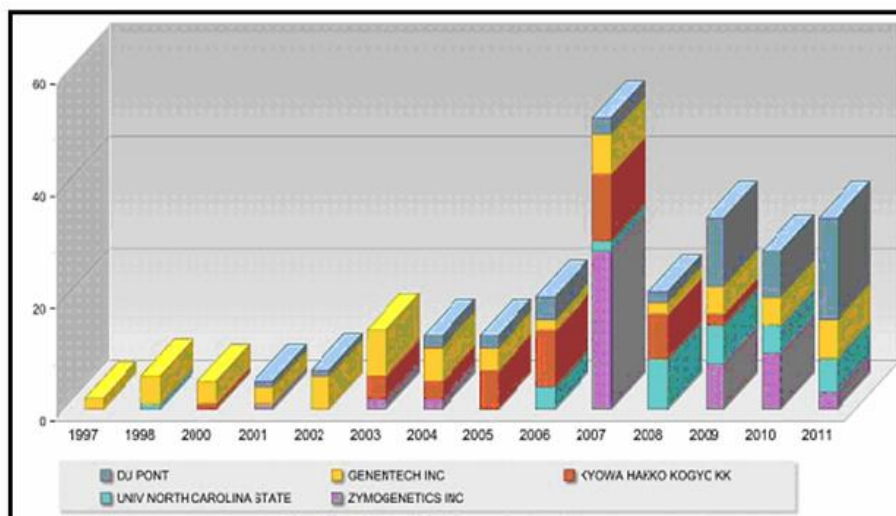


Figura 3: Rede Bioprocessing

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012. Imagem obtidas através do software Odyssey's.

A tecnologia de bioprocessamento consolidado baseia-se na ideia de que um único organismo produza enzimas para hidrolisar a biomassa além de fermentar os açúcares resultantes de etanol. Destaca-se a patente 7109005 que é atribuída à empresa dinamarquesa Danisco, empresa de biotecnologia produtora de enzimas e de alimentos e que foi adquirida pela empresa DuPont em 2011. A DuPont, empresa química norte-americana desenvolve projetos para a produção de etanol celulósico e está construindo uma planta de escala industrial em Nevada, Iowa. Esta patente trata de processos para a produção de xilitol e etanol e outros produtos a partir de soluções derivadas de material contendo lignocelulose. Silveira et al (2012) observam que este processo de produção de bioetanol em uma única etapa, é o mais eficiente, mas também é o mais longo e apresenta as maiores barreiras bioquímicas de inibição de processo, por se tratar de uma fermentação enzimática por organismos nunca antes adaptados aos processos industriais, como o *Trichoderma reesei* e *Clostridium thermocellum*.

Gráfico 9: Rede CBP, *top assignees* por ano, 1997-2011

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

O gráfico acima gerado pela plataforma Thomson Innovation™ a partir da query de busca utilizada para gerar a rede de Bioprocessamento Consolidado. São apresentados os principais requerentes de patentes encontradas nesta rede: destaque para a empresa DuPont que, conforme dito anteriormente, desenvolve projetos para produzir etanol de segunda geração. A empresa Zymogenetics, subsidiária da farmacêutica Bristol-Myers Squibb, a empresa Kyowa Hakko Kirin e a Genentech também do setor farmacêutico aparecem como destaques, pois há certa convergência entre os setores de biotecnologias para agricultura e para saúde. As patentes da North Carolina University estão relacionadas a tecnologias de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos, bioengenharia computacional de enzimas, e na produção de biocombustíveis a partir de ácidos graxos.

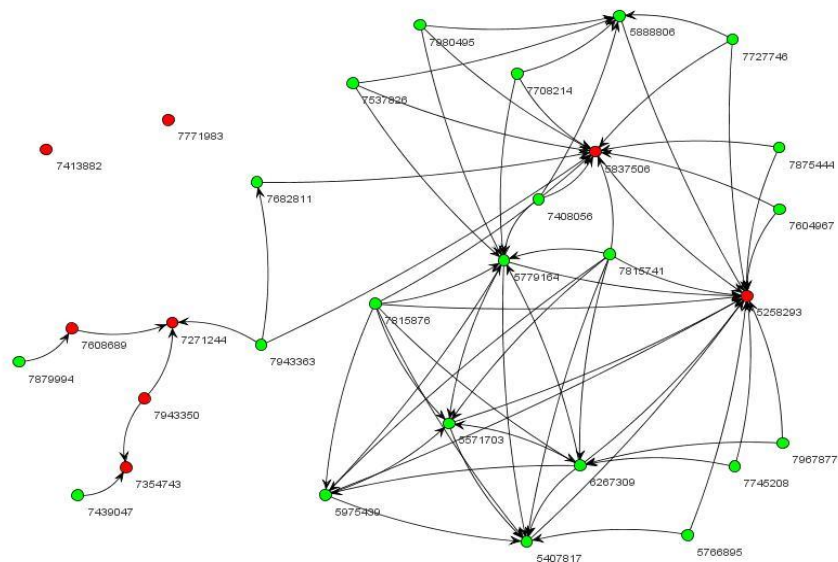


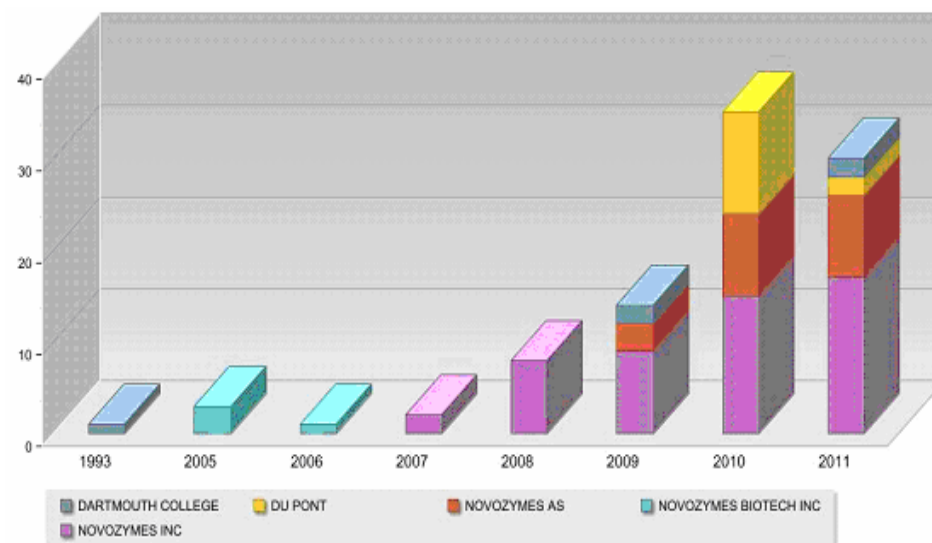
Figura 4: Rede Direct Microbial Conversion

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012. Imagem obtidas através do software Odyssey's.

A rede DMC envolve o desenvolvimento de processos industriais baseados em organismos fermentadores de alta especificidade e que nunca foram antes usados em escala industrial observa Silveira et al (2012). Este processo pode ser acoplado ao SSF, como substituição do agente fermentador deste último. É a rede mais intensiva em ciência, o que implica em grande necessidade de investimento, mas cujo conteúdo tecnológico é o mais promissor.

A patente 5258293, a mais citada da rede, detalha um método para produção contínua de etanol a partir de substratos de lignocelulose e o biorreator adequado para este método. Esta tecnologia poderia ser aplicada para os processos de DMC e de SSF. Outra patente em destaque é a 5888806 cujos direitos pertencem à empresa Abengoa, multinacional espanhola que também possui projetos relacionados ao desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração. Em outubro de 2014, a empresa iniciou a operação da sua primeira planta de etanol celulósico nos Estados Unidos.

A observação dos *top assigness* desta rede revela a predominância da DuPont e das empresas do grupo Novozymes, firma ligada ao desenvolvimento de enzimas e de processos para a produção de etanol de segunda geração.

Gráfico 10: Rede DMC, *top assignees* por ano, 1993-2011

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

O processo de conversão SHF envolve a separação das etapas de fermentação e hidrólise executando as reações em unidades separadas. Em uma primeira unidade, a lingocelulose pré-tratada é degradada por celulasas em açúcares monoméricos e, posteriormente, é fermentada em etanol, numa segunda unidade, separada. A principal vantagem deste método é que os dois processos de hidrólise e de fermentação podem ser realizados em suas próprias condições ótimas individualmente.

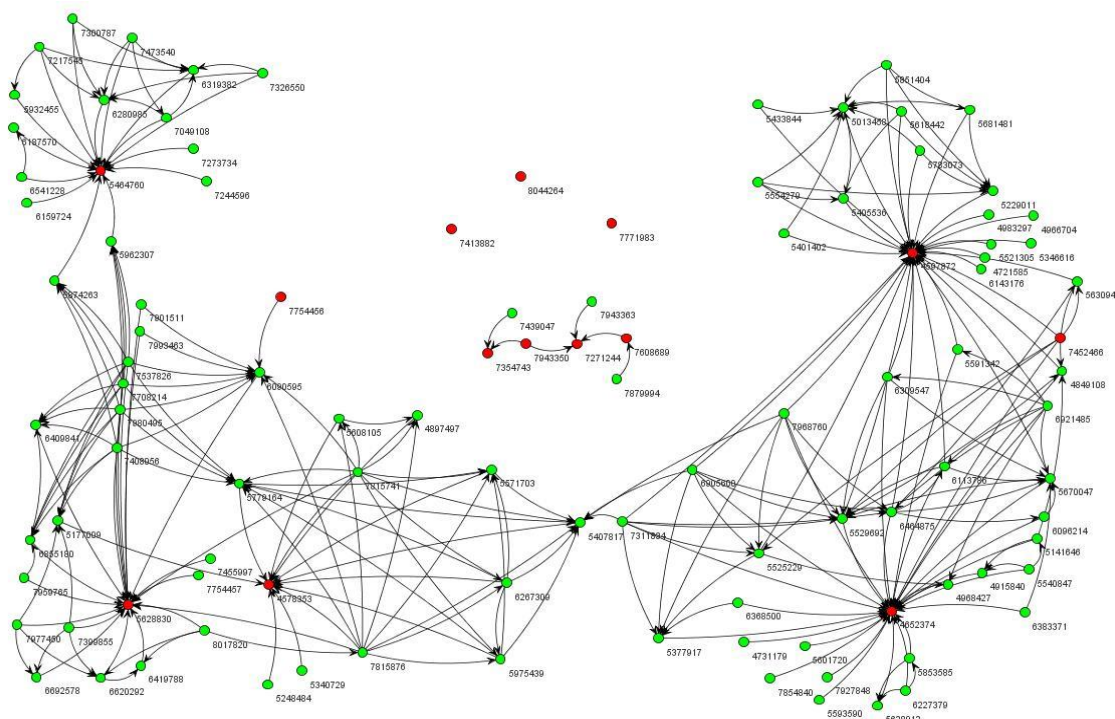
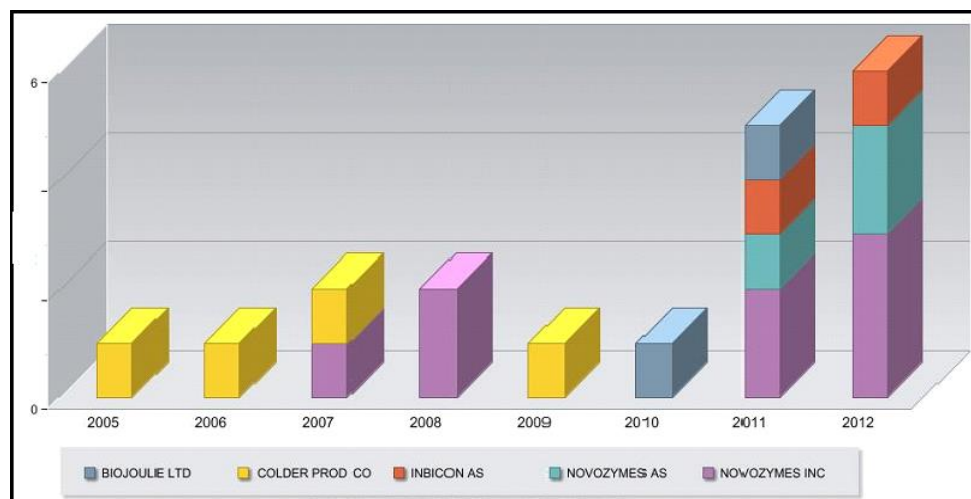


Figura 5: Rede *Separate Hydrolysis and Fermentation*

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012. Imagem obtidas através do software Odyssey's.

Gráfico 11: Rede SHF, *top assignees* por ano, 2005-2011.



Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

A Inbicon é uma subsidiária da DONG Energy, a maior companhia dinamarquesa de energia. Pioneira no uso de tecnologia de conversão de biomassa no fim dos anos 90, a Inbicon produz etanol a partir da biomassa de lignocelulose, além de licenciar sua tecnologia em parcerias

globais. A Inbicon possui uma biorefinaria em operação na Dinamarca que utiliza a palha de trigo como insumo para produzir bioetanol de segunda geração e outros produtos de bioenergia. A planta piloto - Kalundborg Demonstration Plant – utiliza enzimas da Du Pont (Genencor) e Novozymes, e da Royal DSM. Em 2013, estabeleceu uma parceria com a Odebrecht Agroindustrial para introduzir a tecnologia de etanol celulósico para o mercado brasileiro. Além disso, a Inbicon possui parcerias na China, Estados Unidos e Malásia. A Biojoule Limited é uma empresa de origem neozelandesa que produz biocombustíveis e biomateriais e, atualmente, é subsidiária da Pure Power Global, uma holding de investimentos em inovações tecnológicas verdes sediada em Hong Kong. Outra empresa que aparece em destaque, a Colder Products, de origem norte-americana, não é considerada nesta análise, pois é uma indústria de metal-mecânica e automação industrial.

3.2.2 Trajetórias tecnológicas

De acordo com Verspagen (2005), a história da mudança técnica focaliza-se em casos de inovações radicais, seguidas por melhorias tecnológicas incrementais, que, por sua vez, promovem o processo de difusão tecnológica. O mapeamento destes movimentos revela como os quadros tecnológicos dominantes – ou paradigmas – são constantemente alterados por inovações incrementais, cuja direção e desenvolvimento são determinados pela inovação paradigmática. Este processo combinado de mudanças radicais, inovações incrementais e difusão é descrito como “trajetórias tecnológicas” ou “paradigmas tecnológicos” (Dosi, 1982 apud Verspagen, 2005). Por paradigma tecnológico, Dosi está se referindo a um modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseado em princípios das ciências naturais. De todas as direções científicas possíveis, apenas uma pequena parte é realizada, e usamos o termo paradigma tecnológico para descrever a primeira escolha feita dentre todas as possibilidades. Ao longo do paradigma, o design básico da inovação é constantemente alterado pelas inovações incrementais, mas a direção básica na qual a tecnologia é desenvolvida encontra-se previamente delimitada pela escolha do paradigma tecnológico. Estas inovações incrementais resultam de escolhas que são feitas em resposta às circunstâncias específicas em que as tecnologias são desenvolvidas. Isto

significa que, por exemplo, para o caso do etanol de segunda geração, a partir da definição do paradigma tecnológico, inovações incrementais que buscam resolver problemas específicos devem ocorrer (por exemplo, o desenvolvimento de enzimas que tornam a fermentação do etanol de biomassa comercialmente viável). O paradigma tecnológico pode ser pensado como a inovação básica que determina o desenvolvimento tecnológico em certa área pelos próximos anos, mas cujo sucesso depende de como as respostas dadas pelas inovações incrementais conseguem se adaptar às circunstâncias específicas (as inovações incrementais que surgirem nos processos de fermentação de etanol de segunda geração vão determinar o sucesso deste paradigma).

A tentativa de mapear possíveis trajetórias tecnológicas é um procedimento metodológico importante, pois as trajetórias podem revelar as tecnologias dominantes (os paradigmas tecnológicos) e, assim, servir para prever o desenvolvimento e a dinâmica futura do setor em questão.

A rede referente ao processo de *Simultaneous saccharification and fermentation* foi a única que apresentou uma estrutura não difusa. A figura XX abaixo apresenta a imagem da rede utilizando o filtro de k-core 10 (foram retiradas as patentes que receberam menos de 10 citações).

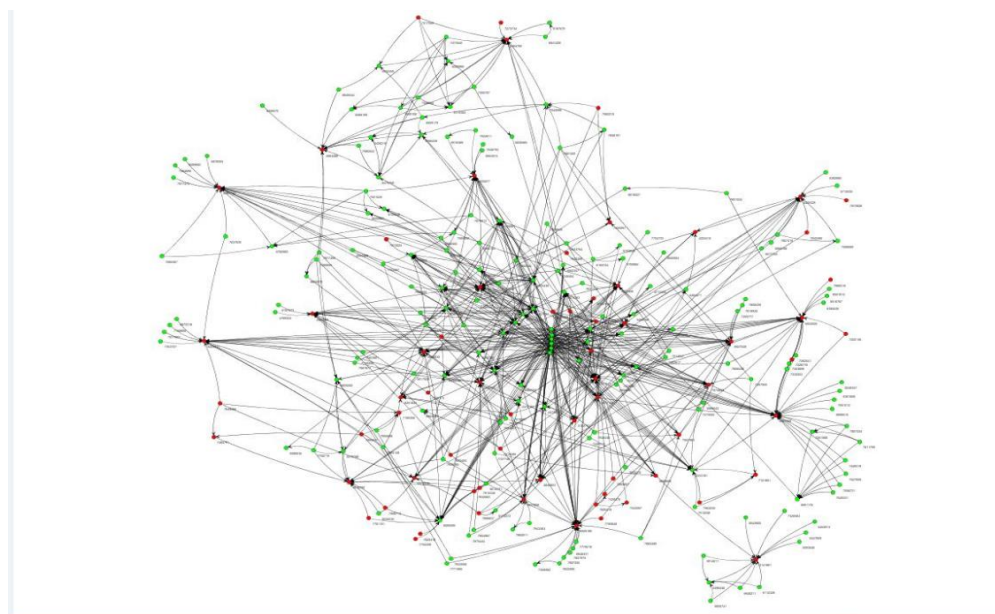


Figura 6: Rede *Simultaneous Saccharification and Fermentation*

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012. Imagem obtidas através do software Odyssey's.

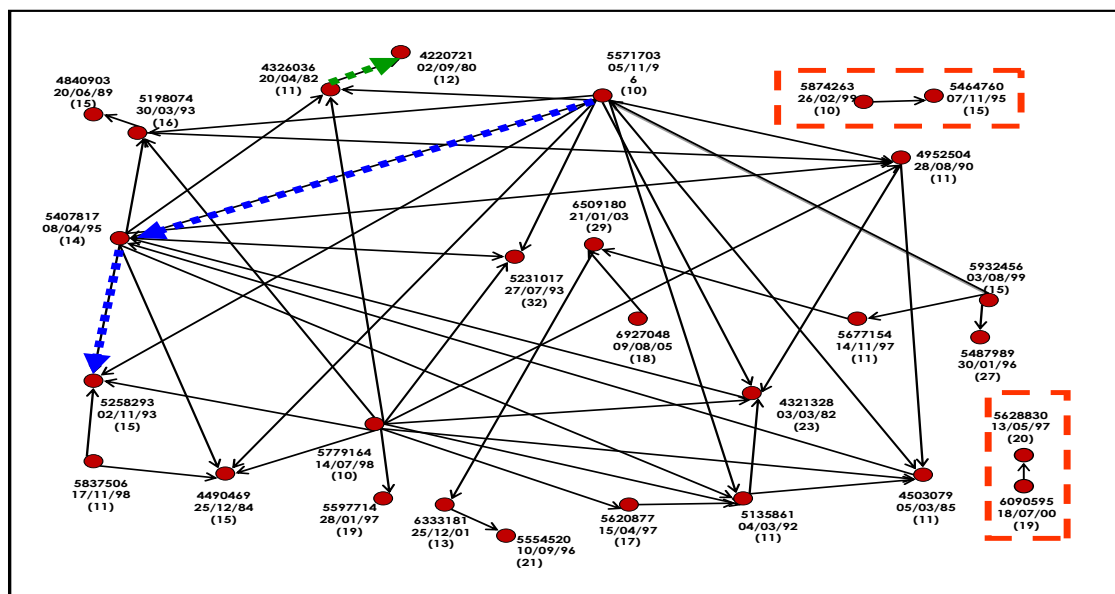
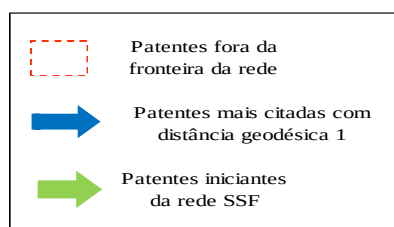
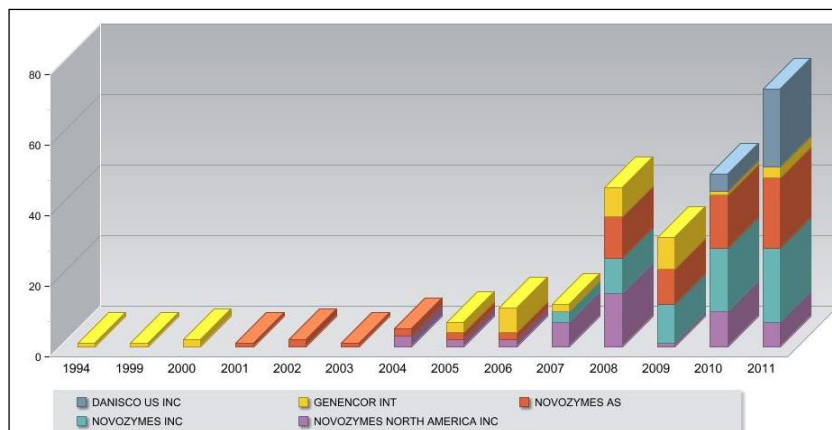


Figura 7: Subrede SSF – k -core 20 e distância geodésica 1

Legenda:



Na figura XX acima, observamos a subrede obtida a partir do procedimento de filtrar a rede original com um k -core 20 combinado ao critério de distância geodésica 1. Como será abordado na próxima sessão, o indicador de distância geodésica mede a distância mínima entre dois vértices. Neste caso observado, o critério de distância geodésica = 1 implica em obter uma sub-rede onde as patentes apresentam conexões diretas (estão ligadas entre si através de uma citação direta). A imagem revela que as patentes mais citadas da rede estão conectadas de forma homogênea, o que permite concluir que a rede não apresenta um padrão difuso.

Gráfico 12: Rede SSF, *top assignees* por ano, 1994-2011

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

3.2.3 Indicadores de Rede

Balconi et al (2004) afirmam que indicadores de citações de patentes são muito bons para compreender a dinâmica de inovação. A empresa A poderá ter um número menor de patentes que B, mas poderá ser citada por outras, que também podem ser muito citadas. Ao revelar o conteúdo de uma patente, o autor deve fazer, caso exista, referência às outras patentes que possibilitaram o desenvolvimento da mesma.

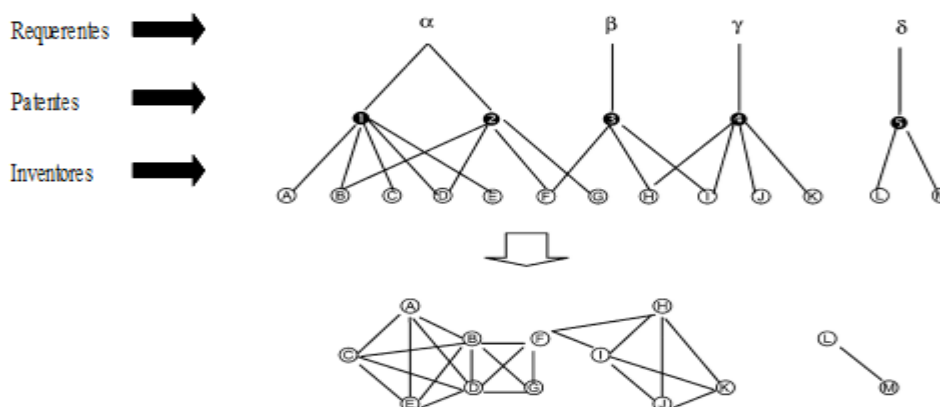


Figura 8: Gráfico biparte de requerentes, patentes e inventores

Fonte: Balconi et al. (2004). Adaptação.

No caso hipotético representado pela figura acima: observamos: as empresas requerentes de patentes (α , β , γ , δ), as patentes (1 a 5) e os inventores (a até m), com as linhas de ligação entre cada patente ao seu respectivo inventor e requerente. O requerente α é responsável por duas patentes (1,2), enquanto os requerentes β , γ e δ submetem uma patente cada um (as patentes 3, 4 e 5 respectivamente). A patente 1 foi submetida pela empresa α e foi produzida por um time composto pelos inventores de A – E. Balconi et al (2004) afirmam ser razoável supor que, devido a colaboração em um projeto de pesquisa comum, os cinco inventores são ligados uns aos outros por algum tipo de relação de conhecimento. Isto é demonstrado na parte inferior da figura 1, trata-se de uma reprodução da mesma rede identificando apenas os inventores. A distância geodésica é definida como o número mínimo de arestas que separam dois inventores distintos na rede. Na figura 1, por exemplo, os inventores A e C têm distância geodésica igual a 1, enquanto que os inventores A e H têm distância 3. Isto significa que a ligação entre eles é mediada por dois outros agentes (isto é, B e F). Em outros termos, embora o inventor A não conheça diretamente o inventor H, A conhece B que conhece F e este conhece diretamente H.

Os inventores podem pertencer ao mesmo componente ou eles podem estar localizados em componentes desconectados. Um componente de um gráfico pode ser definido como um subconjunto de todo o gráfico, de tal modo que todos os nós (patentes) incluídos no subconjunto estão ligados através de um caminho. Na Figura 1, por exemplo, os inventores A à K pertencem ao mesmo componente, enquanto que os inventores L e M pertencem a um componente diferente. Um par de inventores pertencente a dois componentes distintos tem distância igual ao infinito, ou seja, não há caminho de ligação eles.

Alguns inventores têm um papel extraordinariamente importante na conexão de componentes diferentes. Os autores os chamam de inventores “móveis”. Por exemplo, na Figura 1, o inventor F trabalhou para a empresa α e β , ligando assim ao grupo de inventores (B, D) com o grupo de inventores (H, I). Da mesma forma, o inventor G trabalhou tanto para a companhia α e γ , ligando assim o grupo (B, D, F) com o grupo (I, J, K).

Os tradicionais indicadores de rede utilizados para entender a forma pela qual os nós se relacionam – e entender a estrutura da rede – são segundo Breschi e Lissoni (2004), a distância geodésica, a centralidade e a conectividade. Os vértices são os atores, podem ser patentes, institutos de pesquisa, empresas, etc.

Distância Geodésica (*geodesic distance*): é o comprimento do menor caminho entre dois nós. Para uma rede de patentes, por exemplo, é o número mínimo de relações (ou arestas) que separa duas patentes distintas de uma rede.

$$d_G = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \geq j}^n d_{ij}$$

onde i e j são dois vértices da rede;

n é o número total de patentes da rede;

d_{ij} é a distância geodésica entre i e j

Caso não haja conexão direta (uma aresta) ligando dois vértices, define-se, por convenção, que a distância geodésica é infinita.

Grau de Centralidade (*centrality*): número de interações entre um nó e toda a rede. Mede o número de vértices ao qual um certo vértice liga-se diretamente e é dado por:

$$C_d(i; g) = \frac{\eta_i(g)}{n - 1}$$

Onde g é a rede, n é o número de vértices da rede e $\eta_i(g)$ é o número de vértices com a mesma distância de i até g . Esta medida auxilia na verificação da importância relativa de um vértice em uma determinada rede. A relação entre as centralidades de todos os vértices é um importante indicador sobre a estrutura das redes. Uma rede muito centralizada é dominada por um ou poucos vértices muito centrais; a remoção desses vértices implica na fragmentação da rede original em sub-redes não conectadas.

Hanneman e Riddle (2005) (apud SOUZA, 2013) apresentam a abordagem de *K-core* (pontos de corte), segundo a qual, estabelecido um número mínimo (K) de ligações diretas que cada ator deverá possuir com outros atores, uma subrede é estabelecida. Quanto menor o valor de K maior é o tamanho da subrede, pois menor é o número de ligações diretas exigidas para que os vértices estejam contidos em determinada subrede.

O indicador de *Densidade da rede* é a razão entre o número “ n ” de conexões (arestas) numa rede sobre o número total possível de conexões na rede:

$$D = \frac{n(n-1)}{2}.$$

Este indicador, conforme aponta Jackson (2010 apud SILVEIRA ET AL, 2012), nos dá a ideia do nível de conexão entre os elementos da rede.

A extração da rede de maior relevância – composta por *n* patentes altamente citadas e por seus respectivos conjuntos de citadoras – baseia-se nos indicadores algébricos de densidade, centralidade e distância geodésica dos atores. Patentes altamente citadas equivalem a mercados de tecnologia de grande importância.

Processo de fermentação	Densidade da rede	<i>Betweenness Centrality</i>	<i>Closeness Centrality (all)</i>
Bioprocessamento consolidado	0,0101807	0	Tende a zero (rede fracamente conectada)
Conversão Microbiana Direta	0, 0735632	0,01091	Tende a zero (rede fracamente conectada)
Fermentação e Hidrólise separadas	0, 0226591	0,00126	Tende a zero (rede fracamente conectada)
Fermentação e Sacarificação simultânea	0, 0119191	0,00356	0,35716

Quadro 2: Indicadores de Rede

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

Os indicadores acima permitem concluir que os processos de conversão de biomassa não constituem trajetórias tecnológicas consolidadas; ainda há um grande nível de incerteza sobre qual tecnologia deve se tornar o padrão do mercado, o que significa que há espaço para que ocorra o desenvolvimento de novas tecnologias. A rede SSF foi a única que apresentou uma estrutura não difusa (avaliado pelo indicador de *Closeness Centrality*). A não identificação de trajetórias tecnológicas não nos permite confirmar a existência de redes do tipo *scale-free* para os quatro processos de conversão.

O último procedimento metodológico recorre a um método automatizado de obtenção de cenários tecnológicos desenvolvido pela plataforma Thomson Innovation que aplica algoritmos de extração de termos de textos e os reúne agregados (*clusters*) na forma de picos de um cenário topográfico, obtendo-se então as áreas de maior importância.

O resultado é uma imagem com a topografia de palavras resultantes da análise lexicográfica denominada *ThemeScape*. Neles aparecem “vales”, nos quais determinado termo tecnológico presente na amostra de patentes é menos frequente, e “picos”, que reúnem tecnologias mais frequentes nos textos. Mais do que isto, os algoritmos de agregação utilizando inferência Bayesiana, levam em conta não apenas a presença de palavras, mas a proximidade entre termos também frequentes. A distância física entre os picos em um mapa *ThemeScape* representa o grau de relacionamento entre os dois pontos: quanto menor a distância, mais estreitamente relacionados os dois documentos são, em termos de assunto. De acordo com o guia de ajuda do Thomson Innovation, o número de documentos em um determinado cluster determina a altura do pico no mapa 2D.

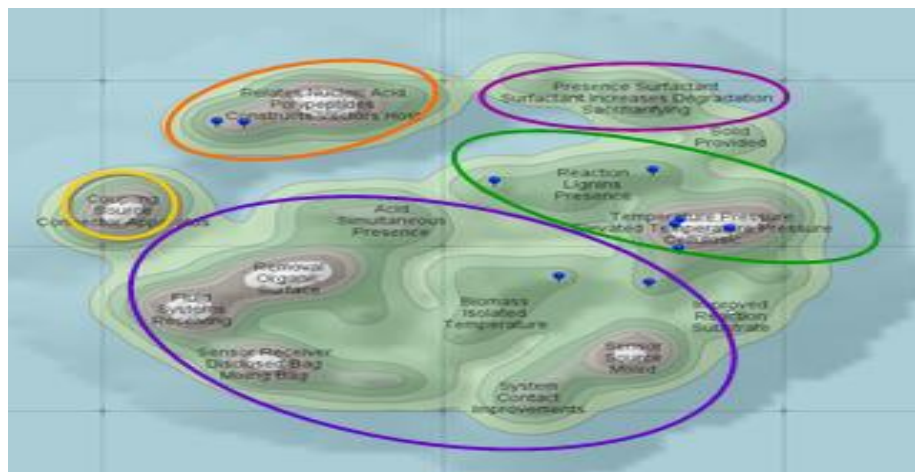


Figura 9: *ThemeScape* gerado a partir das patentes dos quatro processos de conversão

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago, 2012.

Legenda:

	Pré-tratamento de biomassa e sacarificação.
	Enzimas de lignocelulose.
	Mistura de: processos industriais de biomassa e
	Vetores para enzima de biomassa.
	Dez tecnologias mais importantes para qualquer um dos 4 processos de conversão.

A tabela abaixo foi construída a partir dos *ThemeScapes* gerados para os quatro processos de conversão de biomassa tratados neste capítulo. Nela podemos observar a presença de áreas temáticas temas comuns aos quatro processos de conversão de biomassa analisados o que permite afirmar que existe convergência entre esses processos de conversão.

Simultaneous Saccharification and Fermentation	Consolidated Bioprocessing	Direct Microbial Conversion	Separate Hydrolysis and Fermentation	Legenda
Engenharia genética de enzimas de fermentação	Expressão de genes de enzimas de plantas	Enzimas de microorganismos	Pré-tratamento industrial de materiais para processo de SHF	Tecnologias de Pré-tratamento
Enzimas de <i>Humicola grisea</i> para fermentação de bagaço de cana de açúcar	Bioengenharia computacional de enzimas	Pré-tratamento de biomassa industrial para DMC	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionado à genética evolutiva	Tecnologias referentes à Enzimas
Plantas transgênicas adaptadas para fermentação celulósica enzimática	Recombinação genética de microorganismos	Processos de auto-bloqueio de produção de bioetanol	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	Tecnologias referentes à recombinação genética
Materiais vegetais ligados à ação de enzimas de fermentação produzidas por microorganismos	Engenharia de produção de enzimas industriais em microorganismos		Enzimas para melhoramento de celulose e vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	Tecnologias referentes à processos
Enzimas hidrolíticas - <i>Trichoderma</i> sp	Vetores para bioengenharia			Tecnologia com aplicação farmacêutica - não é diretamente relacionada ao etanol de segunda geração
Pré-tratamento industrial de biomassa	Pré-tratamento industrial de biomassa			
Plantas suscetíveis a enzimas de fermentação de organismos termofílicos e mesofílicos	Bioprocessos terapêuticos[1] que envolvem outras formas de fermentação e não apenas a de biomassa			
Novos solventes de lignocelulose - <i>Humicola grisea</i>	Processos industriais de cultura de microorganismos			
Processos de sacarificação de biomassa				

Figura 10: Áreas temáticas destacadas nas quatro tecnologias de conversão de biomassa

Fonte: Dal Poz, Silveira e Masago (2012). Elaboração própria.

Em todos os processos identificou-se a presença de patentes relacionadas à enzima, fato que revela a importância que o desenvolvimento e aumento da eficiência das enzimas têm para a viabilidade comercial do etanol de segunda geração. A engenharia genética surge seja no desenvolvimento de microrganismos capazes de fermentar as pentoses e hexoses simultaneamente (processos de BPC e SSF), seja na obtenção de variedades de plantas mais suscetíveis à ação desses microrganismos. A diversidade de temas está relacionada ao fato de que ainda não se encontrou uma tecnologia dominante; nesta corrida para se obter o melhor processo de conversão de biomassa em etanol, as frentes de pesquisa são múltiplas.

Conclusão

A análise dinâmica de inovação referente aos quatro processos de conversão em biomassa identificados permite afirmar que não foi definida ainda, de maneira clara, qual a tecnologia será a “vencedora”. O processo de P&D em etanol de segunda geração é uma trajetória tecnológica emergente, no entanto, já é possível observar a presença de grandes empresas de biotecnologia atuando como *players* importantes no mercado. Empresas como a DuPont, Novozymes, identificadas como *top assignees* de patentes relacionadas aos processos de conversão da biomassa de lignocelulósica também estão envolvidas em projetos de produção em escala comercial do etanol de segunda geração, seja através de plantas comerciais próprias (caso da planta da DuPont em Nevada), seja através de parcerias (Novozymes em parceria com a Granbio, Raízen). A recente aquisição da Danisco pela DuPont (em 2011) e o surgimento da subsidiária DuPont™ Genencor® Science (Genencor é uma subsidiária da Danisco), as parcerias da Novozymes e da Inbicon (Odebrecht Agroindustrial, além de parcerias na Ásia e Estados Unidos) são sinais de que o mercado de etanol lignocelulósico encaminha-se para uma estrutura consolidada, apesar de não haver uma tecnologia dominante.

Devemos atentar também para a possibilidade de que à medida que o processo de P&D em etanol de segunda geração defina trajetórias tecnológicas consolidadas, as patentes de biotecnologia sejam alvo de processos de trolls de patentes. Apesar de não se encaixarem nesse modelo de rentismo, já se observam grandes disputas legais envolvendo patentes para produção do etanol de segunda geração: Novozymes e Danisco AS (subsidiária da DuPont, duas empresas que desenvolvem enzimas que quebram o amido para a fermentação, usam o patenteamento agressivo e estratégias de litígio para defenderem suas posições no mercado. A Danisco, juntamente com sua subsidiária Genencor, é um dos maiores produtores de enzimas e tem mais de 290²⁰ patentes emitidas nos EUA que se referem a etapas de produção do etanol. A Novozymes, por sua vez, tem mais de 240 patentes emitidas que se relacionam de alguma forma para a produção de etanol. No entanto, apesar de possuírem fatia importante do mercado, essas empresas ainda buscam aumentar esta participação através de ações de litígio.

²⁰ Woleck (2011).

A produção mundial de biocombustíveis sofreu um forte aumento 2002 e 2010, motivada, principalmente, pela escalada dos preços do petróleo que passaram do patamar de US\$ 22/barril para mais de US\$ 100/barril em 2013. Mas caso a recente queda nos preços do petróleo observada a partir do verão segundo semestre de 2014 consolide-se como uma nova tendência do mercado, os investimentos em bioetanol poderão ser reduzidos, em um cenário em que o etanol de segunda geração é uma grande promessa, mas ainda não atingiu uma plena fase comercial. É preciso observar também o desenvolvimento de outros combustíveis, como o gás de xisto, como fonte de energia alternativa ao petróleo e que acaba por elevar a incerteza quanto às possibilidades de desenvolvimento do bioetanol.

Referências bibliográficas

ALEXANDER, Todd E; LAMB, David. **Ethanol Loses Steam, But Only in Part: Cellulosic Ethanol, Corn-Based Ethanol, Renewable Fuels Standard**. 2013. Disponível em <http://www.chadbourne.com/EthanolLosesSteamButOnlyinPart_projectfinance/>. Acesso em 25/11/2014.

BASTOS, Valéria Delgado. **Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento**. In Revista do BNDES nº 38, 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3803.pdf>. Acesso em: 20/07/2014.

BAFFES, J. e HANIOTIS, T. (2010) **Placing the 2006/08 Commodity price Boom into Perspective**. Policy Research Working Paper 5731, The World Bank, July. Disponível em: <http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2010/07/21/000158349_20100721110120/Rendered/PDF/WPS5371.pdf>.

BALCONI, M.; BRESCHI, S;LUSSONI. F. **Networks of inventors and the role of academia: an exploration of Italian patent data**. 2004. Research Policy, 33(124-145).

BASTASCH, Michael. **EPA Sides With Biofuel Industry By Delaying Key Ethanol Mandate Decision**. The Daily Caller. 2014. Disponível em: <<http://dailycaller.com/2014/11/21/epa-sides-with-biofuel-industry-by-delaying-key-ethanol-mandate-decision/>>. Acesso em 25/11/2014

BESSEN, James. MEURER, Michael J. **The Direct Costs From NPE Disputes**. Boston University School of Law and Economics Research Paper Nº 12-34. 2013. Disponível em: <<http://www.bu.edu/law/faculty/scholarship/workingpapers/2012.html>>. Acesso em 25/11/2014.

BRESCHI, S.; LISSONI, F. **Mobility and Social Networks: Localised Knowledge Spillovers Revisited**, 2003. CESPRI Working Papers 142, CESPRI, Centre for research on Innovation and Internationalisation Processes, Università Bocconi, Milão.

BROWN, Robert C. BROWN, Tristan R. **Why are we producing biofuels? Shifting to the ultimate source of energy**. 2012 Brownia LLC, Ames, Iowa 2012.

CAMPOS, Rafael Ribeiro. **Redes de direito de Propriedade Intelectual na agrobiotecnologia: modelagem e mensuração de eficiência**, 2008. 70f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

CHU, A., 2009. **Effects of blocking patents on R&D: a quantitative DGE analysis**. Journal of Economic Growth 14, 55-78.

DAL POZ, Maria Ester; SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim e MASAGO, Fábio. **TECHNOLOGY FRONTIER ON BIOENERGY: ANALYSIS OF TWO NETWORKS OF INNOVATION**. Anais do XL Encontro Nacional de Economia, ANPEC. 2012 Disponível em <http://www.anpec.org.br/encontro/2012/inscricao/files_I/i8-782b43e603978a6df53dcb1cb92350ad.doc> . Acesso em 30 de julho de 2014.

DAL POZ, Maria Ester; SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim; LUNA, Ivette; FERRARI, Vinícius e MASAGO, Fábio. **ANÁLISE DE REDES DE PATENTES EM BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA: APROPRIABILIDADE E DESTRUIÇÃO ADAPTATIVA**. Anais do XLI Encontro Nacional de Economia, ANPEC. 2013. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro/2013/files_I/i9-7f972d0ad3932e924094bcc0c4a343db.docx> . Acesso em: 29 de julho de 2014.

DOSI, G. 1982. **Technological Paradigms and Technological Trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change**. Research policy, 1982 – p.152, notes 14,17. Economics, vol 3 Issue 1, p. 1-31.

FELDMAN, Robin Feldman. PRICE, W. Nicholson II. **Patent Trolling – Why Bio and Pharmaceuticals are at risk**. Legal Studies Research Paper Series. Research Paper N° 93.

HANSEN, R. e HUNTRODS, D. (2009) **White corn profile**. Agriculture Marketing Resource Center. Disponível em: <http://www.agmrc.org/commodities_products/grains_oilseeds/corn_grain/white_corn_profile.cfm> . Acesso em 25/11/2014

Institute for Energy Research. **The Biofuel Mandate and EPA's Costly Tall Tale**. 2013. Disponível em: <<http://instituteeforenergyresearch.org/studies/the-biofuel-mandate-and-epas-costly-tall-tale/>> Acesso em 12/12/2014

IPEA. Comunicado do Ipea n° 53: **Biocombustíveis no Brasil: etanol e biodiesel**. Eixos do Desenvolvimento Brasileiro. 2010. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100526_comunicadodoipea_53.pdf>. Acesso em: 20/10/2014

HANNEMAN, R. A.; RIDDLE, M. **Introduction to social network methods**. Riverside: University of California, 2005. Disponível em: <<http://faculty.ucr.edu/~hanneman>>. Acesso em: 28 de julho de 2014.

MASAGO, Fábio Kenji. **Odyssey's: sistema para análise de documentos de patentes**. 2013. 124 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000909740>>. Acesso em: 28 jul. 2014.

MERKUSHEVA, Natalia. RAPSOMANIKIS, George. **Nonlinear Cointegration in the Food-Ethanol-Oil System: Evidence from Smooth Threshold Vector Error Correction Models.** FAO. 2014. Disponível em: <http://www.amis-outlook.org/fileadmin/user_upload/amis/docs/reports/Final_Thresholds_paper.pdf>. Acesso em: 26/12/2014.

Ministério do Meio Ambiente. Energias renováveis. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis>>. Acesso em 25/11/2014.

Nyko et al. **A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada** 2010.

The State of Food and Agriculture, Part I: Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities. FAO 2008. Disponível em: Acesso em 25/11/2014.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da. GARCIA, Jorge Luiz Faria. **O etanol de segunda geração: limites e oportunidades.** Revista do BNDES, n. 32, p. 119-150, dez. 2009.

SAVIOTTI, P 2009. **Knowledge networks: Structure and dynamics.** In Innovation networks: Developing an integrated approach, Edited by: Pyka, A. and Scharnorst, A. 19–42. Heidelberg: Springer Verlag.

SOUZA, Luiz Gustavo Antônio de. **Redes de inovação em etanol de segunda geração.** 2014. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. Disponível em <: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-26082013-135850/publico/Luiz_Gustavo_Antonio_de_Souza_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2014.

Unica. **Do álcool ao etanol. 2010** Disponível em: <<http://sugarcane.org/resource-library/books/From%20Alcohol%20to%20Ethanol%20a%20Winning%20Trajectory.pdf>>. Acesso em 20/10/2014

VERSPAGEN, B. **Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: A study on the history of Fuel Cell research, 2005.** Advances in Complex Systems 10, pg. 93-115. World Scientific Publishing Company.

WOLECK, Adam. **Biotech Biofuels: How Patents May Save Biofuels and Create Empires.** 86 Chi.-Kent. L. Rev. 235 (2011). Disponível em: <<http://scholarship.kentlaw.iit.edu/cklawreview/vol86/iss1/10>>. Acesso em 05/01/2015.

ZILBERMAN, David; TIMILSINA, Govinda R. **The impacts of biofuels on the economy, environment, and poverty. A global perspective.** 2014. Springer, New York.