

REESTRUTURAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO NA TRANSIÇÃO PARA O ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

ALTAIR APARECIDO DE OLIVEIRA FILHO

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp / Departamento de Política Científica e Tecnológica, Brasil
altairfilho@ige.unicamp.br

FLÁVIA LUCIANE CONSONI

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp / Departamento de Política Científica e Tecnológica, Brasil
flavia@ige.unicamp.br

Resumo

O setor sucroenergético brasileiro figura como a principal alternativa nacional frente às energias fósseis responsáveis pela geração de sérios problemas ambientais em âmbito internacional; ademais, ao se utilizar da cana-de-açúcar para obtenção do etanol, matéria-prima que não integra sua base alimentar, o Brasil passa a ocupar posição de destaque no debate energético. Não obstante, tal trajetória tem sido confrontada com novos desafios tecnológicos, especificamente com o etanol de 2ª geração. Trata-se de uma tecnologia em desenvolvimento que, ao aproveitar integralmente toda a biomassa de uma diversidade de matérias-primas, mostra-se como bastante promissora. O presente artigo expõe e analisa as características do setor sucroalcooleiro frente ao desafio tecnológico do etanol de 2ª geração. Busca-se compreender como o Brasil se posiciona em relação ao desenvolvimento da rota tecnológica do etanol celulósico e, em que medida, o Brasil apresenta (ou não) protagonismo nessa corrida tecnológica. Utilizando-se de ferramentas de busca e análise de patentes, fornecidas pela plataforma *Questel Orbit*, e de revisão bibliográfica, percebe-se que a reconfiguração setorial presenciada na última década reafirma a sua condição histórica. Ou seja, o avanço tecnológico ocorre condicionado pela manutenção da sua dependência externa, devido ao fato de não ser capaz de conduzir os processos de desenvolvimento tecnológicos mais importantes.

Introdução

O setor sucroalcooleiro brasileiro é um importante segmento econômico no plano nacional, com alta capilaridade no território, presente em 1.040 municípios e responsável por 1.153.960 empregos formais em 2011¹. Se desenvolveu ao longo dos anos através de sistemáticas iniciativas dos produtores e, principalmente, através da ação coordenadora do Estado brasileiro, sendo atualmente uma importante fonte alternativa para a dependência externa dos derivados dos combustíveis fósseis e, na sequência, contribuindo com a redução das emissões dos gases de efeito estufa.

A partir dos anos 2000 este segmento passa por um processo de reestruturação, caracterizado por: 1) acelerada expansão geográfica para novas áreas de cultivo e processamento da cana-de-açúcar; 2) concentração e centralização do capital no setor e; 3) esforço de aprendizagem em uma nova base de conhecimento, a bioquímica e a engenharia genética. Esses aspectos prenunciam alterações nas características históricas na produção de etanol de 1ª geração.

O presente artigo expõe e analisa as características do setor sucroalcooleiro frente ao desafio tecnológico do etanol de 2ª geração. O objetivo consiste em compreender como o Brasil se posiciona em relação ao desenvolvimento da rota tecnológica do etanol celulósico e, em que medida, o país apresenta (ou não) protagonismo nessa corrida tecnológica.

¹LEMOS et all (2014).

A pesquisa se orientou pelas seguintes questões: quais são os principais vetores do processo de reestruturação do setor sucroenergético brasileiro? Como o Brasil tem se posicionado em relação à tecnologia de 2ª geração? Como a mudança de rota tecnológica tem afetado o segmento do etanol? Com isso, o trabalho apoia-se em um estudo exploratório, a partir da descrição e análise das principais características do setor sucroalcooleiro brasileiro.

Utilizando-se de ferramentas de busca e análise de patentes, fornecidas pela plataforma *Questel Orbit*², e de revisão bibliográfica, percebe-se que a reconfiguração setorial presenciada na última década reafirma a sua condição histórica. Ou seja, o avanço tecnológico ocorre condicionado pela manutenção da sua dependência externa, devido ao fato de não ser capaz de conduzir os processos de desenvolvimento tecnológicos mais importantes (produção de enzimas, leveduras geneticamente modificadas e *design* de plantas industriais de 2ª geração).

Neste processo reside uma ruptura de rota tecnológica, exigindo alterações nos padrões de aprendizagem das firmas, que tradicionalmente caracterizavam-se por inovações incrementais (*learning by doing, learning by using e learning by interacting*). Este artigo argumenta que o setor sucroalcooleiro caminha rumo a uma descontinuidade que implica um modelo de inovação mais forte e completo de *learning by science*. Entretanto, esse caminho não é fluido e exige esforços internos das empresas ligadas à transformação da biomassa, bem como, do arranjo institucional.

O principal desafio para o setor e para as nações periféricas consiste em aproveitar as “janelas de oportunidades”, a partir da produção endógena de tecnologia, saindo da condição estrutural de importadores e dependentes de tecnologia estrangeira, com capacidade para promover o desenvolvimento tecnológico, social e econômico. É na transição da 1ª geração para a 2ª geração que se encontra o escopo da pesquisa.

Este artigo está organizado em torno de cinco seções. A seção dois aborda os aspectos metodológicos e teóricos da abordagem, expondo a definição dos conceitos-chaves e detalhando os procedimentos de obtenção e análise de dados; a seção três reconstrói a trajetória do Sistema Setorial de Inovação da Cana-de-açúcar (SSI) até final da década de 1990; a seção quatro pontua os processos que alteram as condições estruturais do setor a partir dos anos 2000, os quais proporcionaram uma nova dinâmica do processo inovativo; a seção cinco evidencia o desempenho do Brasil na rota tecnologia do etanol de 2ª geração.

2. Aspectos metodológicos e teóricos

Foram trabalhados dados secundários a partir da base de dados oficiais do Governo Federal, por meio das plataformas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os quais forneceram dados sobre a produção, comercialização e dimensões gerais do setor. Este artigo também se apoia em informações obtidas em *sites*³ e instituições especializadas no assunto, os quais pronunciam fatos e dados atuais do setor.

Ampliando a caracterização e a identificação dos elementos que conformam o SSI da cana-de-açúcar realizou-se a busca e a análise das famílias de patentes⁴ na plataforma *Questel Orbit*. Pois, entende-se que as patentes são instrumentos fundamentais para oferecer proteção às novas invenções desenvolvidas no âmbito territorial, uma vez que apresentam validade exclusiva na jurisdição onde foram concedidas. Desta forma, as patentes contêm informações dos esforços tecnológicos dos países e das empresas, das intenções de negócios futuros, da movimentação dos

² É um sistema de busca e análise de informações contidas em patentes e desenhos industriais, sendo que a sua cobertura abrange mais de 96 países. No seu funcionamento trás um conjunto de ferramentas de análise estatística e correlacional, as quais permitem a geração e visualização de gráficos sobre grandes conjuntos de patentes.

³ As contribuições da revista *online* NovaCana e do *site* da União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA).

⁴ De um modo geral, uma família de patentes é um grupo de invenções que estão todas relacionadas entre si, neste caso através da prioridade, ou prioridades, de um documento de patente específico. Na *espacenet* define-se uma família de patentes como compreendendo todos os documentos possuindo exatamente a mesma prioridade ou combinação de prioridades (ESPACENET, 2014).

atores no entorno das rotas tecnológicas. Portanto, a partir das patentes podemos ter uma noção da evolução tecnológica.

Esta etapa ocorreu através da determinação de um grupo de palavras-chaves, as quais fazem referência à temática, ou seja, o etanol de 2ª geração. Para facilitar a abordagem e proporcionar um olhar mais amplo do desenvolvimento tecnológico, realizou as buscas em duas etapas: a primeira busca foi feita com um grupo pequeno de palavras, as quais foram inseridas no sistema de pesquisa da plataforma e organizadas através dos operadores booleanos, nos campos de buscas *title; keywords; abstract; request* (1ª etapa).

Os resultados dessa fase preliminar foram agrupados através da ferramenta de análise Σ TOP no nível de agregação *Top International Classes*, ou seja, a ferramenta agrupou o conjunto de famílias de patentes através da Classificação Internacional de Patentes (IPC), proporcionando uma melhor visualização do tipo/ramo de tecnologia que predomina na busca realizada pelas palavras-chaves. O agrupamento congrega as famílias de patentes segundo critérios de utilidade e função produtiva, assim, os mesmo conjuntos de patentes podem estar em mais de uma classificação do IPC. As cinco tecnologias que predominam na primeira busca foram:

Tabela 1. Tecnologias predominantes na primeira etapa da busca (etanol de 2ª geração).

Resultado da busca	Definição da classe C12P	Definição da classe C10L
C12P-007/10 (24,00%); C12P-007/06 (21,66%); C10L-001/02(11,19%); C12P-019/14 (9,74%); C12P-007/16(6,49%)	Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica.	Combustíveis não incluídos em outro local; gás natural; gás natural de sintético obtido por processos não abrangidos peãs subclasses C10G ou C10K; gás liquefeito de petróleo; uso de aditivos em combustíveis ou ao fogo; acendedores de fogo.

Fonte: Questel Orbit, 2015.

É importante notar que essa ferramenta indica qual o ramo ou base de conhecimento é mais relevante nesse universo de tecnologias levantadas pela busca preliminar; assim, somou-se a primeira busca as cinco mais representativas classes do IPC encontradas, por conseguinte, adicionou-se as tecnologias mais relevantes e se ampliou o escopo da busca, resultando na 2ª etapa, a qual teve como resultado 1.865 famílias de patentes, conjunto de dados que são analisados na quanta seção deste artigo.

Com isso, as buscas tiveram as seguintes equações:

Tabela 2. Equações de busca.

Etapa	Equação da busca	FP
1ª	((biofuel+ or fuel+) and (ethanol or bioethanol) and (cellulosic ethanol or enzymatic hydrolysis process or second generation ethanol or second generation bioethanol or enzym+ hydolysis or biomass or sugarcane))	1.279
2ª	((((biofuel+ or fuel+) and (ethanol or bioethanol) and (cellulosic ethanol or enzymatic hydrolysis process or second generation ethanol or second generation bioethanol or enzym+ hydolysis or biomass or sugarcane))))/keyw/ti/ab/iw and (c12p-007/10 or c12p-007/06 or c10l-001/02 or c12p-019/14 or c12p-019/02)/ipc)	1.865

Elaboração própria.

O ferramental analítico se apoia no conceito de Sistema Setorial de Inovação (SSI), o qual permite interpretar, analisar e propor intervenções no nível meso, fazendo necessariamente

uma ponte entre o macro - formação social e econômica do país⁵ – e o nível micro - dinâmica das firmas (JOSEPH, 2009; OYELERAN-OYEYINKA & RASIIAH, 2009). Assim, supera o agregado e foca-se nas particularidades que compõem a estrutura produtiva de uma nação, a partir das características que compõem o setor, da identificação e compreensão dos agentes e das suas relações. O conceito de SSI é útil para pensar as especializações econômicas dentro da heterogeneidade estrutural que compõe a estrutura produtiva das nações (MALERBA, 2002), organizar as evidências históricas e estudar os processos de *catching-up* dos países retardatários no que diz respeito à acumulação de capacidades industriais (JOSEPH, 2009; LUNDEVALL, 2009; OYELERAN-OYEYINKA & RASIIAH, 2009).

A incorporação de especificidades setoriais em um sistema de inovação obriga/estimula a utilização dessa abordagem na medida em que identifica as trajetórias evolutivas, centrando-se na forma como um país em desenvolvimento se esforça para atingir os valores de referência definidos externamente à sua realidade (*standard* dos países desenvolvidos) (GUENNIFA & RAMANI, 2012).

Em linhas gerais o SSI da cana-de-açúcar pode ser caracterizado a partir de alguns traços produtivos que lhe confere particularidade, como: 1) o baixo custo de produção para o açúcar e o etanol; especificamente em relação ao etanol, o custo de produção por litro é de US\$ 0,28 em comparação com a estadunidense de US\$ 0,45; 2) ao longo da sua trajetória apresenta significativos esforços internos de aprendizagem, que culminaram em uma trajetória positiva de aprendizagem tecnológica através de inovações incrementais (FURTADO et al, 2011; MAFIOLETTI; FURCA, 2011).

Os esforços internos de aprendizagem do SSI da cana-de-açúcar podem ser caracterizados pelo Fluxo DUI, uma abreviação para as formas de aprendizados que estão diretamente envolvidas com o conhecimento tácito e são localizadas, as quais são de difícil transferência. Com isso, seu significado é composto pelos conceitos: *learning by doing*, *learning by using* e *learning by interacting* (VARRICHO, 2012). Processos que ocorrem de maneira concomitante e constante ao longo do tempo, proporcionando maior dinâmica e complexidade ao sistema de inovação.

A formação do SSI da cana-de-açúcar é proveniente de um processo de evolução e especialização produtiva do Sistema Nacional de Inovação do Brasil, organizando-se a partir de características passadas, da presença de recursos naturais e fruto de políticas industriais e agrícolas de criação/expansão deste setor econômico, determinantes para seu dinamismo econômico. Esta especialização decorre da crescente necessidade dos países periféricos acessarem os mercados globais, especialização que pode e deve levar à criação de SSI, pois este processo adensa a cadeia produtiva, tornando-o mais capaz na condução do progresso técnico na área que se destina atuar (exemplos desta dinâmica podem ser encontrados no caso do abacate no México; do petróleo e do etanol no Brasil; do setor de telecomunicação e informática na Índia; e etc.) (JOSEPH, 2009).

O SSI configura-se como um conjunto de agentes que realizam interações de mercado e não-mercantis para a criação, a produção e a venda de novos produtos ou de produtos melhorados. Ao contrário de uma estrutura produtiva estática, o SSI evolui ao longo do tempo, na medida em que os atores se relacionam/concorrem. Portanto, o conteúdo tecnocientífico deste sistema está em constante transformação, alterando-se em quantidade e qualidade, evoluindo através de inovações em produto e em processo, as quais são desempenhadas pelos atores que compõem esse sistema (DUNHAM et al, 2011; MALERBA, 2003; MALERBA, 2002; CARLSSON et al, 2002; CARLSSON; JACOBSSON, 2002).

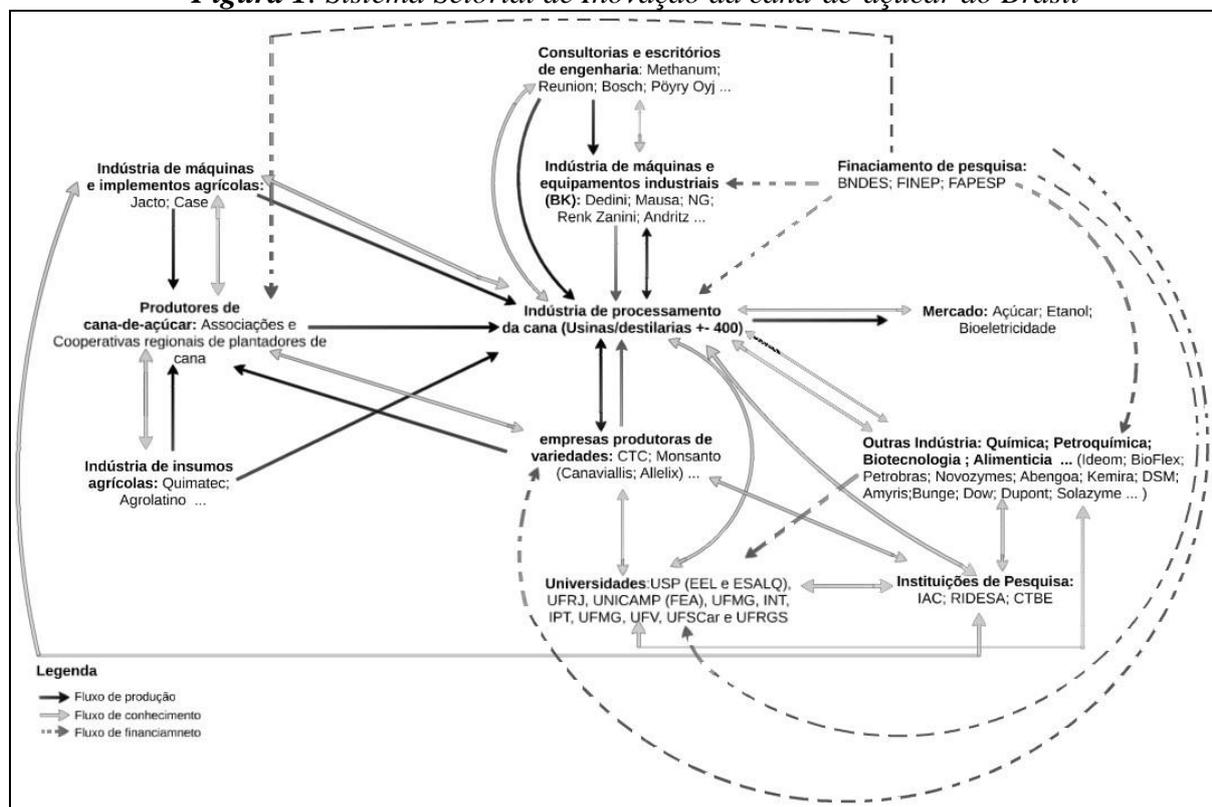
A função principal de um sistema de inovação é gerar, difundir e utilizar as tecnologias que têm valor econômico. Estes atores (empresas e instituições), para cumprir com tal função,

⁵ Quando nos referimos ao nível macro pensamos nas condições gerais que dizem respeito ao processo de desenvolvimento das nações, com isso, o recorte está sobre a dinâmica do progresso técnico, ou seja, incorporamos e identificamos características gerais do Sistema Nacional de Inovação.

devem apresentar capacidades específicas que contribuam com a formação do sistema e, conseqüentemente, com o avanço da tecnologia (CARLSSON et al, 2002).

A figura 1 ilustra as dimensões atuais do SSI de cana-de-açúcar do Brasil, pontuando as principais categorias de atores que conformam essa realidade complexa, com destaque para empresas e instituições que fazem parte do sistema. Ademais, o esquema gráfico objetiva dar contornos das mudanças provocada pelas dinâmicas que serão pontuadas ao longo do trabalho.

Figura 1. Sistema Setorial de Inovação da cana-de-açúcar do Brasil



Fonte: Elaboração própria.

A firma, principal elemento do SSI, é responsável pela transformação dos *inputs* em *outputs*. Ela é caracterizada por processos específicos de aprendizagem, competências e organizações (rotinas) os quais conduzem suas ações, suas expectativas e os seus objetivos. A partir destes princípios, as firmas interagem com os demais agentes do SSI, tais como universidades, institutos de pesquisa, agências regulatórias, consumidores, fornecedores entre outros. Os agentes interagem através de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando, e assim estabelecem networks (redes de inter-relação) que criam canais e mecanismos de aprendizado interativo, elemento essencial para o processo de inovação (LUNDVALL, 2009; JOSEPH, 2009).

A figura 1 esboça essa dinâmica complexa, com os principais elementos que compõe o SSI da cana-de-açúcar do Brasil e a direção dos fluxos de relações existentes nesse ambiente. A principal categoria de atores deste sistema é a indústria de transformação da cana-de-açúcar (usinas/destilarias), as quais apresentam o maior nível de interação por concentrarem a atividade *core* deste segmento, ou seja, a produção do açúcar, do etanol e da bioeletricidade. Vale destacar que os fluxos de conhecimento sempre apresentam uma via de “mão dupla”, ao passo que, quando estes atores interagem, ambos aprendem.

Segundo Lundvall (1992), o recurso fundamental da economia é o conhecimento; por conseguinte, o mais importante processo que ocorre no interior do SSI é o aprendizado, o qual caracteriza-se por ser um processo interativo e social, que deve ser entendido em um contexto institucional e cultural. Portanto, a história importa, assim como são relevantes às especificidades

da produção e da tecnologia. A constituição do SSI da cana-de-açúcar se dá pela estabilização dos atores na atividade *core* e pelas relações de interação desempenhadas pelo ato da produção, da difusão e do uso de um novo e, economicamente útil conhecimento. Como resultado, os conjuntos de fluxos desenhados na figura 1 tornam-se decorrentes das atividades sociais que envolvem a interação entre as pessoas e as instituições, um processo dinâmico caracterizado por *feedbacks* positivos e pela sua reprodução ao longo do tempo.

Além da abordagem de SSI, este artigo se utiliza dos conceitos de *technology-push-demand-pull* (TPDP) para ordenar as políticas públicas para o desenvolvimento do etanol brasileiro. Tais conceitos se traduzem em instrumentos analíticos robustos para interpretar o desenvolvimento de novas tecnologias (CHINDAMBER; KON, 1993; WALZ et al, 2008; NEMET, 2009). As políticas voltadas para o *technology-push* incluem ações dadas pelo governo que reduzem o custo para as empresas desenvolverem inovações, incluindo subsídios para estimular a P&D de novas tecnologias.

As políticas de *demand-pull* são ações governamentais que aumentam os pagamentos para as inovações bem-sucedidas, estimulando o desenvolvimento do mercado da nova tecnologia (CHINDAMBER; KON, 1993; WALTZ, 2008; NEMET, 2009). Especificamente, utiliza-se este referencial para ampliar a compreensão da racionalidade dos instrumentos regulatórios e institucionais colocados em prática pelo Governo Federal brasileiro na metade da década de 2000.

3. Formação e as principais características do SSI da cana-de-açúcar até os anos 2000⁶

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil teve início no século XVI, passando por intensas transformações quantitativas e qualitativas ao longo tempo. Alguns pontos de inflexões impulsionaram o desenvolvimento desta atividade, largamente responsáveis pela expansão da produção de açúcar e/ou de etanol no interior das unidades produtivas e consolidação deste setor no Brasil, tais como: a lei emitida pelo Governo Imperial sobre a modernização dos engenhos de açúcar (1875); o estabelecimento do Instituto do Açúcar e Alcool (IAA) de 1933 a 1990, o Programa Nacional do Alcool (1975 a 1989) e a introdução dos automóveis *flex-full* (2003) (OLIVEIRA FILHO, 2013; SAFLATE, 2011; VIEIRA, 2007; SZMRECSÁNYI, 1991; LEITE, 1990).

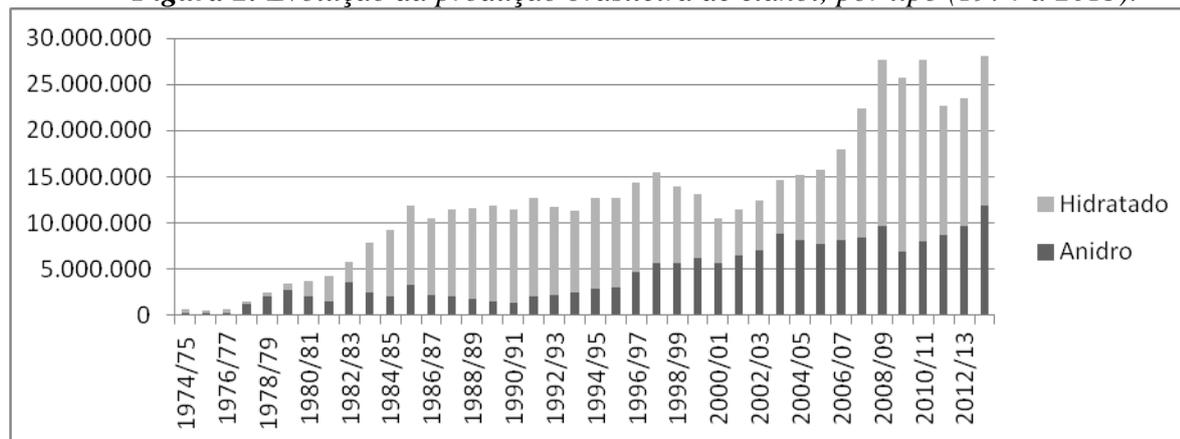
Como decorrente deste processo, o SSI da cana-de-açúcar se configura como um elemento importante da conformação territorial, política e social do país, com decisiva influência na formação de importantes regiões, como do interior de São Paulo e da Zona da Mata nordestina.

O quadro histórico e normativo do SSI sucroalcooleiro é a porta de entrada da compreensão desta realidade. O setor se caracteriza por forte participação do Estado no estabelecimento da produção do etanol já desde o início da década de 1930, a qual se intensifica a partir da década de 1970 com o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), o mais importante marco regulatório e ponto de inflexão na produção do etanol no Brasil (vide figura 2).

O Proálcool, instituído pelo Decreto nº 76.593 de 14 de novembro de 1975, teve a finalidade de expandir a produção do álcool etílico anidro, viabilizando seu uso como matéria-prima para a indústria química e como combustível adicionado à gasolina. Por meio desse programa, o país pode substituir parte do combustível derivado do petróleo e, além disso, ampliar as possibilidades do setor sucroalcooleiro explorar a economia de escopo, deslocando parte da produção de açúcar para a produção de etanol, utilizando parte da capacidade produtiva ociosa das usinas e destilarias anexas (CGEE, 2009; SZMRECSÁNYI, 1991).

⁶ O recorte temporal é uma adoção metodológica apenas, que se justifica em termos explicativos, mas na realidade concreta trata-se de um processo contínuo e de difícil precisão na periodização, já que existem eventos e fenômenos que perpassam essa escala temporal.

Figura 2. Evolução da produção brasileira de etanol, por tipo (1974 a 2013).



Fonte: adaptado de MAPA, 2013.

Os anos que se seguiram à implantação do Proálcool podem ser resumidos em cinco fases (OLIVEIRA FILHO, 2013; SAFLATE, 2011; CGEE, 2009; SZMRECSÁNYI, 1991; LEITE 1990):

- 1ª fase – 1975/1978: uso da mistura de 20% (E20); implantação de destilarias anexas e envolvimento da indústria automobilística para a produção de carros a etanol; aumento da produção de etanol; expansão da área plantada a partir de subsídios federais aos agricultores;
- 2ª fase – 1979/1985: produção de carros movidos a álcool hidratado, ou dedicados exclusivamente a esse combustível; implantação de destilarias autônomas; continuidade na produção do etanol no Brasil; processo de modernização e expansão da capacidade de transformação das usinas, a partir da introdução de novas e ampliadas máquinas e equipamentos fornecidos pela indústria nacional de bens de capital; amplia-se a curva de aprendizado do setor (*learning by doing e learning by using*);
- 3ª fase – 1985/1988: aumento do volume de etanol hidratado consumido, com a elevação da frota de carros movidos a álcool; criação do primeiro protótipo do motor *flex*;
- 4ª fase – 1988/2001: preços favoráveis do açúcar no mercado internacional; fim dos subsídios ao setor; fim da regulamentação e do estímulo ao setor; falta de etanol combustível nos postos brasileiros; aumento da importação do etanol; baixa credibilidade do etanol hidratado como substituto da gasolina (visão do consumidor);
- 5ª Fase atual – a partir de 2002: elevação dos preços do petróleo; preocupação global com as mudanças climáticas; em 2003 a inserção do carro *flex* no mercado nacional; e, a partir de 2006, a retomada da elaboração/criação de diversos planos e projetos em nível de Governo Federal relacionados ao etanol, tais como o PAISS e o PRORENOVA.

Os fatos, os acontecimentos e os processos pontuados acima evoluíram de maneira atrelada as condições históricas do setor agrícola nacional, à medida que o processo de modernização da agricultura avança no território nacional, ao longo da segunda metade do século XX, o setor sucroalcooleiro também se moderniza e emprega ações no sentido de fortalecer suas bases produtivas, conformando-se em um Complexo Agroindustrial. Isto pressupõe a articulação entre os agentes produtivos e o sistema financeiro - regulação financeira através dos investimentos e das linhas de créditos dispostas pelos bancos públicos - situação que fica explícito no Proálcool, com linhas de crédito especiais para a ampliação das lavouras.

O outro ponto dessa modernização é a ampliação da base científica do setor, dada principalmente na fase agrícola do processo produtivo, por meio das pesquisas de melhoramento genético das plantas e do tratamento dos resíduos. Os agentes destes processos foram às instituições públicas como a Embrapa, as Universidades, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) e os Laboratórios do Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana de Açúcar). Como agente privado tem-se os esforços do

Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Com isso, o segmento sucroalcooleiro consolida-se nos padrões da Revolução Verde⁷.

Destaca-se que neste processo intensifica-se a forte relação entre as usinas e as indústrias de base (insumos agrícolas e bens de capital). A dinâmica traçada por esses elos da cadeia produtiva impõe ganhos de produtividade na agroindústria canavieira. Para constatar essa situação basta observar os dados de produção de açúcar e etanol na safra de 1975/1976, que foram, respectivamente, de 5.887.832 toneladas e 594.985 m³ comparados às 19.380.197 toneladas e 13.077.765 m³ da safra de 1999/2000 (MAPA, 2013).

Historicamente o SSI apresenta uma atividade investigativa agrônômica forte, caracterizada por um contato próximo entre a pesquisa acadêmica e a firma. A pesquisa feita na fase agrícola do SSI tem origem em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar como, por exemplo, a constituição do Planalsucar. Por sua vez, na fase industrial, o fluxo de conhecimento ocorre principalmente pelos processos de *learning by doing*, *learning by using* e *learning by interacting*, devido à maturidade da tecnologia de 1ª geração. É também neste estágio da produção que as inovações voltam-se para as adaptações baseadas nos conhecimentos tácitos acumulados ao longo do tempo pelas empresas de bens de capital do setor (OLIVEIRA FILHO, 2013).

Em termos tecnológicos a fase agrícola se estabelece como um conjunto de iniciativas mais amplas e com relações mais intensas entre a produção e o conhecimento sistematizado, balizado pela engenharia agrônômica, pela química e pela biologia. Desta forma, podemos classificar que o processo de inovação mais significativo deste contexto é a prática da seleção das novas variedades, as quais buscam aumentar o potencial de adaptação dessas variedades às condições edafoclimáticas das novas regiões de expansão da cana-de-açúcar (Noroeste Paulista e o Centro-Oeste brasileiro).

A produção do etanol e do açúcar é calcada em tecnologias já maduras e de domínio público, aparatos tecnológicos similares aos da Segunda Revolução Industrial, com isso, seus ganhos foram incrementais, dados a partir da ampliação da escala dos equipamentos e do melhoramento da eficiência dos mesmos, conseguida, principalmente, pela prática do seu uso e da sua produção.

Antes do Proálcool, a produção de etanol no Brasil era obtida, essencialmente, do chamado álcool residual, que tinha como matéria-prima o melaço, ou mel final, subproduto da fabricação do açúcar. A partir de 1976, começaram a surgir as chamadas destilarias autônomas, que produziam somente etanol a partir do caldo de cana. Em paralelo, foram sendo instaladas destilarias anexas às fábricas de açúcar existentes. Com o crescimento das exportações de açúcar, as destilarias autônomas foram, na sua maioria, convertidas em usinas de açúcar e etanol. Em resumo, o etanol é fabricado pelas usinas com destilarias anexas,

Atualmente o processo de fabricação do etanol consiste na fermentação em batelada alimentada com reciclo de fermento, que representa 80% do total (CGEE, 2009). Trata-se de um processo que teve início no período do Proálcool, nos anos 1970, e que envolve: 1) a recepção da matéria-prima na usina; 2) o preparo da cana (corta e retirada dos resíduos vindos do campo); 3) a moagem da cana com o objetivo de extrair o caldo; 4) tratamento e processamento do caldo, em que parte se destina a fábrica do açúcar e uma fração destina-se a destilaria para a fabricação do etanol; 5) disposição de efluentes; 6) a estocagem dos produtos finais.

4. Novos elementos que alteram sua estrutura e sua organização setorial nos anos 2000

A década de 1990 pode ser vista como o momento que prenuncia a reorganização setorial, com o desmanche das antigas institucionalidades existentes. Destaca-se o fim do

⁷ Modelo de modernização da produção agrícola iniciado no início do século XX, dada principalmente, através do uso intensivo de insumos e maquinário agrícola, visando ampliar a produtividade. Fato característico deste processo é atrelar o pacote tecnológico a um grupo específico de serviços financeiros. Para mais informações ver Elias (2007).

Proálcool, o fim dos subsídios concedidos aos produtores, a estagnação da produção do etanol, a queda dos preços internos do álcool e, sobretudo, a desarticulação e extinção de importantes órgãos/instituições relacionadas ao setor, como o Instituto Açúcar e Alcool (IAA) e o Planalsucar que sustentavam o avanço produtivo e tecnológico do setor. Gera-se assim instabilidade no que se refere às novas perspectivas, caracterizando um momento recessivo.

Já nos anos 2000 emerge uma nova dinâmica no setor sucroenergético, caracterizada por um novo dinamismo a partir da reintrodução no mercado nacional de veículos movidos a álcool, conforme exposto na figura 2. Contrariamente o observado no início da década de 1980, os veículos lançados apresentavam uma nova tecnologia, os motores *flex-fuel* ou bicombustível, que possibilita ao proprietário escolher o tipo de combustível a ser utilizado (gasolina misturada com etanol anidro ou etanol hidratado em qualquer proporção) no momento do abastecimento. Dá-se assim impulso a um novo “ciclo” de expansão, assegurado pela possibilidade do consumidor abastecer com gasolina (E 25) e/ou com etanol hidratado.

Tal situação é favorecida e impulsionada pelo Governo devido à alta dos preços do barril de petróleo na década de 2000: a média de 2012 foi de US\$ 118,72 o barril de petróleo importado, muito acima do valor do ano de 2000, que era de US\$ 30,47 o barril de petróleo (ANP, 2013). Assim, mais uma vez, o país utiliza-se do etanol como um instrumento de controle da balança comercial.

O Brasil se apresenta como o maior produtor de açúcar e o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás dos EUA, com a produção para a safra de 2013 de 50.391.000 m³ (RFA, 2014). No Brasil, a safra de 2012 contava com 401 unidades processadoras de cana-de-açúcar, a produção de cana-de-açúcar na safra 2013/2014 foi de 658.697.545 toneladas, a produção de etanol combustível foi de 28.012.284 m³. Com essa produção de etanol, o Brasil supera a sua marca histórica de 27.681.239 m³ de etanol na safra de 2009/2008 (MAPA, 2014).

Outra mudança significativa, em especial a partir de 2006, é a emergência de um amplo conjunto de leis e planos que fazem referência direta ou indireta ao etanol. Tais políticas buscam consolidar o mercado através da estabilidade da oferta de etanol no mercado nacional sanando um problema histórico do setor, do estoque e do fluxo contínuo da oferta do produto. Outro ponto, fortemente impulsionado pelos instrumentos regulatórios, é o estímulo ao avanço tecnológico do setor, buscando superar desafios tecnológicos, tais com o etanol de 2ª geração, a produção de combustíveis de maior conteúdo energético (diesel, gasolina, butanol e querosene de aviação) e a produção de intermediários químicos com aplicações industriais diversas (polietileno). Dada tais demandas, o Brasil passa a criar instrumentos institucionais para estimular e financiar programas de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) nas empresas e nas instituições de ensino e pesquisa.

O conjunto dos instrumentos regulatórios estabelecidos nesse período pode ser compreendido a partir dos princípios que formam os conceitos de *technology-push-demand-pull* (TPDP) na literatura neoschumpeteriana. Políticas voltadas para o *technology-push* compreendem ações que visam a redução do custo para as empresas desenvolverem inovações; mais ainda, inclui subsídios para estimular a P&D de novas tecnologias. Tais políticas proporcionam condições para os investimentos em PD&I e, sobretudo, são ações diretas do Governo para o desenvolvimento da tecnologia, através dos investimentos diretos em PD&I; em alguns casos o Governo é o financiador e o responsável por executar os projetos de pesquisa (CHINDAMBER; KON, 1993; WALZ, 2008; NEMET, 2009). Exemplos de ações que compreendem tais funções são: o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (PNB); o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007-2010 (PACTI); a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012–2015; o PAISS programa conjunto de apoio a inovação feito pelo BNDES e pela FINEP; PAISS Agrícola (BNDES e FINEP); e o FINAMEs BNDES.

Por sua vez, políticas de *demand-pull* aumentam os pagamentos para as inovações bem-sucedidas, estimulando o desenvolvimento do mercado da nova tecnologia (CHINDAMBER; KON, 1993; WALZ, 2008; NEMET, 2009). Trata-se de ações governamentais destinadas a

fortalecer as condições de mercado. Isto inclui medidas para promover o estímulo e a continuidade do mercado e a sua adequação aos novos desafios, criando condições para que os agentes envolvidos no SSI da cana-de-açúcar possam desenvolver as suas atividades de competência, ou seja, desenvolver e comercializar novas tecnologias para a cadeia produtiva do etanol. Como políticas de *demand-pull* têm-se: o Plano de Energia Brasil 2030 (2006); Plano Decenal de Expansão de Energia - PED 2022 (2013); Regulação da mistura etanol/gasolina; Medida Provisória nº 613/2013 (DOU 08/05/2013); Medida Provisória nº 615/2013 (DOU 20/5/2013); Marco regulatório do etanol Lei Federal 12.490/2011; BNDES Prorenewa; e o Plano Plurianual da Agricultura (PPA) 2012-2015.

A tabela 3 traz uma síntese das principais iniciativas do Governo Federal do período de 2006 à 2014, pontuando os principais objetivos destes instrumentos regulatórios, os quais encontram-se expostos segundo a classificação *technology-push-demand-pull (TPDP)* de Chindamber & Kon (1993) e Nemet (2009).

A presença de vários órgãos distintos envolvidos na construção de ambiente institucional para o desenvolvimento do SSI da cana-de-açúcar brasileiro mostra que se trata de um segmento econômico relevante e estratégico para o desenvolvimento nacional, envolvendo quatro Ministérios diferentes [Ministério de Minas e Energias (MME); Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)], cada um buscando desenvolver dentro do sistema um elemento importante na cadeia produtiva e tecnológica do etanol. Fato importante para a relação entre o progresso técnico e o desenvolvimento econômico, já que segundo Walz et al. (2008), a regulação é especialmente importante para os sistemas técnicos-econômicos que apresentam desafio triplo, como *spillovers* no P&D, proteção ao meio-ambiente, e superação de mercados monopolistas (combustíveis fósseis).

Com isso, o papel do Estado não apenas se limita a ser o financiador para o desenvolvimento de capacidades, mas também, atua como um catalisador das mudanças, através da introdução de mudanças regulatórias, as quais criam "janelas de oportunidades". O trabalho de Guennifa & Ramani (2012) demonstra que mudanças endógenas em política de Estado podem conseguir o mesmo efeito que mudanças na trajetória tecnológica provocada por uma inovação radical. Em outras palavras, alterações regulatórias radicais podem abrir "janelas de oportunidade" e gerar externalidades positivas, de uma forma muito semelhante às descontinuidades tecnológicas.

Tabela 3. Políticas públicas implementadas pelo Governo Federal, de 2006 à 2014

Políticas públicas <i>Demand-pull</i>	Objetivos	Políticas públicas <i>Technology-push</i>	Objetivos
Plano de Energia Brasil 2030 (2006)	Fornecer os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo.	Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (PNB)	Organizar e desenvolver propostas de P&D e de transferência de tecnologia para garantir a sustentabilidade e a competitividade das cadeias de agroenergia; Estabelecer metas para o desenvolvimento do mercado dos biocombustíveis, visando garantir a participação dessas fontes alternativas no Balanço Energético Nacional (BEN); Estabeleceu arranjos institucionais para estruturar a pesquisa nacional; Comoditização do etanol;
Plano Decenal de Expansão de Energia - PED 2022 (2013)	Têm a função de produzir e divulgar os dados sobre a produção/demanda atual e futura do setor de energia; Auxilia no planejamento energético em nível de Estado e no nível de empresas, pois os Planos Decenais são publicados anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) desde 2007.	Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007-2010 (PACTI)	Fomentar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação aplicada ao setor sucroalcooleiro, visando tornar mais eficiente a produção, o processamento e o uso de co-produtos da cana-de-açúcar, em especial, o álcool combustível, por isso foca no desenvolvimento de novas tecnologias e rotas para produção de etanol; Direcionamento das linhas de pesquisa através do estabelecimento de metas e objetivos dentro do setor; Recursos pré-determinados ao longo do período do plano de ação em C,T&I
BNDES Prorenova (2011)	Aumentar a produção de cana de açúcar no país, por meio do financiamento à renovação e implantação de novos canaviais. Visando ampliar a oferta de matéria prima para a produção de etanol. Os recursos são destinados a pessoas jurídicas que exerçam atividade produtiva relacionada ao plantio de cana-de-açúcar, inclusive usinas e destilarias, cooperativas de produção, cooperativas de produtores e entidades societárias.	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015	Elege alguns programas prioritários, que envolvem as cadeias importantes para impulsionar a economia brasileira, dentre os vários segmentos apresenta um conjunto pontual de ações para o etanol, visando ampliar os efeitos iniciados do PACTI, ou seja, continuar o apoio a pesquisas na área de produção de etanol.
Medida Provisória n° 613/2013 (DOU 08/05/2013)	Tem como meta estabelecer um novo padrão de concorrência entre o etanol e a gasolina, através da desoneração fiscal sobre o produto.	FINAMEs	Produto financeiro do BNDES, o qual faz parte dos desembolsos da Área de Operações Indiretas (AOI), com foco no financiamento da produção e a aquisição de máquinas e equipamentos novos de fabricação nacional através do intermédio de instituições financeiras credenciadas ao banco.
Medida Provisória n° 615/2013 (DOU 20/5/2013)	Estabelecem incentivos e desonera a carga de impostos dos produtores localizados na Região Nordeste, uma maneira de promover minimamente condições mais favoráveis à produção regionalizada do etanol.	PAISS (BNDES e FINEP) -2011	Fomentar projetos que visem o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa a partir da cana-de-açúcar; Busca a obtenção de produtos de maior valor agregado, que podem ser obtidos a partir da biomassa da cana.
Marco regulatório do etanol Lei Federal 12.490/2011	Reduzir as incertezas e permitir melhor regulação do mercado, atuando no sentido de aumentar a estabilidade do setor no que se refere aos níveis de: preços, oferta e relação risco-retorno; Estabelece definições legais aos termos referentes aos biocombustíveis, bem como, de suas unidades produtivas.	PAISS Agrícola (BNDES e FINEP) -2014	Elevar a quantidade de investimento e de apoio a projetos de risco tecnológico e fortalecer as relações entre empresas, ICTs (Instituições de Ciência e Tecnologia) e o setor público; Os esforços de PD&I destinam-se a parte agrícola do processo de produção de etanol.
Regulação do CNPE	Determina a % de mistura de etanol anidro a gasolina		

Elaboração própria.

Juntamente com esse processo de expansão produtiva e de reorganização institucional, ocorre na indústria do etanol um processo de internacionalização, o qual provocou direta e indiretamente, a centralização e a concentração da indústria (BENETTI, 2009). Essa concentração se deu pela compra e pelas fusões de empresas nacionais com empresas estrangeiras ou entre as nacionais, as quais acompanharam os grupos internacionais.

As corporações multinacionais passaram, desde o ano 2000, a integrar os negócios da cadeia sucroalcooleira brasileira. A integração assumiu várias formas, das mais tradicionais como aquisições e investimentos diretos (construções de plantas e de terminais de exportação e exploração de canaviais) até os não convencionais, ou seja, aquelas relacionadas a arranjos de cooperação interfirmas, do tipo alianças estratégicas, *joint-ventures* e sociedades e acordos de distribuição formais. Os principais grupos estrangeiros que passaram a operar em solo brasileiro são: Adecoagro, de George Soros; Cargill (EUA); L. Dreyfus (França), Tereos (França); Noble (Cingapura), Infinity Bio-Energy (RU); ADM (EUA); e Evergreen (RU) (BENETTI, 2009).

Com isso, os 10 maiores grupos do setor que eram responsáveis por 25,7% do total da moagem de cana-de-açúcar processada na safra 2004/2005, passa já na safra de 2006/2007 a ser responsável por 30% da safra e na safra de 2011/2012 responde por 43% da cana processada. Além disso, promoveu o aumento das escalas de produção, diversificação da estrutura industrial e alavancagem do mercado externo de biocombustíveis somado a um movimento de centralização patrimonial e de associação com o capital estrangeiro; e tudo isso parecendo fazer parte de uma estratégia governamental de apoio à reestruturação da indústria de cana-de-açúcar, já que em vários negócios de fusões e associações contou com recursos do BNDES (BENETTI, 2009; BASTOS, 2012).

A dinâmica, exposta até aqui, indica que avanços ocorreram no SSI, forçando sua modificação, complexificando suas estruturas de produção, concorrência e de inovação, uma vez que a corrida tecnológica da 2ª geração foi deflagrada em nível internacional e seus efeitos têm impactos diretos nos negócios do setor.

5. O desafio de compor uma nova base de conhecimento para o SSI da cana-de-açúcar

A transição da 1ª geração para a 2ª geração significa uma importante ruptura tecnológica que se encontra em gestação no interior do SSI da cana-de-açúcar do Brasil. O desenvolvimento da tecnologia de etanol de 2ª geração se faz necessário diante das limitações impostas na produção de etanol de 1ª geração em algumas regiões do globo. Dentre os motivadores que forcem o desenvolvimento dessa tecnologia, três se destacam: 1) a necessidade de ampliar a produtividade e a produção da cadeia produtiva do etanol; 2) diminuir o exclusivismo dos derivados de petróleo no abastecimento da frota rodoviária mundial; e 3) criar um destino rentável para parte dos “resíduos” da produção do etanol de primeira geração.

Na cultura da cana, a energia está distribuída da seguinte forma: 31,4% em sacarose, 34,7% no bagaço e 33,8% nas pontas e nas folhas (GOLDEMBERG, 2010). Logo, o desenvolvimento de tecnologias que convertam materiais lignocelulósicos em bicomcombustíveis ou em outros produtos é de grande importância para a continuidade do programa bioenergético brasileiro.

O objetivo da tecnologia de 2ª geração é realizar a produção de etanol a partir da biomassa, material vegetal formado pela celulose, pela hemicelulose e pela lignina.

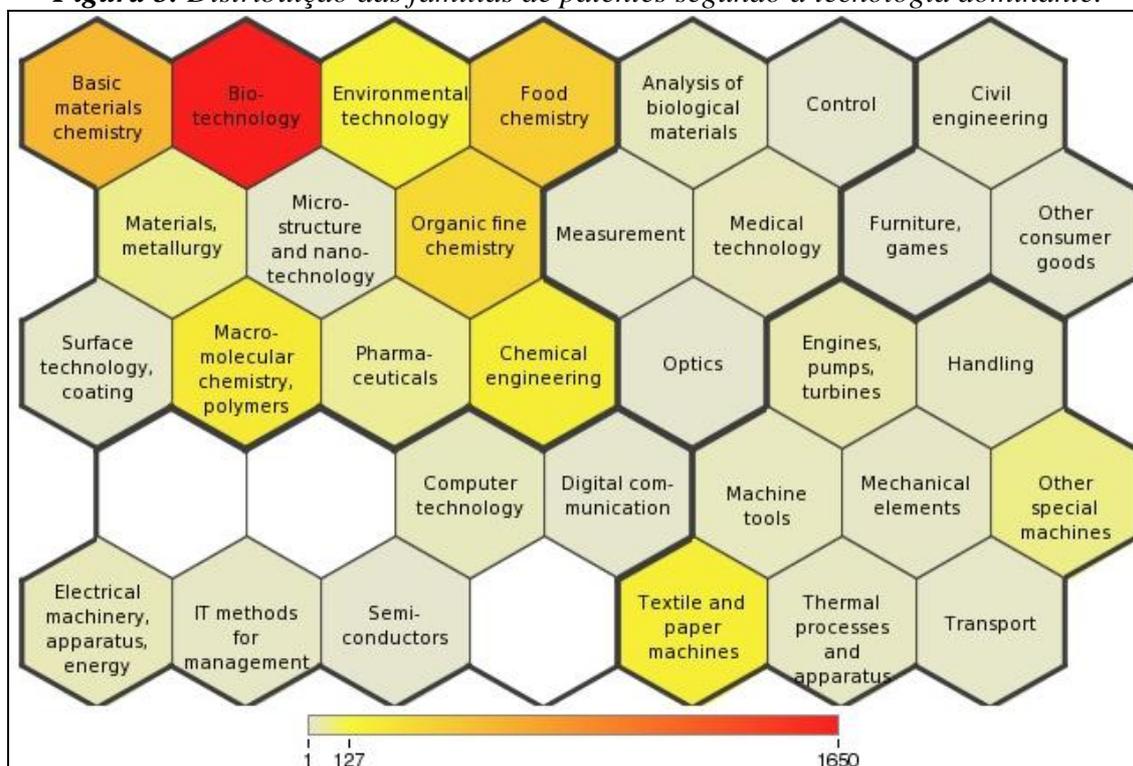
Esta matéria-prima pode ser originada dos resíduos agroflorestais ou por florestas energéticas, as quais são especialmente cultivadas para este fim, como o caso da cana-de-açúcar, do sorgo sacarídeo, do milho entre outros (LEITE; LEAL, 2007). Ademais, esta tecnologia elevaria a produção do biocombustível sem aumentar a área plantada de biomassa, já que utilizaria o material lignocelulósico.

O processo visa ter acesso aos açúcares contidos na celulose, ou seja, a técnica consiste em aproveitar os açúcares nas moléculas da sacarose que estão protegidos por uma “espessa” camada de fibras. Para isso, a técnica baseada na hidrólise ou na gaseificação deve quebrar as cadeias de polissacarídeos, que unem as moléculas da parede celular das plantas.

Esta tecnologia realiza o desmonte da parede celular, pois a estrutura dos vegetais envolve a celulose em camadas compostas de uma combinação da lignina e da hemicelulose (estrutura protetora da célula), que se desenvolveu ao longo de centenas de milhões de anos exatamente para protegê-la de agentes externos.

Através da busca de patentes relacionadas às tecnologias do etanol de 2ª geração podemos perceber que as tecnologias dominantes estão correlacionadas a setores de intensa atividade em P&D e com forte relação com a ciência (vide figura 3). Das 1.865 famílias de patentes analisadas, 1.650 estão classificadas como biotecnologia; 574 classificam-se como matérias de base química; 329 são química orgânica fina; 210 são química macromolecular e polímeros; 168 são classificadas como tecnologias ambientais. Outro fato de destaque é que apenas 13 são classificadas como máquinas e ferramentas e 59 como outras máquinas especiais. Isso indica que a base de conhecimento vem se alterando para a química, para biologia no lugar da metalurgia e da mecânica, conhecimentos chaves no processo de expansão da produção de etanol ao longo o século XX.

Figura 3. Distribuição das famílias de patentes segundo a tecnologia dominante.



Fonte: Questel Orbit, 2015.

Este movimento indica alteração da rota tecnológica do etanol combustível. Analisando conjuntamente os dados expostos na figura 3 e conforme afirmam alguns especialistas, a hidrólise enzimática é o processo tecnológico mais promissor (LEAL & LEITE, 2007). A hidrólise é uma reação química que tem por objetivo quebrar as cadeias de carbono. Ela ocorre a partir da ação dos microorganismos (fungos e bactérias) e possibilita a quebra das moléculas devido à adição de água; nesse caso a água tem acesso às moléculas pela dissolução das fibras que compõem a hemicelulose e a lignina. As maiores expectativas para a viabilização do etanol celulósico ao longo prazo estão depositadas na possibilidade de utilizar a “maquinaria bioquímica” de microorganismos (fungos e bactérias) para “desmontar” a parede celular. O problema é que, assim como os fungos desenvolveram estratégias para invadir a parede celular, as plantas também co-evoluíram para sofisticar seus mecanismos de defesa. Assim, embora haja fungos capazes de degradar a parede celular vegetal, ela é bastante recalcitrante à degradação (BUCKERIDGE; SANTOS; SOUZA, 2010).

A biotecnologia amplia consideravelmente a variabilidade disponível de métodos para a produção do etanol, não em relação à fermentação que continua basicamente a mesma, mas na forma e na quantidade de obtenção de açúcares da biomassa que serão disponíveis para a etapa seguinte, a fermentação. Assim, a fase industrial do setor sucroalcooleiro passa por uma reestruturação na sua base de conhecimento, a qual possibilita, em última instância, ampliar sua capacidade produtiva através da utilização de novos métodos de pré-tratamento da biomassa, dados pela engenharia genética, da química orgânica fina e de outras subáreas do conhecimento das ciências naturais.

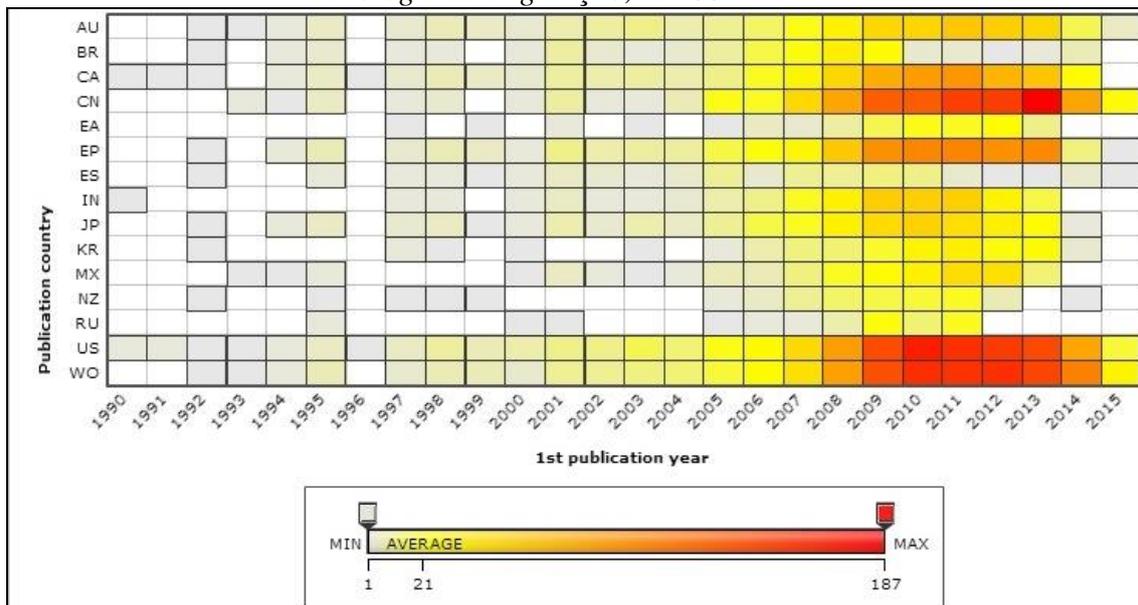
Os esforços tecnológicos do etanol de 2ª geração via hidrólise enzimática aparecem com destaque a partir de meados da década de 1990, mas atingem seu pico de depósitos de patentes no ano de 2013. Com isso, esse processo se mostra muito recente e com resultados incertos em longo prazo (vide figura 4). Mas é certo afirmar que dentro da lógica de expansão das energias renováveis, tal rota tecnológica se coloca como promissora e viável, uma vez que concentra a maior quantidade de esforços, sendo priorizada em relação às suas concorrentes: a hidrólise ácida e a gaseificação⁸.

Observando a figura 4 percebe-se que os principais locais de patenteamento são os centros que se relacionam com a produção e consumo do etanol, ou locais que apresentam empresas multinacionais fortemente ligadas aos conjuntos tecnológicos que se destinam a compor a rota tecnológica da 2ª geração. Destaca-se também, centros tradicionais de comercialização de novas tecnologias, os quais normalmente aparecem nas buscas independentemente do tipo de tecnologia que se busca (*World Intellectual Property Organization (WO)*; *Eurasian Patent Organization (EA)*; Japão(JP); Coreia do Sul (KR) e EUA (US)).

Além da distribuição espacial dos depósitos, o mais relevante é perceber a intensidade deste esforço e a atualidade da questão, uma vez que os pedidos se concentram na década de 2000, ainda mais fortemente pós a crise de 2007/2008, onde grades empresas e segmentos do mercado financeiro buscaram novos negócios, as energias renováveis e a biotecnologia aparecem como segmentos de aportes destes recursos.

⁸O processo de hidrólise ácida consiste em utilizar um ácido forte para atacar as ligações glicosídicas entre os monossacarídeos de um polissacarídeo, assim, realizando o desmonte das células para acessar os monossacarídeos que serão usados para fermentação. A Gaseificação consiste em transformar a biomassa em biogás através do processo de conversão, ou seja, passar a matéria do estado sólido para o estado gasoso, a qual é posteriormente transformada em etanol e/ou em outros líquidos (Gás de Síntese).

Figura 4. Os 15 lugares com mais de depósitos de patentes no mundo relacionadas à tecnologia de 2ª geração, de 1990 a 2015.



Fonte: Questel Orbit, 2015.

O Brasil, mesmo figurando como um dos principais locais de interesse em proteger a tecnologia de 2ª geração, é apenas o 12ª no ranking de patenteamento, atrás de países sem tradição no setor sucroalcooleiro, como a Coreia do Sul, Japão e Canadá. O Brasil (BR) apresenta 145 depósitos de famílias de patentes contra 1.110 dos EUA (US), 1.028 da China (CN), 554 do Canadá (CA); 395 Austrália (AU); 303 do Japão; 280 da Índia (IN); 199 do México (MX) e 156 da Coreia do Sul.

O panorama apresentado pela figura 4 soma-se aos dados expostos na figura 5, indicando a baixa expressão do Brasil no cenário mundial em relação ao desenvolvimento de tecnologias de 2ª geração. O protagonismo do Brasil se limita em ser um *locus* de consumo das tecnologias desenvolvidas em outros centros, pois seu parque produtivo é relevante em quantidade (número de usinas) e em perspectiva de expansão futura e, ainda, tem-se plena clareza que o Brasil é um importante mercado consumidor de etanol e de outros produtos derivados da biomassa (açúcar, bioplástico, biobutanol, etanol para avião etc.).

Os dados levantados apontam para um conjunto de multinacionais e instituições de pesquisa estrangeiras fortalecendo por meio de patentes o seu próprio mercado de tecnologias. Isto tem ocorrido em detrimento da participação de empresas e instituições haja vista que tais patentes são feitas por atores que estão fora do Brasil ou por suas subsidiárias que se encontram em território nacional. O efeito da dependência continua, pois as atividades de P&D são feitas fora das fronteiras nacionais.

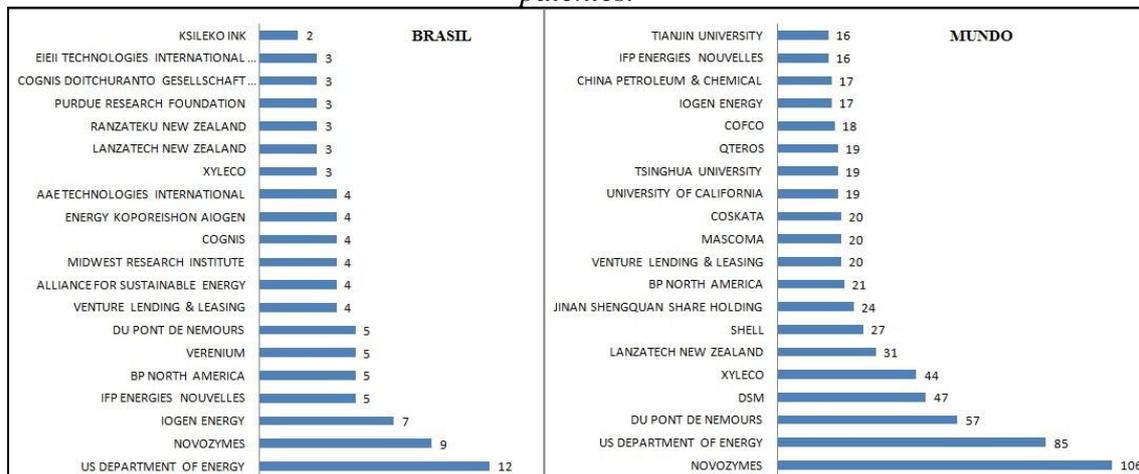
O que se vê na prática no SSI da cana-de-açúcar é o mesmo efeito que se expressa em nível de Sistema Nacional de Inovação, ou seja, um fluxo intenso entre filial e matriz, não só de conhecimento, mas de transferência de riqueza por meio da contratação de “serviços especializados”, da compra de máquinas e equipamentos e de remessas de lucros. Com isso, a dependência tecnológica se amplia mesmo se tratando de um setor em que o Brasil apresenta tradição e grande expressão na produção e na comercialização dos produtos, pois a mudança de rota tecnológica exige uma intensa estrutura produtiva baseada nas ciências biológicas e químicas, as quais não estão

presentes no Brasil. Acrescenta-se a isso o descolamento da estrutura de C&T com as demandas do tecido produtivo nacional.

De tal modo, os principais *assignees* no Brasil e no mundo são praticamente os mesmos (vide figura 5). Estes são *players* de atuação mundial no desenvolvimento, na produção e na comercialização de tecnologias, são multinacionais que atuam em diversas áreas do conhecimento e em vários ramos da indústria, como a indústria química, a indústria biotecnológica e a indústria petroquímica, a saber: Du Pont, DSM, Verenum, Cognis, Novozymes, Iogen, British Petroleum, Shell, Basf, Mascoma entre outras.

Dentre os 100 maiores depositantes de famílias de patentes no Brasil têm-se apenas 10 empresas ou instituições nacionais. Destas, se destacam o CTC e a Petrobras com 2 famílias de patentes cada uma; também aparece com 2 famílias de patentes a Universidade Federal do Rio de Janeiro. No geral as principais depositantes são de origem estrangeira. A consequência é que empresas e instituições brasileiras deixam de se configurar como agentes históricos dessa mudança técnica vivenciada em escala global, vide figura 4 e figura 5.

Figura 5. Top 20 assignees do Brasil e do Mundo por número de depósitos de famílias patentes.



Fonte: Questel Orbit, 2015.

Portanto, além do capital estrangeiro ter entrado com força na composição produtiva do setor sucroalcooleiro nos anos 2000, estes atores, juntamente com outros que se destinavam anteriormente a outros segmentos produtivos, passam a liderar o processo inovativo da 2ª geração, dominando o processo de reestruturação da base de conhecimento do SSI. Isso proporciona um contorno novo ao SSI, visto que até fim dos anos 1990 a tecnologia de 1ª geração era altamente difundida e dominada pelos atores brasileiros.

Diante deste quadro os esforços de pesquisas do SSI mostram-se diferentes, rumo a uma descontinuidade que implica sair do fluxo exclusivo de aprendizado baseado no modelo *doing, using e interacting* para um modelo mais forte e completo de *learning by science*. Entretanto, esse caminho não é fluido, exige esforços internos das empresas ligadas a transformação da biomassa, bem como, do arranjo institucional⁹, isto é, de um conjunto complexo de instituições que contribui para lançar, modificar, conduzir e difundir a tecnologia de 2ª geração. Assim, permitindo a sobrevivência dos atores em um mundo de incertezas.

⁹ As instituições aqui são entendidas como um conjunto de leis, regras, normas, políticas (NELSON, 1993).

Considerações finais

O Brasil tem como desafio conseguir se inserir na corrida tecnológica do etanol de 2ª geração, de maneira mais propositiva, influenciando os caminhos a serem seguidos pela própria rota tecnológica. Os dados levantados por este artigo mostram que o Brasil não participa deste processo, ficando a reboque do que é desenvolvido e imposto pelos outros países por intermédio das suas multinacionais.

Portanto, medidas para solucionar este problema se fazem necessárias. Ações que proporcionem parcerias entre as empresas nacionais e instituições de pesquisa e com outras empresas podem facilitar e ampliar a troca de conhecimento para a inovação. Outro elemento necessário é a criação de condições para investimentos em P&D diretamente nas empresas. Como primeiro passo nessa direção e como exemplo de tentativa de reação, em 2011 o Brasil lança o Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), tendo como objetivo fomentar projetos que visem o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa a partir da cana-de-açúcar.

Já em 2014 inicia-se os primeiros projetos de plantas industriais de etanol de 2ª geração no Brasil, com duas plantas de 2ª geração pertencentes a GranBio e a Raízen, ambas financiadas pelo PAISS. O primeiro projeto de etanol 2G do Brasil, a BioFlex 1, localiza-se na cidade de São Miguel dos Campos/AL, com capacidade de produção de 82 milhões de litros por safra de etanol 2G. Este empreendimento pertence ao Grupo GanBio e utiliza o pacote tecnológico estrangeiro da empresa Beta Renewables, utilizando a palha e o bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima.

O segundo projeto brasileiro em andamento é a planta anexa de segunda geração da Usina Costa Pinto em Piracicaba/SP, pertencente à empresa Raízen, o qual se configura como o primeiro projeto no mundo a utilizar tecnologias para conversão do bagaço e da palha da cana em escala industrial totalmente integrado ao processo de etanol convencional (1G), com capacidade de produção de 40 milhões de litros por ano de etanol 2G. Esta tecnologia é desenvolvida conjuntamente com a empresa Iogen Corporation a partir de acordo de cooperação estratégica.

As duas iniciativas estão atuando sobre a rota tecnológica enzimática, porém com processos de pré-tratamento, compostos enzimáticos e níveis de integração produtiva distintos. Configura-se assim um momento pré-paradigmático haja vista que o *standard* ainda não está totalmente definido e os diversos atores do SSI da cana-de-açúcar ainda estão concorrendo para impor sua solução tecnológica ao mercado.

Juntamente a esse fato, percebe-se que mesmo com a criação de novos instrumentos institucionais, os quais se mostraram inovadores enquanto a sua forma, não foram suficientes para colocar o Brasil como protagonista na questão tecnológica (vide figura 4 e figura 5). Obviamente seria precipitado colocar tal afirmação como condição encerrada, pois se trata de atividades permeadas pela incerteza, mas até o presente momento, pode-se ver que as empresas e as instituições de pesquisa nacionais encontram-se a reboque do progresso técnico conduzido por atores estrangeiros no desafio do etanol de 2ª geração.

Exigem-se ações dos atores nacionais na busca por se posicionar como agentes históricos dessa mudança. O que se tem até agora, é apenas indicações dessa mudança, o contexto atual se mostra promissor, mas não é condição automática para a evolução, ou seja, o contexto favorável não se traduz em um caminho fluido para o estágio da 2ª geração. Visto que influenciar a rota tecnológica do etanol celulósico pressupõe romper

com características históricas de consumidor de tecnologias estrangeiras e, ainda, ir além, criar competências em outras áreas do conhecimento, as quais até então não eram necessárias para o desenvolvimento da produção do açúcar e do etanol (como domínio da engenharia genética e a bioquímica, dos novos materiais e novos processos produtivos).

Portanto, ao compararmos as características gerais do SSI da cana-de-açúcar em dois períodos distintos, antes da década de 2000 e durante a década de 2000, podemos perceber que engendra-se nessa virada de século um processo paulatino e descontinuado de adensamento do SSI, o qual exige uma alteração nos padrões de inovação, saindo de uma exclusividade no fluxo DUI^{10} para uma organização mais próxima da *learning by science*, condição necessária para avançar no segmento bioquímico e bioenergético.

Com isso, identifica-se que o setor sucroalcooleiro apresentou avanços, mas o fez em uma ótica dependente, na qual os principais processos produtivos estão sob o controle das empresas multinacionais (propriedade industrial e *know-how*). Em termos gerais, verifica-se que o setor sucroalcooleiro do Brasil tem avançado dentro de uma situação periférica e sem o protagonismo tecnológico desejado para promover um processo de *catching-up* dentro do setor de bioenergia.

Portanto, a janela de oportunidade continua aberta para as nações, periféricas ou não. E, em se tratando de um setor em que o Brasil apresenta não somente grandes potenciais naturais como também uma trajetória de aprendizagem ascendente com mais de trinta anos (desde o Proálcool), passa a ser um segmento estratégico para o desenvolvimento da nação, merecendo atenção (políticas de estímulo) e investimentos em novas tecnologias. Trata-se de uma oportunidade para que o Brasil possa romper com a condição histórica de produtor de insumos e passar a figurar como um líder na produção de tecnologias para os biocombustíveis e seus derivados.

Evidencia-se assim a necessidade de novas políticas públicas para SSI da cana-de-açúcar, que possam estimular e conduzir o processo de inovação. Este pressuposto é embasado constantemente através de estudos de casos que mostram uma relação positiva entre políticas específicas para o desenvolvimento das energias renováveis e o avanço do setor (LEWIS & WISER, 2007; BUEN, 2006; HENDRY & HARBORNE, 2011; E RU et al, 2012 sobre energia eólica, e ERICSSON et al, 2004; NEGRO et al, 2007; SUURS & HEKKERT, 2009; e HELLSMARK & JACOBSSON, 2012, sobre o aproveitamento da biomassa na Europa). Em comum, tais estudos abordam as problemáticas do desenvolvimento tecnológico de produtos e processos novos, os quais necessariamente concorrem com sistemas técnicos já consolidados, dotados de uma infraestrutura produtiva e institucional já estabelecida, as quais se contrapõem ao progresso da nova rota tecnológica (renovável).

Ademais, uma diversidade de autores dedicados ao problema do desenvolvimento tecnológico das energias renováveis tais como Kemp & Soete (1992); Jacobsson et al. (2000); Carlsson et al. (2002); Waltz (2008); CGEE, 2009; Nemet (2009); Mowery et al (2010) e Nyko et al. (2010) têm mostrado que estas novas tecnologias necessitam de um conjunto amplo de medida regulatórias e instrumentos de incentivos para que avancem na trajetória de desenvolvimento técnico e econômico.

Referências

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Publicações, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>> Acesso em: 15/05/2014.

¹⁰ Composto pelos conceitos de *learning by doing*, *learning by using* e *learning by interacting* (VARRICHO, 2012).

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P. As rotas para o etanol celulósico no Brasil. Departamento de Botânica – IBUSP. Disponível em: <<http://mundodacana.blogspot.com.br>> Acesso em: 15/05/2013

BUEN, J. Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion. *Energy Policy*, v. 34, n.18, p. 3887-3897, 2006.

CARLSSON, B. JACOBSSON, S. HOLMÉN, M. RICKNE, A. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, v 31, p. 233–245, 2002.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil. Brasília, CGEE, 536 p., 2009.

CHIDAMBER, S. R. KON, H. B. A research retrospective of innovation inception and success: the technology-push demand-pull question. *Productivity From Information Technology*, Cambridge, v.1, 1993.

CORAL, D. S. O. *Indicadores Técnicos -Econômicos das Rotas Termoquímica e Bioquímica para a Obtenção de Biocombustíveis Utilizando Bagaço de Cana para as Condições Brasileiras*. 2009. 234 f. (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2009

DOSI, G. *Mudança técnica e transformação industrial*. Campinas: Editora Unicamp, 2006.

DUNHAM, F. B. BOMTEMPO, J. V. FLECK, D. L. A Estruturação do Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro como Base para o Proálcool. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, v. 1, n. 10, p.35-72, 2011.

ELIAS, D. O meio técnico-científico-informacional e a reorganização do espaço agrário nacional. In: MARAFON, G. J. et al. (org.). **Abordagens teórico-metodológicas em geografia agrária**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. (Biblioteca: IG: 910.163 Ab76).

ERICSSON, K. et al. Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden. *Energy Policy*, v. 32, n.15, p. 1707-1721, 2004.

FARINA, E. RODRIGUES, L. SOUSA, E. L. A Política de Petróleo e a Indústria de Etanol no Brasil. *Interesse Nacional*, São Paulo, v. 6, n. 22, p.64-75, 2013.

FINEP. Subvenção econômica. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:<<http://www.bndes.gov.br/>> Acesso em: 15/05/2014.

FORAY, D.; GRÜBLER, A. Technology and the environment: an overview, *Technological forecasting and social change*, v.53, n.1, 1996.

FURTADO, A. SCANDIFFIO, M. CORTEZ, L. The Brazilian sugarcane innovation system. *Energy Policy*, v.39, n.1, p. . 56-166, 2011.

GOLDEMBERG, J. The promise of clean energy. *Energy Policy*, v.34, n.15 p.2185-2190, 2006.

GOLDEMBERG J., and Coelho, S. T. Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass. *Energy Policy*, v.32, n.6, p. 711-714, 2004.

HELLSMARK, H. JACOBSSON, S. Realizing the potential of gasified biomass in the European Union – Policy challenges in moving from demonstration plants to a larger scale diffusion. *Energy Policy*, v. 41, p. 507-518, 2012.

HENDRY, C. HARBORNE, P. Changing the view of wind power development: More than “bricolage”. *Research Policy*, v. 40, p. 778-789, 2011.

JACOBSSON, S. JOHNSON, A. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy Policy*, v. 28, p. 625-640, 2000.

LEITE, R.C.C.; LEAL, M.R.L.V. O Biodiesel no Brasil. *Novos Estudos*, 78, julho 2007. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em :<<http://www.agricultura.gov.br>> Acessado: 20/05/ 2013.

LEWIS, J. I. WISER, R. H. Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy Policy*, v. 35, p. 1844–1857, 2007.

KEMP, R. SOETE L. The greening of technological progress: an evolutionary perspective. *Futures*, V. 24, n.5, p. 437-457, 1992.

MALERBA, F. Sectoral systems and Innovation and Technology Policy. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, v. 2, n. 2, p.329-375, 2003.

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

MENANTEAU, P. FINON, D. LAMY M. Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. *Energy Policy*, v. 31, n. 8, p. 799-812, 2003.

MAPA. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia, 2006.

MCTI. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015. Brasília: Secretaria Executiva do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2012.

MCTI. Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional: Plano de Ação 2007-2010. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2007.

- MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2013.
- MOWERY, D. C, NELSON, R. R, MARTIN, B. R. Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). *Research Policy*, v. 39, p. 1011–1023, 2010.
- NEGRO, S. O. HEKKERT, M. P. SMITS, R. E. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion—A functional analysis. *Energy Policy*, v.35, n. 2, p. 925-938, 2007.
- NEMET, G. Demand-pull energy technology energy policies, diffusion and improvements in California Wind Power. *Research Policy*, v. 38, p. 700–709, 2009.
- NIDUMOLU, R.; PRAHALAD, C.K.; RANGASWAMI, M.R. (2009) Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard Business Review*, sep., pp 1- 09
- NYKO, D. GARCIA, J. L. F. MILANEZ, A. Y. DUNHAM, F. B. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:<<http://www.bndes.gov.br/>> Acesso em: 15/05/2013.
- NYK, D. et al. Planos de fomento estruturado podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados. *BNDES Setorial*, v. 38, p. 55-78, 2013. Disponível em:<<http://www.bndes.gov.br/>> Acesso em: 10/07/2013.
- OLIVEIRA FILHO, A. A. de. *As indústrias de bens de capital em Piracicaba/SP: novas perspectivas a partir dos biocombustíveis*. 2013. 368 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013
- PORTER, M.E.; VAN DER LINDE, C. (1995) Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, 9 n. 4, pp. 97-118
- RU, P. ZHI, Q. Zhang, F. Zhong, X. Li, J. Su J. Behind the development of technology : The transition of innovation modes in China's wind turbine manufacturing industry. *Energy Policy*, v. 43, p. 58-69, 2012.
- SAFATLE, F. N. *A economia política do etanol: a democratização da agroenergia e o impacto na mudança do modelo econômico*. – São Paulo: Alameda, 2011.
- SUURS, R. A.A. HEKKERT, M. P. Competition between first and second generation technologies: Lessons from the formation of a biofuels innovation system in the Netherlands. *Energy*, v. 34, p. 669–679, 2009.
- SZMRECSANYI, T. MOREIRA, E P. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. *Estud. av. [online]*.v.5, n.11, p. 57-79, 1991.
- VIEIRA, M. C. A. Setor Sucroalcooleiro Brasileiro: Evolução e Perspectivas. *BNDES*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acessado em: 15/02/2012.
- VALENTE, M. S. et al. Bens de capital para o setor sucroenergético: a indústria está preparada para atender adequadamente a novo ciclo de investimentos em usinas de cana-de-açúcar? *BNDES*. Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p.119-178, Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acessado em: 25/06/ 2013.
- WALZ, R. SCHLEICH, J. RAGWITZ, M. How regulation influences innovation: an indicator based approach for the case of renewable energy technologies. In *Globelics*, 2008, Mexico City, p. 22-32