

Sistemas de Inovação Ambiental em Países em Desenvolvimento: Uma Discussão a Partir do Desenvolvimento de Etanol de Segunda Geração no Brasil

Stela Luiza de Mattos Ansanelli

Pedro Pinho Senna

Guilherme Ribeiro da Silva

Daniel Augusto Coração de Campos

Resumo

As inovações ambientais constituem um caminho importante na redução do hiato tecnológico de países em desenvolvimento, contudo é pouco explorada, pela literatura, quando se refere à uma abordagem sistêmica adequada à realidade de países em desenvolvimento. Desse modo, objetivo deste artigo é defender a possibilidade de constituição de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento por meio do estudo de caso do desenvolvimento do Etanol de 2ª Geração (E2G) realizado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) no Brasil. Como resultado, observou-se que o E2G constitui uma inovação ambiental desenvolvida pelo Centro em interação harmoniosa e coesa com o governo, instituições de pesquisa, firmas (nacionais e estrangeiras) e com demanda em ascensão. O desafio constitui sua produção em grande escala.

Palavras chave: sistemas de inovação, ambiental, etanol de segunda geração

Abstract

Environmental innovations are an important way in reducing the technological gap in developing countries, but are little explored in the literature, when referring to an appropriate systemic approach to the reality of developing countries. Thus, purpose of this article is to defend the possibility of setting up environmental innovation systems in developing countries through the case study of the development of 2nd generation ethanol (E2G) conducted by the National Laboratory of Science and Technology of Bioethanol (CTBE) in Brazil. As a result, it was observed that the E2G is an environmental innovation developed by the Centre in harmonious and cohesive interaction with the government, research institutions, companies (domestic and foreign) and demand on the rise. The challenge is a large-scale production.

Key words: innovation systems , environmental, second generation ethanol

1.Introdução

A habilidade de introduzir novas tecnologias e novos elementos organizacionais é vista, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento, como um fator essencial no processo de modernização, industrialização e consequentemente desenvolvimento econômico (BOGLIACINO, 2009). Apesar das fragilidades em termos de conhecimento, infraestrutura tecnológica e institucional dos países em desenvolvimento, como o grupo é heterogêneo, há é possível encontrar países capazes de desenvolver inovações de modo sistêmico, por meio da interação coesa entre firmas (nacionais e estrangeiras), instituições de pesquisa e governo, como Coreia do Sul e China (CHAMINADE, LUNDVALL E JOSEPH, 2009).

De outro lado, a geração de inovações ambientais, voltadas à redução ou minimização de danos ambientais, constitui uma grande oportunidade de ganhos competitivos no cenário internacional. Conforme Lustosa (2002), as firmas que apresentaram inovações ambientais são as que possuem maior inserção internacional, na forma de investimentos direto estrangeiros ou elevação das exportações. Contudo, na literatura, embora se trabalhe com o conceito sistêmico da geração de inovações ambientais com resultados práticos em termos de estudos de caso dos países centrais, praticamente inexistente essa discussão para a realidade de países em desenvolvimento.

Alguns casos de sucesso de inovações ambientais desenvolvidas de forma sistêmica em países menos desenvolvidos inspira a reflexão sobre o conceito de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento. Esse é o caso do desenvolvimento do Etanol de 2ª Geração (E2G), produzido a partir da biomassa (resíduo) da cana de açúcar, que vem ocorrendo no Brasil. Mais especificamente, com apoio do governo e interação entre firmas e instituições de pesquisa, o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) vem oferecendo desde 2010 diversos serviços inovadores e facilitadores da produção do E2G.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é defender a possibilidade de constituição de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento por meio do estudo de caso do desenvolvimento do E2G realizado pelo CTBE no Brasil. A metodologia utilizada, além da revisão bibliográfica, foi a realização de entrevistas com especialistas do CTBE. A importância desse trabalho se justifica, não só pela redução dos danos ambientais e aproveitamento dos resíduos, como pelas oportunidades econômicas do E2G no aumento da oferta de etanol como substituto dos combustíveis fósseis. O aumento de sua produção seria uma solução para a redução da importação de gasolina, que foi cerca de 2,2 bilhões de litros em 2014, mas também para alavancar as exportações, visto que o consumo de etanol tem sido valorizado pelas políticas dos Estados Unidos e União Europeia (MILANEZ *et al*, 2015). Do ponto de vista teórico, representa uma abordagem analítica inovadora.

2. Sistemas de inovação, meio ambiente e países em desenvolvimento: revisão da literatura teórica

2.1 Determinantes da inovação ambiental em uma abordagem sistêmica

Inovação ambiental consiste em processos novos ou modificados, técnicas, sistemas e produtos que evitam ou reduzem danos ambientais. As inovações podem ser técnicas ou organizacionais. Há duas principais categorias de uso de inovações técnicas: tecnologias do tipo *end-of-pipe*, que buscam minimizar um dano ambiental gerado e é considerada, portanto, uma medida paliativa; tecnologias limpas que evitam ou reduzem a emissão de poluentes e minimizam a utilização de energia e materiais como insumos sendo vistas como preventivas. A inovação

organizacional, por sua vez, muda a estrutura da organização, das rotinas e das práticas de uma empresa. Em alguns casos, ela pode ser um pré-requisito da inovação técnica ambiental (KEMP E ARUNDEL, 1998).

Embora se origine da mesma corrente de pensamento neoshumpeteriana, a inovação ambiental se diferencia da inovação “tradicional” quanto à sua origem e difusão. Enquanto a segunda surge endogenamente no processo de busca de assimetrias e por meio de rotinas, a primeira necessita da pressão da regulação ambiental para despertar as firmas na correção dos impactos ambientais e reduzir a incerteza dos investimentos. Além disso, as condições de apropriabilidade podem ser reduzidas, visto que é de interesse social a rápida difusão de tecnologias ambientais. De modo complementar, para alguns problemas ambientais ainda não existe conhecimento técnico suficiente (KEMP, 1990).

De fato, na literatura a famosa hipótese de Porter ressalta o papel da regulação como condutora do processo de inovação ambiental nas firmas, capaz de transformar os desperdícios ambientais em ganhos econômicos de produto e processo, como economia de energia, água e no transporte dos resíduos e melhoria e durabilidades dos produtos (PORTER, 1995).

Contudo, embora a regulação seja um dos principais fatores determinantes da inovação ambiental, outros elementos e a articulação entre eles vêm ganhando espaço na literatura. Para Lustosa (2002), os quatro elementos que induzem as empresas a adotarem práticas mais limpas são: as políticas ambientais, na forma de legislações, subsídios, créditos, financiamentos e outros mecanismos utilizados pelas instituições; as pressões dos consumidores finais e intermediários; a pressão dos grupos de interesses (*stakeholders*) e a pressão dos investidores.

Green (2005) destaca, além da regulação, as alterações na demanda do mercado, efeitos de pressões da cadeia de suprimentos (que é uma forma da mudança inter-organizacional da demanda) e mudança da cultura dentro da organização inovadora. Para Weber e Hemmelskamp (2005) inovação que resulta em sustentabilidade exige mais do que inovação tecnológica, como mudanças na cadeia de consumo, nas instituições, no comportamento dos atores envolvidos, na forma de extração dos recursos e no consumo dos bens, bem como na interação entre esses elementos.

Oltra (2008) no mesmo sentido e de forma mais completa, agrupa os fatores determinantes, alguns dos quais já apresentados acima, em três tipos, conforme quadro 1. Segundo a autora, a resposta tecnológica das firmas reguladas varia conforme as condições de demanda e oferta. Entre os determinantes políticos, encontram-se o processo de implementação dos instrumentos regulatórios e econômicos, estes últimos também atuando por meio de incentivos financeiros. Do lado da oferta, importam as relações entre os agentes da cadeia e as atividades inovativas, como gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e inovações organizacionais. Os determinantes do

lado da demanda, como as preferências dos consumidores, são fundamentais na competição entre a tecnologia estabelecida e a nova.

Quadro 1 – Determinantes da Inovação Ambiental

Determinantes de política e regulação	<ul style="list-style-type: none">- Implementação de instrumentos de política ambiental: instrumentos econômicos e de controle;- Existência e antecipação de regulamentos ambientais;- Projeto de regulação: rigor, flexibilidade e tempo.
Determinantes do lado da oferta	<ul style="list-style-type: none">- Redução de custos e melhoria da produtividade;- Atividades de P&D;- Relações industriais, pressão da cadeia de suprimento e atividades em rede;- Inovações organizacionais: sistemas de gestão ambiental e responsabilidade do produtor.
Determinantes do lado da demanda	<ul style="list-style-type: none">- Consciência ambiental e preferência dos consumidores por produtos ambientalmente amigáveis;- Aumento do <i>market share</i> ou penetração de novos segmentos de mercado.

Fonte: adaptado de Oltra (2008)

Assim, como a geração de inovações ambientais depende de vários fatores e da interação entre eles, não sendo resultado de uma resposta sistemática à regulação, a discussão quanto à determinação da inovação ambiental tem caminhado em direção ao conceito de Sistemas de Inovação Ambiental.

Weber e Hemmelskamp (2005) apresentam cinco características presentes em um Sistema de Inovação Ambiental: alterações funcionais com salto de eco-eficiência; combinação de inovações tecnológica, organizacional e institucional; envolvimento de vários atores; existência de um novo guia de princípios e objetivos e mudanças de longo prazo no nível micro e meso. Para um Sistema de Inovação gerar um Sistema de Inovação Ambiental são necessárias novas políticas e abordagens de governança operando e coordenando diferentes esferas de decisão política, uma vez que devem conduzir a uma nova qualidade de resultados.

A partir de uma visão normativa, para Kemp e Rotmans (2005), a noção de sistemas de inovação ambiental é dinâmica, interativa e global. Esses sistemas envolvem uma co-evolução entre sistemas técnicos, ambientais e sociais, sendo mais do que o melhoramento de um sistema de inovação e é passível do conflito entre os objetivos políticos de curto prazo e a mudança de longo prazo necessária à sustentabilidade. Sistema de inovação geralmente consiste de uma combinação de componentes novos e antigos e pode mesmo consistir de uma nova combinação de componentes antigos. Ele transcende um país ou mesmo continente e vai além do uso de processos de produção mais eficientes e produtos verdes.

Os autores defendem uma transição de médio – longo prazo, com planejamento e método de implementação, voltada a objetivos e resultados específicos, tais como a alteração de um modelo energético emissor de dióxido de carbono (CO₂) para outro baseado em energias renováveis, como eólica, biomassa, hidrogênio e elétrica. Esta transição deveria ter, como elementos principais, vários

domínios, atores e níveis, bem como precisaria enfatizar o processo de aprendizado. O papel do governo seria o de facilitador desta evolução, estabelecendo medidas coercitivas sobre as práticas atuais (taxas sobre o uso de CO₂), mas também incentivos econômicos e promovendo o envolvimento de novos atores, como a comunidade e produtores de energias renováveis. A figura 1 oferece uma referência quanto à escala de tempo e geográfica para o desenvolvimento de um sistema de inovação ambiental: soluções paliativas tendem a ser locais e de curto prazo, enquanto a constituição de um sistema é global e de longo prazo.

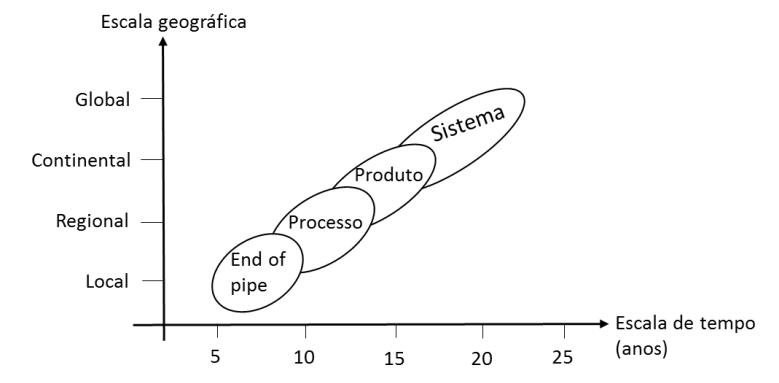


Figura 1. Escala de tempo e geográfica das respostas sociais às questões ambientais
Fonte: Kemp e Rotmans (2005)

Para Oltra (2008) e Oltra e Jean (2009), o padrão de cada setor industrial tem importância fundamental. A inovação ambiental resulta da interligação entre três blocos, conforme figura 2, que constituem um sistema setorial de inovação ambiental: regime tecnológico, condições de demanda e políticas públicas. O regime tecnológico ajuda a compreender as dinâmicas microeconômicas de inovação ambiental, por considerar as características do ambiente tecnológico no nível da indústria, fornecendo melhor entendimento do processo de aprendizado da inovação ambiental. As condições da demanda, por meio das preferências dos consumidores e seus critérios de compra, são importantes na difusão das inovações ambientais e na competição tecnológica. Por fim, as políticas inovativas e ambientais, consideradas de forma integrada, influenciam o regime tecnológico e as condições da demanda, mas ao mesmo tempo, são condicionadas por eles.

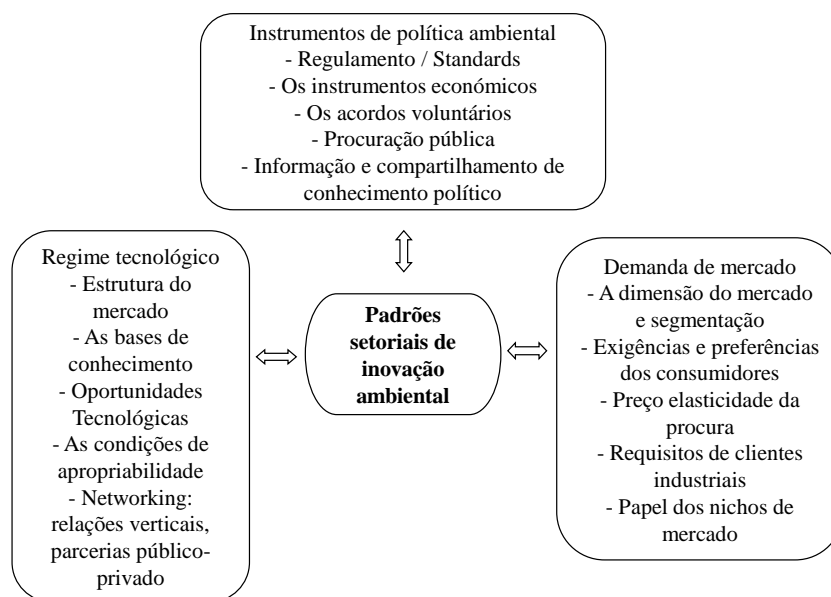


Figura 2 - Sistemas setoriais de inovação ambiental: quadro co-evolucionário
 Fonte: Oltra (2008)

Prates e Serra (2006) destacaram o aspecto regional da IA por meio do estudo de caso de empresas alemãs. Para os autores, a proximidade regional de empresas que sofrem o mesmo tipo de pressão regulatória pode proporcionar relações de cooperação, visto que gera um ambiente de confiança, troca de informações e ação conjunta. Os incentivos à inovação dependem das condições do mercado (intensidade da competição, condições de custos de produtos ambientalmente corretos e apropriabilidade), da habilidade das firmas de assimilar e combinar conhecimento de diferentes fontes (dentro e fora da firma) e da capacidade de gerenciar o processo de inovação (gestão).

A síntese de alguns casos de inovações ambientais sistêmicas relacionados à questão energética, desenvolvidos nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) nas últimas décadas, permite identificar a natureza dos sistemas de inovação, os tipos de inovação ambiental, os agentes envolvidos e sua forma de interação. Observa-se que os atores envolvidos podem ser classificados em empresas privadas, órgãos públicos, instituições de pesquisa e consumidores, que interagem por meio de políticas regulatórias, incentivos, marketing e programas de pesquisa. Entre os vários casos, o governo pode atuar por meio da regulação das atividades que querem substituir e do financiamento e programas de tecnologias que desejam estimular. A cooperação e interação são fundamentais para o sucesso dos sistemas, como no caso do consórcio de azulejos solares em Portugal.

Quadro 2. Casos selecionados de sistemas de inovação ambiental dos países da OCDE

Inovação Ambiental	Tipo do sistema de inovação ambiental	Atores envolvidos	Formas de interação
Captura e armazenamento de carbono (CCS) Canadá	Nacional/Global	Usinas de energia e governo	Financiamento, programas de difusão do conhecimento, subsídios e regulação no setor de petróleo.
Carros elétricos Alemanha	Setorial	Indústria automobilística, governo e fabricantes de energia	Cooperação e programas públicos
Canadá	Setorial/Regional	Indústria automobilística, firmas do serviço público, governo municipal, universidades e instituições de pesquisa e consumidores	Tarifas diferenciadas para tipos de eletricidade, programas públicos, associações.
França	Setorial	Indústria automobilística e governo	Investimento público e privado, subsídios para P&D.
Azulejos solares Portugal	Setorial	Indústria de azulejos, instituições de pesquisa e governo	Consórcio de P&D e cooperação
Tecnologias ambientais para redução das emissões Alemanha	Regional	Firmas reguladas (poluidoras), fornecedores de tecnologias ambientais, governo e instituições de pesquisa	Cooperação, regulação, incentivos, programas de P&D.

Fonte: Elaboração própria a partir de OCDE (2011) e Prates e Serra (2006).

No que se refere aos países em desenvolvimento, é praticamente inexistente na literatura o tratamento de sistemas de inovação ambiental. Como Ashford (2005) ressalta, estes países tendem a copiar ou adaptar as inovações normais e ambientais, e são mais receptivos à difusão tecnológica desenvolvida nos países centrais. Além disso, em nesses países a fraqueza da regulação torna políticas ambientais ineficazes.

2.2 Sistemas de inovação em países em desenvolvimento

Embora não haja na literatura uma discussão quanto a sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento, muito se debate sobre o hiato tecnológico, as deficiências em termos de geração de inovação tradicional e a condução política no formato de sistemas de inovação tradicional em países em desenvolvimento. Isto porque a habilidade de introduzir novas tecnologias é fator essencial ao desenvolvimento econômico.

Enquanto países desenvolvidos possuem grande carga de experiência acumulada no que tange a políticas de inovação, o mesmo não ocorre nos países em desenvolvimento. Conforme Srholec (2011) não são apenas as características e habilidades individuais das firmas que influenciam no processo inovativo, mas também o ambiente no qual estão inseridas, de modo que os padrões socioculturais de cada civilização afetam o processo de desenvolvimento das inovações de determinado país. Assim, como aponta Bogliacino (2009), países em desenvolvimento apresentam padrões diferentes em inovação se comparado àqueles países reconhecidamente na fronteira da tecnologia: enquanto nos países desenvolvidos há forte presença de pesquisa e

desenvolvimento (P&D) e infraestrutura de ciência e tecnologia robusta, os países em desenvolvimento tendem a adquirir máquinas e imitar produtos e processos dos países mais avançados.

Consequentemente, a busca pelos níveis tecnológicos e produtivos (*catch up*) internacionais não é um processo automático ou simples, já que para alcançá-los são necessários fatores como investimento em capital tangível (máquinas, equipamentos etc.) e capital intangível (educação, treinamento, entre outros), específico a cada país (PATEL E PAVITT *in* DOSI *et al*, 1998).

As principais fraquezas que comprometem o ambiente de inovação nos países em desenvolvimento, conforme World Bank (2004) são: baixos níveis de educação; baixa qualidade das condições de governança, como a falta de transparência e excesso de burocracia; e falta de infraestrutura, como telecomunicações e transportes. Mesmo não constituindo uma fragilidade, deve-se notar a forte presença de empresas transnacionais nesses países.

Além dessas falhas, destaca-se a ausência de integração entre os sistemas produtivo, financeiro, de educação e de pesquisa. Neste aspecto, os sistemas de inovação – conjunto de instituições, organizações e entidades que promovem, incentivam e coordenam o processo de inovação – tendem a ser pobremente construídos e tornam-se muito fragmentados nos países em desenvolvimento. Uma grande quantidade de microempresas opera no mercado informal; há uma quantidade insuficiente de comunidades de pesquisa, de modo que as universidades locais não estão ligadas à realidade vivida pela sociedade; e as instituições são numerosas e, por isso, dificultam o estabelecimento de organizações eficientes para a promoção da inovação. O custo econômico e ausência de financiamento constituem uma barreira adicional à inovação (WORLD BANK, 2004, BOGLIACINO, 2009).

Por conta disso, os sistemas de inovação nesse tipo de ambiente são vistos como fragmentados com algumas partes do sistema bem desenvolvidas, mas com firmas e organizações com poucas conexões entre os elementos mais fortes do sistema (LIU, 2009). Nesse sentido, de acordo com Lundvall (2009), alguns autores defendem a ideia da utilização do termo “sistema de aprendizagem” ao invés de “sistema de inovação” nos países menos desenvolvidos. Tal ideia parte do princípio de que a inovação, *strictu sensu*, ocorre apenas em países desenvolvidos, enquanto que nos países em desenvolvimento a inovação incremental e difusão tecnológica assumem posição central.

Porém, aceitar essa ideia implica em dizer que apenas países como Estados Unidos, Japão, França e Alemanha possuem sistemas de inovação, deixando de lado países pequenos que se destacaram nesse campo, como a Dinamarca e Noruega. Esses países foram capazes de desenvolver alta capacidade de absorver e usar novas tecnologias criadas fora de suas fronteiras. A taxa de

mudança tecnológica e crescimento econômico dependem historicamente mais da difusão eficiente do que no pioneirismo em inovações radicais. (LUNDVALL, 2009).

Além disso, o grupo de países caracterizados como “em desenvolvimento” é bastante heterogêneo, tanto em termos de renda per capita e tecnologia, quanto à qualidade das instituições. Por isso, Niosi (2010) expõe uma classificação de países em três grupos distintos, considerando as semelhanças entre os sistemas nacionais de inovação. O primeiro grupo refere-se aos países industriais que fazem parte da OCDE, possuindo sistemas nacionais densos e complexos – incluindo a presença de firmas atuantes em pesquisa e desenvolvimento, universidades, padrões bem estabelecidos de incentivos ao processo de pesquisa e desenvolvimento, entre outros.

O segundo grupo de países é caracterizado pela tentativa de alcançar a fronteira de tecnologia, representada pelos países da OCDE. Nesse grupo se encontram especialmente a China e Índia, por alcançarem um crescimento rápido nas últimas décadas, além de países do Leste Europeu (República Tcheca, Eslováquia, Eslovênia, Hungria, Polônia e Romênia), Brasil, Irã, Turquia e África do Sul. Grécia e Portugal também entram nesse grupo. Nesses países, muitas organizações e instituições do sistema nacional estão posicionadas, principalmente dentro do setor público. Entretanto, o setor privado apresenta baixas taxas de pesquisa e desenvolvimento.

O terceiro grupo, por outro lado, foi capaz de criar apenas “pedaços” de um sistema nacional de inovação. Esse conjunto abrange a maior parte da África, Ásia e América Latina – mais de cem países (NIOI, 2010). Muitos têm uma base de recursos naturais substancial, porém não possuem um sistema nacional capaz de utilizá-lo em longo prazo.

É possível associar as características dos segundo e terceiro grupos à formalização apresentada por Chaminade, Lundvall e Joseph (2009). Na Figura 1 podem-se visualizar os elementos-chave de um sistema de inovação e suas interações, tanto em um sistema emergente quanto em um sistema estruturado. Nos sistemas de inovação nascentes (*Emerging IS*) os elementos-chave – Firms locais (F), Universidades (U), Centros Tecnológicos (TC), Governo (G) e Corporações Transnacionais (TNC) – possuem pouca ou nenhuma conexão, devido ao fato de tais elementos estarem em formação. Interações importantes para o processo inovativo ainda não foram concretizadas, como entre o governo e grupos empresariais e estes com centros tecnológicos.

Entretanto, em países em desenvolvimento que possuem um sistema inovativo maduro (*Mature IS*), as relações são numerosas e fortes. Além das interações entre si, por exemplo entre universidades e empresas (formando grupos coesos), as conexões intergrupos são diversas, possibilitando um fluxo constante de conhecimento, tecnologia, desenvolvimento de pesquisas, entre outros. As atividades inovativas nesse estágio possuem um suporte amplo e, portanto, são abundantes.

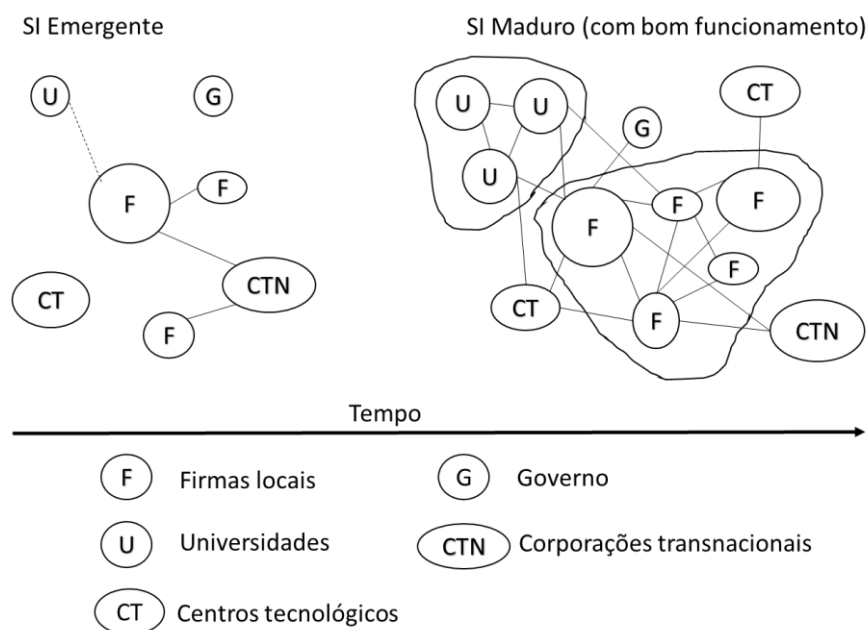


Figura 3. Sistemas de Inovação em Países em Desenvolvimento: emergentes e maduros

Fonte: Chaminade, Lundvall e Joseph (2009)

Segundo Altenburg (2009), políticas de inovação nos países em desenvolvimento deveriam proteger os interesses específicos da parcela menos favorecida da população, tendo como desafio a construção de sistemas de inovação inclusivos e orientados para a pobreza – inclusive no sentido de garantir que o percentual da força de trabalho e empresas envolvidas em atividades inovativas aumente, e orientado para a pobreza no sentido de desenvolver tecnologias que a diminua.

Portanto, ao abordar o conceito de sistemas de inovação em países menos desenvolvidos há a necessidade de adotar uma noção mais abrangente de sistema de inovação, de modo a incluir instituições econômicas, sociais, educacionais e políticas que podem influenciar o processo de aprendizado e a difusão de tecnologia e conhecimento focados nas necessidades locais, como redução da pobreza, geração de empregos e sustentabilidade ambiental.

2.2 Reflexões teóricas

Da revisão da literatura nos subitens anteriores, podemos concluir que inovações ambientais são essenciais para alteração dos rumos do desenvolvimento dos países, mas não surgem espontaneamente, muito menos são uma resposta sistemática à regulação ambiental. Elas possuem natureza sistêmica e resultam de um processo interativo entre vários agentes, em diferentes níveis e evoluem ao longo do tempo, como políticas do governo, firmas, instituições de pesquisa e demanda. Ultrapassam as fronteiras nacionais, mesmo se forem setoriais. Os sistemas de inovação ambiental constituem a forma mais adequada de alcançar um objetivo ambiental específico, como mostram as experiências de países desenvolvidos, membros da OCDE.

Contudo, é praticamente inexistente, na literatura, a discussão de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento. Argumenta-se que tais regiões apresentam fragilidades em termos de conhecimento, infraestrutura técnica e institucional, bem como ausência de interação entre os agentes, inibindo a geração e desenvolvimento de inovações tradicionais (sem objetivos ambientais). Mas, como o grupo de países em desenvolvimento é bastante heterogêneo, essa fragmentação dos sistemas de inovação não pode ser generalizada. Podem-se distinguir dois subgrupos de países, com relação às características dos sistemas de inovação: os emergentes, com sistemas fragmentados, e os maduros, com uma coesão na integração entre os agentes (firmas nacionais e transnacionais; governo e instituições de pesquisa).

A partir desse breve resumo, acredita-se na possibilidade de discutir sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento. Nessa tentativa, como mostra a figura 3, ele pode ser construído com um objetivo ambiental específico, pensado e planejado (energia renovável, por exemplo), e composto pelos atores: governo, firmas (nacionais e estrangeiras), instituições de pesquisa (universidades nacionais, estrangeiras, outros institutos), consumidores finais. As formas de interação ocorrem por meio das políticas ambientais e de ciência e tecnologia, incentivos, financiamento, por parte do governo. O contato das firmas com as instituições de pesquisa facilita a geração e o fluxo de conhecimento, e a demanda seleciona as inovações. A sociedade como um todo obtém ganhos de bem-estar, pela melhoria ambiental, e pela geração de emprego e renda de melhor qualidade.

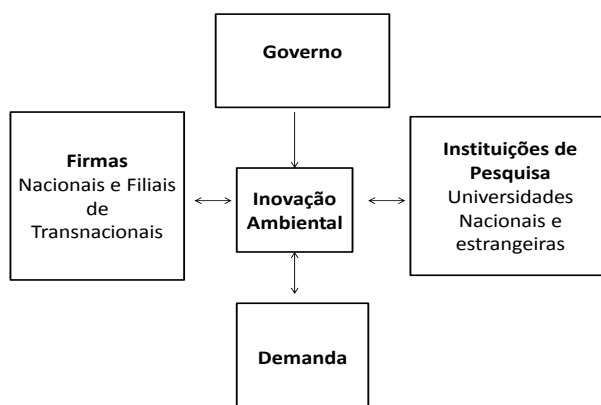


Figura 4. Sistemas de Inovação em Países em Desenvolvimento

Fonte: Adaptado a partir de Oltra (2008) e Chaminade, Lundvall e Joseph (2009)

3. Metodologia do Estudo de Caso

Além da revisão teórica que constituiu o cenário de análise, para a realização deste estudo de caso foi elaborado um questionário simples, com questões abertas, cujo foco obtenção de histórico do CTBE, bem como informações sobre os programas desenvolvidos, principais colaboradores, agentes governamentais e motivações tanto para a criação quanto para a manutenção do centro.

Após elaboração de questionário foram realizadas entrevistas com dois especialistas: Prof. Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima, professor titular do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e primeiro diretor do CTBE (2008-2012), responsável pela implantação da infraestrutura física, pela concepção das linhas de pesquisa e pelo modelo de gestão do laboratório; e Maria Glória de Oliveira Pinho, doutoranda em Planejamento de Sistemas Energéticos na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) primeira gestora financeira do CTBE (2009-2014).

4. Resultados: Desenvolvimento do Etanol de Segunda Geração pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

4.1.O Contexto¹

No início dos anos 2000 os países desenvolvidos iniciaram forte movimento para trocar suas matrizes energéticas, de combustíveis de origem fóssil para fontes de energias renováveis. Os conflitos ocorridos no Oriente Médio, berço da produção de petróleo mundial, foram catalisadores deste movimento. Com forte liderança dos Estados Unidos que procuravam extrair etanol a partir da fermentação de milho, o etanol voltou a entrar em cena como uma alternativa de combustível veicular viável.

Com esta mudança de foco houve várias iniciativas em âmbito nacional para impulsionar a indústria sucroalcooleira no país de forma a tornar o etanol extraído da cana-de-açúcar um combustível comercialmente competitivo. O maior resultado destas iniciativas foi a criação do automóvel *flex*, cujo motor pode ser movido tanto à gasolina quanto à etanol hidratado e que tinha capacidade para produção industrial. Assim o mercado automobilístico nacional passou por grande transformação no que tange à preferência por combustível utilizado, de modo que, entre 2003 e 2007, segundo estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), a demanda por etanol hidratado subiu de 3.792 mil m³ para 10.366 mil m³, garantindo extremo impulso à indústria sucroalcooleira nacional.

Em 2005, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), ligado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), liderou um estudo acadêmico que avaliasse a possibilidade de expansão da produção de etanol nacional, tendo por base este aumento sensível na demanda após a introdução do carro *flex* no mercado nacional. Conforme Leite *et al* (2009), o objetivo era averiguar se o etanol hidratado brasileiro (a partir de cana-de-açúcar) seria capaz de se inserir na matriz energética mundial a ponto de corresponder por 5 a 10% de todo combustível consumido no mundo até 2025. A partir de suas conclusões foi possível visualizar diversos gargalos no ciclo de

¹ Seção elaborada a partir da orientação dos especialistas.

vida da cana-de-açúcar/etanol, desde a produção agrícola, tratamento industrial, a sustentabilidade da estratégia até a quantidade de pesquisas realizadas no setor.

Para solucionar estes gargalos, através do desenvolvimento de novas técnicas que aumentassem a produtividade do etanol extraído da cana-de-açúcar, as pesquisas acadêmicas nacionais foram direcionadas para a obtenção de Etanol de 2ª Geração (E2G), produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Com a descoberta de enzimas capazes de quebrar a celulose desse bagaço, o (E2G) passou a ser alternativa viável para aumento de produtividade por tonelada de cana-de-açúcar.

4.2. O Etanol de 2ª Geração (E2G) de cana como inovação ambiental

O E2G da cana-de-açúcar faz parte dos biocombustíveis, no caso do bioetanol, mercado crescente, competitivo e com menores impactos ambientais. Segundo GBEP (2007), em 2007 a produção mundial de etanol foi da ordem de 55,7 bilhões de litros, tendo como líderes os Estados Unidos (EUA), por meio do etanol de milho, e o Brasil, com etanol de cana. O custo de produção do etanol brasileiro é de US\$ 0,22/L contra US\$ 0,35/L para esse combustível produzido pelos Estados Unidos, a partir do milho (PACHECO, 2011).

No entanto, a produção do etanol brasileiro está em ascensão, passando de 22 bilhões de litros na safra de 2011/2012 para cerca de 29 bilhões na safra de 2015/2016, auxiliado pelos consumos internos do etanol anidro e do etanol hidratado, ambos derivados da cana-de-açúcar. Com relação às outras culturas para produção de bioetanol, o de cana apresenta os melhores índices de produtividade: cerca de 9 mil litros por hectare (incluindo o etano de biomassa), contras 2 mil litros por hectare do trigo e 4 mil do milho. Apesar disso, conforme gráfico 1, entre 2012 e 2015, as exportações brasileiras caíram 39,91% em volume e 59,72% em dólares, apontando redirecionamento ao mercado interno do setor sucroalcooleiro, devido ao consumo aquecido (CCGE, 2008; UNICA, 2016).

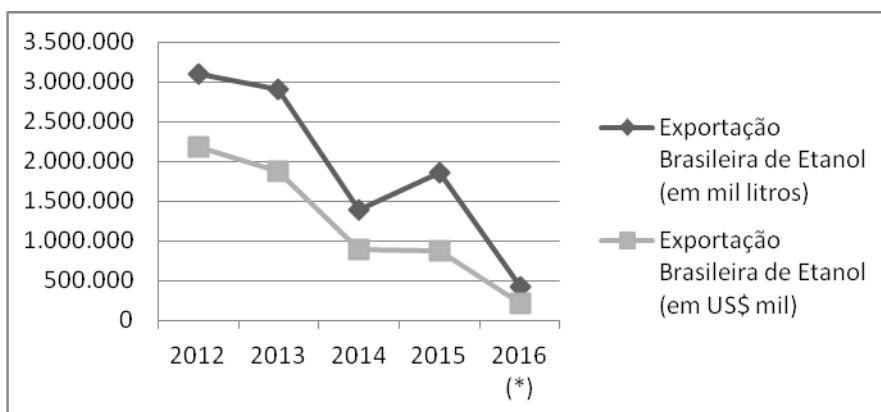


Gráfico 1. Exportação Brasileira de Etanol (em US\$ mil e em mil litros)

Fonte: UNICA (2016).

(*) Valores atualizados em 01/03/2016

A participação do etanol na pauta de exportações nacionais vem decaindo, sendo que em 2008 representava 1,21% das exportações nacionais totais e em 2015 representa 0,46%^[8], ocasionadas pelas mudanças nos preços do açúcar internacional e do etanol, além do consumo interno, (MDIC/SECEX, 2016).

Sendo voltado ao setor externo ou interno, há um crescente mercado para o etanol, devido às legislações ambientais que obrigam o uso de biocombustíveis em meios de transporte, ao cumprimento das exigências do Protocolo de Kyoto, à mistura do biocombustível na gasolina e a disponibilização crescente de automóveis bicompostíveis (PACHECO, 2011). A Lei 13.033, por exemplo, sancionada em setembro de 2014, estabelece que o Poder Executivo poderá elevar de 25% para 27,5% o percentual obrigatório de adição de etanol anidro à gasolina, dada a viabilidade técnica (MILANEZ *et al.*, 2015).

Do ponto de vista ambiental, inúmeros são os benefícios do etanol em geral. Em comparação com o uso da gasolina como combustível, as emissões de CO₂ do etanol se reduzem em 90% durante toda a cadeia produtiva, desde a fase agrícola até o produto final, conforme figura 5. De modo específico, observam-se as seguintes vantagens (CCGE, 2008):

- redução da emissão local de particulados resultantes da queima da cana por meio de legislações específicas no Estado de São Paulo (Lei Estadual 11.241, de 2002) e das emissões das caldeiras por alterações tecnológicas;
- redução da geração de efluentes líquidos, em parte devido à normas técnicas do Estado de São Paulo;
- baixo uso de defensivos agrícolas (praticamente nulo) e de fertilizantes convencionais por conta da reciclagem de nutrientes, característica da cultura de cana em comparação com outras culturas;
- boa capacidade de retenção da água da chuva da cana em relação às outras culturas, aspecto importante para a produção agrícola e para a proteção do solo, e baixa perda do solo, cerca de 62% do valor observado para a soja.

No que se refere especificamente ao E2G, ele se encontra dentro da cadeia do Etanol de 1ª Geração (E1G) e da produção de açúcar e desfruta do mesmo mercado consumidor do E1G, ou seja, não compete com a tecnologia estabelecida, e apresenta vantagens econômicas adicionais. No caso brasileiro, o E2G de cana-de-açúcar é produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar após a extração do caldo, utilizado para produção de açúcar ou E1G, como pode ser visto na figura 5. Os objetivos desta metodologia, que utiliza o bagaço de cana-de-açúcar, são: aumento de produtividade por tonelada de cana-de-açúcar processada e a diminuição na quantidade de resíduos, que podem ainda ser utilizados para produção de energia, por meio da combustão.

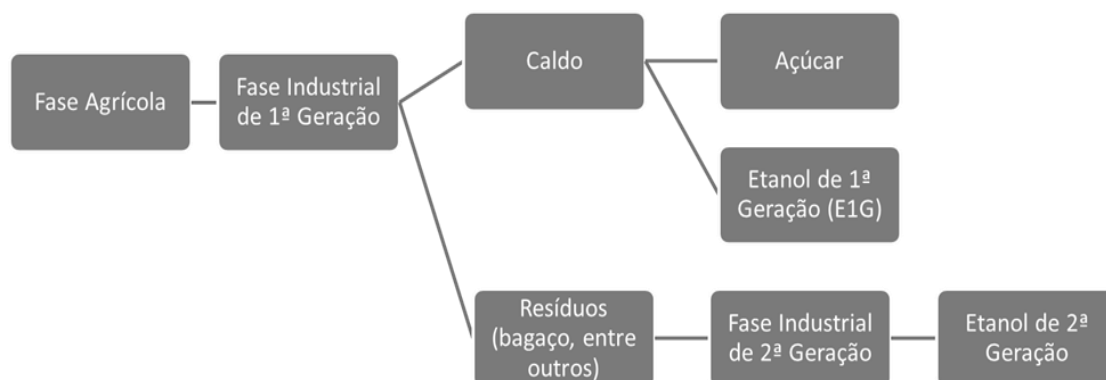


Figura 5. Ciclo produtivo do Etanol de 2ª Geração (E2G)

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas com os especialistas

Para o sucesso deste processo é vital a presença de enzimas que reagem com a lignina presente no bagaço da cana-de-açúcar, que resultam na quebra da celulose e em uma fermentação mais produtiva do bagaço. O aumento esperado de produtividade, em litros de etanol extraído por tonelada de cana processada, pode variar entre 31% e 75%, utilizando um processo de pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses e pentoses e com tecnologia otimizada (CGEE, 2009).

A importância dos ganhos de produtividade decorrentes da redução do tempo de reação é expressa pela possível redução de custo de produção do etanol em 52.9%, além de um ganho de processamento do bagaço de 59%, como demonstram as estimativas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Estimativas econômicas para a produção do Etanol no Brasil

Item	2015	2016
Valor do Bagaço	R\$ 17.20 por tonelada	R\$ 17.20 por tonelada
Processamento do Bagaço	268 mil ton/ano	426 mil ton/ano
Estimativas dos Investimentos	R\$ 124 milhões	R\$ 133 milhões
Custo de processamento do bagaço	R\$ 143,93 / tonelada	R\$ 107.04 / tonelada
Custo de produção do etanol	R\$ 1.53 / litro	R\$ 0.72 / litro

Fonte: CGEE (2009)

De acordo com as estimativas de Milanez *et al.* (2015) realizadas por meio de vários cenários, no longo prazo é possível realizar uma produção de E2G de 350 milhões de litros por ano, com um investimento anual em torno de R\$300 milhões. Os custos de produção tendem a cair ao longo do tempo, passando de R\$1,5 por litro no curto prazo para R\$0,5 no longo prazo. Dessa forma, em comparação com o etanol convencional e com a gasolina, o E2G pode ser mais competitivo, próximo do patamar do Brasil do barril do petróleo de U\$S 44 no longo prazo.

Com relação aos impactos ambientais, os autores sugerem que o efluente líquido resultante da produção da cana-etanol, seja convertido em biogás por meio do processo de biodigestão. O biogás, além de reduzir os odores, pode ser um substituto parcial do diesel usado nos caminhões e máquinas agrícolas.

Ainda, em termos produtivos, enquanto a produção do E1G compete com a do açúcar no que se refere à alocação de recursos e área plantada, a do E2G não oferece esse conflito. Deste modo, a oferta de alimentos (açúcar) não é comprometida pela do E2G. Isso é importante, uma vez que, dados os preços no mercado internacional do açúcar, as usinas devem optar entre uma produção ou outra, o que não ocorre com o E2G.

Portanto, o E2G de cana-de-açúcar pode ser considerado uma inovação ambiental por ser uma inovação tecnológica que visa aumentar a produtividade de extração de etanol por tonelada de cana processada ao mesmo tempo em que permite melhor utilização dos resíduos provenientes do tratamento da cana-de-açúcar, gerando menor impacto ambiental, além de proporcionar oportunidade para uma utilização ecologicamente mais inteligente do solo, retirando a necessidade do aumento de área plantada para melhorar a produtividade na lavoura.

4.3 O Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)²

O Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) foi inaugurado em 22 de janeiro de 2010, como uma iniciativa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) para realizar pesquisas sobre o E2G de cana-de-açúcar como forma de aumentar a capacidade de produção do bioetanol nacional. O CTBE é uma Organização Social (OS), ou seja, pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos, cujas atividades são dirigidas ao ensino, à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico, à proteção e preservação do meio ambiente, à cultura e à saúde. Quando da sua criação, no início de 2009, contava com 6 pesquisadores, sendo 5 doutores e 1 mestre, passando para 141 colaboradores em 2011 (44 doutores, 50 bacharéis e mestres, 26 técnicos e 21 estagiários).

O CTBE foi criado com investimento inicial de R\$ 69 milhões transferidos através de um contrato de gestão com o MCTI. Os projetos que o centro conseguiu assegurar posteriores à sua fundação também tiveram apoio financeiro governamental, de tal modo que o CTBE apresenta seus resultados ao MCTI para haver liberação de orçamento. Dependendo das características dos projetos desenvolvidos no centro pode haver a participação direta ou indireta da iniciativa privada, seja na forma de trabalho em conjunto com técnicos do centro, seja no apoio financeiro ao projeto em questão.

Para ser capaz de entregar pesquisa de alta qualidade em terreno considerado inovador ao país, o centro mantém contato próximo às universidades e instituições de fomento à pesquisa. Assim, pode assegurar aos seus colaboradores e parceiros a entrega de pesquisa de alta qualidade, contando com pesquisadores cedidos pelas suas universidades para trabalhar nos projetos do centro por determinado tempo.

² Seção elaborada a partir das entrevistas com os especialistas e CTBE (2016).

O CTBE foi concebido contendo quatro programas: Agrícola, Industrial, de Sustentabilidade e de Pesquisa Básica. No entanto, dado que o Laboratório teria necessidade de realizar pesquisas com resultados práticos em curto espaço de tempo, foi implementado um quinto programa o de Avaliação Tecnológica, uma plataforma de simulação capaz de receber os dados obtidos pelos outros programas avaliá-los e, caso necessário, sugerir mudanças ou correções de rumo nas pesquisas.

I) Programa Agrícola: Mecanização de Baixo Impacto para o Plantio Direto da Cana-de-Açúcar

Como os custos de produção anteriores à chegada da cana-de-açúcar nas usinas representam cerca de 70% do total, houve a necessidade de renovação na metodologia de cultivo da cana-de-açúcar, além da introdução de mecanização adequada. Com este objetivo em mente, o CTBE iniciou o desenvolvimento de uma Estrutura de Tráfego Controlado (ETC) responsável por todas as operações do ciclo agrônômico da cana, possibilitando drástica redução do nível de compactação do solo e consequente aumento de produtividade. No desenvolvimento da estratégia de Plantio Direto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), líder na implantação do plantio direto em outros setores agrícolas no Brasil, coordenou parte do Programa em parceria com o CTBE.

II) Programa Industrial: Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP)

Um dos objetivos do CTBE é aumentar a produtividade por hectare de cana-de-açúcar. No entanto, para dispor de ambiente de testes escalonáveis até o nível das aplicações industriais, foi necessária a criação do Programa Industrial que consiste de Laboratórios de Processos e de uma Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP). Esta Planta Piloto é aberta à iniciativa privada e às instituições de pesquisa, de modo que tanto os pesquisadores de outros laboratórios poderiam testar a confiança de suas pesquisas em escala semi-industrial quanto as equipes de P&D das indústrias poderiam utilizar a Planta como laboratório de menor custo para aplicação em economias de escala, configurando um ganho triplo para sua implementação (governamental, acadêmico e privado).

A PPDP foi construída em módulos independentes, o que facilita a observação da evolução em cada etapa do processamento da biomassa. A utilização da Planta Piloto tem por objetivo disponibilizar um ambiente de pesquisa de alta tecnologia controlado e com aplicações em escala semi-industrial. O CTBE também utiliza a Planta Piloto para realização de experimentos de inovação no etanol celulósico advindo de outros derivados de alto valor agregado provenientes da cana.

III) Programa de Sustentabilidade

Com foco no impacto de novas tecnologias sobre a sustentabilidade da cadeia produtiva cana-de-açúcar/bioetanol, o CTBE tem cinco pilares fundamentais de P&D neste quesito:

- i) Balanço de energia e de emissão de gases de efeito estufa;
- ii) Mudança no estoque de carbono no solo e emissões de nitrogênio gasoso e metano;
- iii) Impactos diretos e indiretos da mudança do uso da terra;
- iv) Fatores sócio-econômicos e
- v) Impacto na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Portanto, mesmo com um conceito abrangente de sustentabilidade, o CTBE procura inovar na procura por ações que ao mesmo tempo garantam o melhor usufruto dos recursos e insumos e possam ser sustentáveis do ponto de vista social e ambiental.

IV) Programa de Pesquisa Básica

Por ser um laboratório criado para manter o pioneirismo nacional na pesquisa, produção e exportação do etanol, os programas do CTBE encontram empecilhos que não possuem par em situação global. Sendo assim, para poder manter um alto padrão de qualidade em P&D com relação ao Bioetanol, o CTBE criou o Programa de Pesquisa Básica que visa solucionar os gargalos que surgem durante as pesquisas internas dos outros programas.

Dessa forma, une-se a racionalidade acadêmica com a escala industrial para solução de problemas com alta qualidade em curto espaço de tempo, promovendo a posição de liderança em pesquisa de Bioetanol ao CTBE.

Dentro deste cenário, surge o Programa de Avaliação Tecnológica: Biorefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar (BVC). A Biorefinaria Virtual tem por objetivo ser uma solução computacional que permite integrar todos os Programas do CTBE de forma a realizar análises complexas com resultados práticos. Em outras palavras, o CTBE e seus parceiros e colaboradores contam com uma opção de ambiente virtual, com baixos custos de implementação, para avaliação de experimentos industriais em escalas reais.

Para calibrar as operações do ambiente virtual, a BVC utiliza dados reais de indústrias sucroalcooleiras na formulação e refinamento de seus modelos. Tais modelos são utilizados para avaliar as melhorias propostas pelo CTBE, de modo a contemplar todas as variáveis que estão presentes, direta ou indiretamente, no amplo processo de produção do ciclo cana-de-açúcar/etanol.

Assim o CTBE conta com uma gama de produtos e serviços que utiliza para suas próprias pesquisas de alta tecnologia com foco em E2G de cana-de-açúcar, ao mesmo tempo em que oferece estes produtos e serviços à indústria e às Instituições de Pesquisa, tanto na forma de laboratório de inovações (caso da indústria) quanto opção de espaço de testes de escala semi-industrial e laboratório de experimentos (caso da pesquisa acadêmica).

3.3.1 Agentes e suas interações: sistema de inovação ambiental em E2G³

Os agentes que estão envolvidos com o CTBE podem ser divididos em três grupos: órgãos do governo, empresas privadas, Instituições de Pesquisa e demanda, formando o que se chamou de Sistema de Inovação Ambiental em países em desenvolvimento na seção 2. A Figura 6 ilustra melhor a relação entre eles.

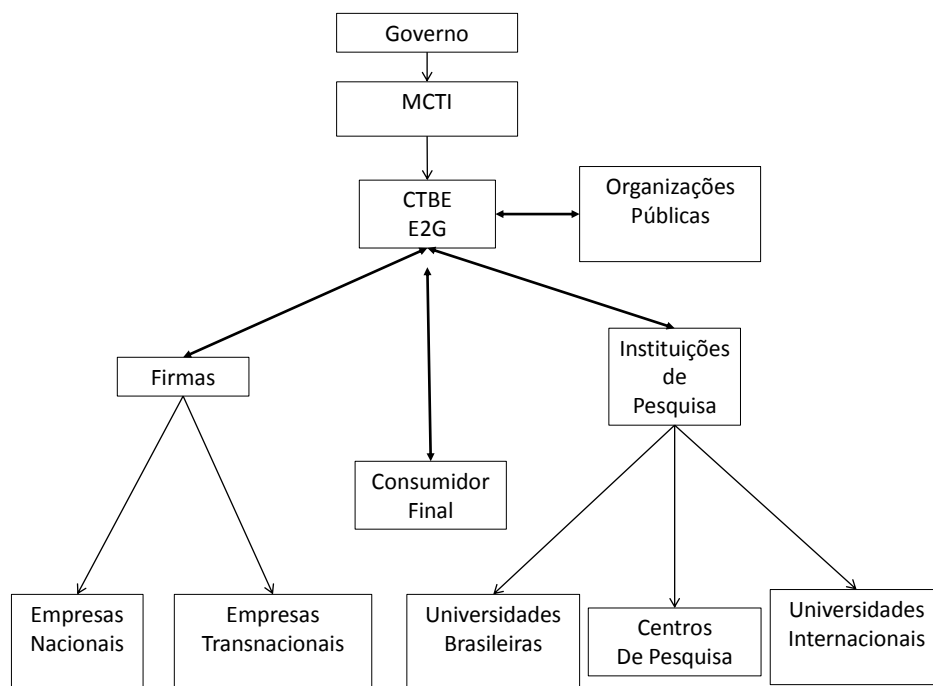


Figura 6. Sistema Inovação do Etanol de Segunda Geração: interação entre os agentes

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas com os especialistas

O CTBE é um dos laboratórios do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM – Campinas/SP), que é gerido pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) através de Contratos de Gestão. Nesses contratos são firmadas as metas que o CNPEM deve cumprir durante o período de vigência, bem como os orçamentos necessários para a realização dos objetivos pelos seus laboratórios. Portanto o orçamento do CTBE é uma fração do orçamento do CNPEM, este proveniente do orçamento do MCTI, firmado através do Contrato de Gestão (CNPEM, 2016).

No entanto, o CTBE também conta com projetos que recebem apoio de órgãos governamentais, como é o caso do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que financiam diretamente os projetos (incluindo pessoal, custeio e investimentos). Neste caso a iniciativa privada tem participação como parceira do ponto de vista técnico e financeiro do projeto (que necessariamente é de seu interesse), de tal modo que as empresas financiam no mínimo 10% do orçamento do projeto, ao passo que o

³ Seção elaborada a partir das entrevistas com os especialistas.

BNDES e/ou a FINEP financiam os 90% restantes. Vale ressaltar que estes financiamentos são feitos a fundo perdido devido à natureza do centro (realiza pesquisas que podem acarretar em insucessos). O BNDES utiliza o BNDES Fundo Tecnológico (BNDES Funtec) para financiar projetos que procuram promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o país, em conformidade com os programas e políticas públicas do Governo Federal (BNDES, 2016). No ano de 2012 o CTBE se tornou parceiro estratégico da iniciativa privada no âmbito do Plano de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergéticos e Sucroquímico (PAISS), financiado pelo BNDES e pela FINEP.

Outra fonte de financiamento advém de instituições de fomento à pesquisa, como a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), entre outros, que concedem recursos para os pesquisadores através da submissão de projetos de interesse do centro. Alguns equipamentos são custeados por esses recursos, pois são demandados nas pesquisas, e ficam para o centro após a finalização dos projetos, podendo ser reutilizados em pesquisas futuras.

O acompanhamento das atividades é feito periodicamente, com avaliações semestrais onde são averiguados os resultados atingidos e aprovados os gastos referentes às parcelas dos financiamentos. A fiscalização técnica e financeira, tanto por parte dos financiadores (como BNDES, FINEP, iniciativa privada) quanto dos agentes governamentais, é a chave para o desenvolvimento de projetos com resultados favoráveis, realizados dentro do orçamento. As reuniões de acompanhamento de resultados contam com todos os agentes envolvidos para avaliação tanto dos aspectos técnicos quanto financeiros dos projetos, e a avaliação positiva é condição necessária tanto para a continuidade do projeto quanto para a liberação de nova parcela do financiamento. Esta metodologia também é empregada pelo MCTI nas avaliações de laboratórios do CNPEM, de modo a averiguar se as metas do contrato de gestão estão sendo cumpridas.

Nas relações com as empresas, o CTBE, em oportunidades distintas ao longo de sua trajetória, promove encontros na forma de *workshops* para obtenção de novas ideias e direcionamento das pesquisas realizadas. Nestes *workshops* participam tanto empresas nacionais quanto transnacionais, que enxergam no centro uma oportunidade de utilizar sua estrutura para experimentos com introdução de novas tecnologias. Em contrapartida, o centro recebe apoio tanto na forma de incentivo intelectual quanto na forma de obtenção de equipamentos para os laboratórios durante projetos, os quais o centro pode usufruir tanto no projeto firmado com o(s) parceiro(s), quanto após a conclusão do projeto e em novas empreitadas.

Já as instituições de pesquisa se relacionam com o centro através da sinergia entre seus pesquisadores na medida em que mantém contato próximo, de forma que o centro possa assegurar melhor qualidade intelectual nas pesquisas realizadas. Os Institutos de Ensino Superior (IES)

podem ceder seus pesquisadores para projetos que são realizados no CTBE, ou iniciar um projeto de pesquisa em parceria com o centro, de modo que pesquisadores do CTBE podem usar as instalações das IES e vice-versa, conforme estabelecido em contrato de parceria. Dessa forma as IES podem formar uma parceria de cooperação científica com o CTBE. Vale ressaltar que instituições públicas, como o caso da EMBRAPA, podem realizar parceria com o CTBE em qualquer uma das modalidades acima, embora usualmente o faça da mesma forma que parcerias com IES.

No quadro 3 abaixo dela constam parceiros do período de 2008 à 2012, porém vale ressaltar que estes não são os únicos parceiros do CTBE, uma vez que novas parcerias foram firmadas e outras já não perduram mais.

Quadro 3. Descrição dos principais agentes envolvidos

Tipo de agente	Descrição
Organizações Públicas	MCTI, FAPESP, CNPQ, BNDES, FINEP, EMBRAPA, Petrobrás, CENPES, CTC, Inmetro, FACEPE, CGEE e INPE
Instituições de Pesquisa Nacionais	Universidade de Caxias do Sul, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade Federal do Paraná, Universidade de Brasília, Escola Politécnica da USP, Instituto Agrônomo de Campinas, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), FEAGRI/Unicamp, Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Economia Agrícola, Esalq/USP, NIPE/Unicamp, UFPE e UFSCar
Instituições de Pesquisa Estrangeiras	Lund University Sweden, University of California, Imperial College London, INTA Argentina, Green Design USA, NREL USA, Utrecht University Holanda e KTH Sweden
Empresas Nacionais	Dedini, Usina da Pedra, Máquinas Agrícolas Jacto, Tecnometal, Bittencourt Assessoria, Implanor Implementos Agrícolas do NE, Braskem e Ultra
Empresas Transnacionais	Dow Chemical, Corn Products, Rhodia, WEG automação, ETH, Oxiten e Delta CO2

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas com os especialistas.

O papel da demanda, representada pelo consumidor final, é certa e crescente, tanto no mercado interno quanto no internacional. O produto final (etanol) não é alterado e o aumento da sua oferta tem escoamento por causa do interesse no uso dos carros *flex*, das legislações nacionais que exigem a mistura com a gasolina e internacionais, bem como tem respaldo nos acordos internacionais de redução das emissões de CO₂ (Protocolo de Kyoto).

Portanto, há uma interação coesa e harmônica entre os agentes. Como alguns resultados inovativos desse sistema, ressalta-se o registro de patentes: somente entre os anos de 2011 e 2013 o CTBE registrou 19 patentes, das quais 4 de máquinas agrícolas, 2 de dispositivos, 9 de processos químicos/bioquímicos e 4 de enzimas/coquetéis enzimáticos.

Conclusão

O objetivo desse trabalho foi defender a possibilidade de constituição de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento por meio do estudo de caso do desenvolvimento do Etanol de 2ª Geração realizado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

(CTBE) no Brasil. A reflexão teórica realizada a partir da literatura que trata de sistemas de inovação ambiental (assentada em países desenvolvidos) e da literatura sobre sistemas de inovação “tradicional” em países em desenvolvimento, permitiu construir uma estrutura analítica para discutir sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento. Com foco em um objetivo ambiental específico, as inovações ambientais resultam da interação coesa entre governo (por meio de políticas ambientais e de ciência e tecnologia), firmas (nacionais e filiais de transnacionais), instituições de pesquisa (nacionais e estrangeiras) e a demanda.

A partir desse esforço analítico, foi realizado o estudo de caso sobre o E2G desenvolvido pelo CTBE, uma instituição privada sem fins lucrativos que oferece diversos produtos no ciclo produtivo do bioetanol. A forma sistêmica como vem ocorrendo a pesquisa e o desenvolvimento do E2G, a partir da interação entre o MCTI, Universidades Nacionais e Estrangeiras, firmas nacionais e filiais de transnacionais, em um mercado em ascensão, cuja produção gira em torno de 140 milhões de litros de E2G ao ano, representa um caso de êxito em termos de inovação ambiental.

O E2G possui uma estimativa de redução dos custos do etanol, maior produtividade do que outros combustíveis ao mesmo tempo em que reduz os danos ao meio ambiente, uma vez que é produzido a partir da biomassa (resíduo) da cana. Apesar do E2G já ser uma realidade, seu grande desafio é a produção em grande escala.

Como apontado por Milanez *et al.* (2015), o aumento da oferta do E2G pode alterar o atual paradigma tecnoeconômico da indústria da cana-de-açúcar, resgatando sua competitividade, mas isso não é espontâneo e depende de esforço político. Dentre as políticas sugeridas pelos autores, embora não haja uma medida ambiental específica sobre E2G, alguns instrumentos podem auxiliar no aumento da sua produção, como a Lei 13.033, que trata do percentual obrigatório de adição de etanol à gasolina de 25% a 27,5. Caso 10% desse volume adicional (cem milhões de litros) fosse direcionado para o consumo de etanol anidro celulósico, a produção das primeiras plantas brasileiras receberiam suficiente incentivo para distribuir seu produto localmente.

Além disso, são sugeridas políticas em outros escopos, como subsídios ao consumidor; incentivos à produção, como isenção ou dedução fiscal; financiamento para P&D aplicada (às empresas e Institutos de Pesquisa) e regulamentação da biotecnologia industrial.

Referências

ALTENBURG, T. Building Inclusive Innovation Systems in Developing Countries: Challenges for IS Research. In: LUNDVALL, B.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C. e VANG, J. (eds.) Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

ASHFORD, N. A. Government and Environmental Innovation in Europe and North America. In: WEBER, M.; HEMMESLSKAMP (Editors). *Towards Environmental Innovation Systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES Fundo Tecnológico – BNDES Funtec, 2016. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/funtec.html . Acesso em 01/03/2016.

BOGLIACINO, F., PERANI, G., PIANTA, M. E SUPINO, S . Innovation and Development: The Evidence From Innovation Surveys. Milão, Bocconi University, 2009.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS- CGEE. Bioetanol de cana de açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. BNDES e CGGE, Rio de Janeiro : BNDES, 2008.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS- CGEE. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil – Brasília, DF, 2009.

CHAMINADE, C.; LUNDVALL, B. A., VANG, J., JOSEPH, K. J. Design innovation policies for development: towards a systemic experimentation-based approach. In: : LUNDVALL, B.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C. e VANG, J. (eds.) *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

GREEN, K. *Towards Environmental Innovation - A Policy Synthesis*, In: WEBER, M.; HEMMESLSKAMP (Editors). *Towards Environmental Innovation Systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE – Ministério de Minas e Energia, Cadernos de Energia – Perspectivas para o etanol no Brasil, 2008.

KEMP, R., SOETE, L. *Inside the “green box”: on the economics of technological change and the environment*. In: FREEMAN, C.; SOETE, L. (eds.) *New explorations in the economics or technological change*. Pinter Publishes, London & New York, 1990.

KEMP, R., ARUNDEL, A. *Survey Indicators for Environmental Innovation*. Oslo: IDEA report, STEP group, 1998.

KEMP, R., ROTMANS, J. *The Management of the Co-evolution of Technical, Environmental and Social Systems*. In: WEBER, M.; HEMMESLSKAMP (Editors). *Towards Environmental Innovation Systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL - CTBE, Campinas, 2016. Disponível em <http://ctbe.cnpem.br/o-ctbe/historia-ctbe/>. Acesso em 01/02/2016.

LEITE R.C.C., LEAL M.R.L.V., CORTEZ L.A.B., GRIFFIN W.M., SCANDIFFIO M.I.G. Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol? *Energy* 34:655-661, 2009.

LIU, X. National Innovation Systems in Developing Countries: The Chinese National Innovation System in Transition. In: LUNDVALL, B.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C. e VANG, J. (eds.)

Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

LUNDVALL, B.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C. e VANG, J. (eds.) Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

LUSTOSA, M. C. *Meio Ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo*. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2002.

MILANEZ, A. Y. *et al.* De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. BNDES Setorial, 41. Rio de Janeiro : BNDES, março de 2015.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC/ SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Exportação Brasileira-Produto por Fator Agregado (2008-2015), 2016. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1161>. Acesso em 01/03/2016.

NIOSI, J. Building National and Regional Innovation Systems. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2010.

OECD. OECD Studies on environmental innovation: better policies to support eco-innovation, 2011.

OLTRA, V. *Environmental Innovation and Industrial Dynamics: The Contributions of Evolutionary Economics*. 1ª DIME Scientific Conference, Universidade Louis Pasteur, França, 2008.

OLTRA, V.; JEAN, M. S. Sectorial systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry. *Technological Forecasting & Social Change* 76, p. 567-583, 2009.

PACHECO, T. F. Produção de Etanol de primeira ou segunda geração? Circular Técnica, Brasília : DF, abril de 2011.

PATEL, P.; PAVITT, K. Uneven (and divergent) Technological Accumulation Among Advanced Countries: Evidence and a Framework of Explanation. In: DOSI, G.; TEECE, D.; CHYTRY, J. (eds) *Technology, organization, and competitiveness Perspectives on Industrial and Corporate Change*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

PORTER, M. E.; van der LINDE, C. *Towards a new conception of the environment – competitiveness relationship*. *Journal of Economic Perspectives*. Volume 9, number 4, 1995.

PRATES, T.; SERRA, M. Sistemas regionais de inovação em tecnologias ambientais: a experiência de North-Rhine Westphalia, Alemanha. *Economia & Tecnologia*, ano 2, v. 7, out-dez de 2006.

SRHOLEC, M. A Multilevel Analysis of Innovation in Developing Countries. Prague: CERGE-EI, 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. Exportação Anual de Etanol pelo Brasil por Estado de Origem, 2016. Disponível em <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=23&ano=civil>. Acesso em 01/03/2016.

WEBER, M.; HEMMELSKAMP, J. *Towards Environmental Innovation Systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

WORLD BANK. Promoting Innovation in Developing Countries: A Conceptual Framework. World Bank Policy Research Working Paper, 2004.