



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

PEDRO PINHO SENNA

**UMA ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE OS
PROCESSOS PRODUTIVOS DO ETANOL DE
PRIMEIRA GERAÇÃO E DE SEGUNDA
GERAÇÃO**

Discente: Pedro Pinho Senna

Orientador: Prof.^a. Dr^a. Stela Luiza de
Mattos Ansanelli

Banca Examinadora: Prof. Dr. Rogério
Gomes

Araraquara, Fevereiro de 2017.

PEDRO PINHO SENNA

UMA ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE OS PROCESSOS PRODUTIVOS DO ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO E DE SEGUNDA GERAÇÃO

Monografia apresentada ao departamento de Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/Araraquara, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Stela Luiza de Mattos Ansanelli

Banca examinadora: Prof. Dr. Rogério Gomes

Araraquara – SP

2017

PEDRO PINHO SENNA

UMA ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE OS PROCESSOS PRODUTIVOS DO ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO E DE SEGUNDA GERAÇÃO

Monografia apresentada ao departamento de Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/Araraquara, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Stela Luiza de Mattos Ansanelli

Banca examinadora: Prof. Dr. Rogério Gomes

Data da defesa/entrega: ____/____/____

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Stela Luiza de Mattos Ansanelli

Banca examinadora: Prof. Dr. Rogério Gomes

UNESP – Campus de Araraquara

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente meus pais, Carlos Roberto Senna e Maria Glória de Oliveira Pinho, que são minha base, motivando, educando e incentivando em todos os momentos. Devo absolutamente tudo a eles, sem os quais não seria nada.

Agradeço minha família pelo carinho, compreensão, suporte e motivação durante essa longa jornada.

Agradeço aos meus amigos por toda a amizade, incentivo e otimismo em toda essa trajetória universitária, com momentos únicos e memoráveis.

Agradeço a minha orientadora, prof.^a. Dr^a. Stela Ansanelli, que muito me agraciou com ensinamentos valiosos, motivação e orientações infindáveis. Sem seu auxílio, compreensão, disponibilidade e amizade esta tese não seria concluída.

Agradeço ao professor Dr. Rogério Gomes, que foi muito solícito e atencioso durante todo o processo de concepção da monografia, auxiliando em todas as etapas com contribuições valiosas.

Agradeço ao professor Dr. Carlos Eduardo Vaz Rossell e ao professor Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima por todo carinho, suporte, disponibilidade, auxílio e incentivo, sempre dispostos a contribuir com ensinamentos e informações fundamentais.

Agradeço ao senhor Alexandre Enrico Figliolino pela disponibilidade para conceder entrevista e pelas informações fornecidas.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os ciclos-produtivos do Etanol de Primeira Geração (E1G) e Etanol de Segunda Geração (E2G) de modo a determinar o nível de intensidade tecnológica do E2G no ciclo integrado e sua tipologia dentro do tema das inovações. A metodologia proposta é de revisão bibliográfica sobre conceitos, indicadores, tipos e determinantes de inovações ambientais, e os critérios e indicadores de intensidade tecnológica. Também pretende-se observar os aspectos econômicos, tecnológicos, sociais e ambientais do ciclo-produtivo de cada um dos processos, de forma a compreender o grau de interação no ciclo-integrado e os efeitos sobre os impactos ambientais. Observou-se que o E2G se caracteriza como inovação ambiental de processo e que apresenta maior nível de intensidade tecnológica em relação ao E1G, além de reduzir os impactos ambientais negativos. Para evidenciar essas observações utilizou-se amplo banco de dados e revisão bibliográfica de literatura especializada, bem como entrevistas com especialistas.

Palavras-chave: E1G, E2G, ciclo-integrado, inovação ambiental, intensidade tecnológica.

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate First Generation Ethanol's (FGE) and Second Generation Ethanol's (SGE) production cycles in order to determine the level of SGE's technological intensity in the integrated cycle and its typology inside the theme of innovations. The suggested methodology comprises of a review of literature surrounding the concepts, indexes, types and determinants of environmental innovations, also the requirements and indexes of technological intensity. In addition, this work intends to study economical, technological, environmental and social aspects of each production process in order to comprehend the level of interaction in the integrated cycle and its effects over environmental impacts. It has been observed that SGE characterizes as a process environmental innovation and that it puts forward a higher level of technological intensity in relation to FGE, as well as reducing negative environmental impacts. A wide selection of database and review of specialized literature, as well as interviews with experts have been described to demonstrate these remarks.

Keywords: FGE, SGE, integrated cycle, environmental innovation, technological intensity.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Resumo dos conceitos de inovação ambiental

QUADRO 2 – Resumo dos principais indicadores de inovação ambiental

QUADRO 3 – Síntese dos principais tipos de inovação ambiental por autor

QUADRO 4 – Resumo dos principais critérios e categorias de intensidade tecnológica

QUADRO 5 – Síntese de comparação entre os ciclos produtivos

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Ciclo integrado do etanol (E1G e E2G)

FIGURA 2 – Diagrama ilustrativo da Fase Industrial de 1ª Geração

FIGURA 3 – Diagrama ilustrativo da Fase Industrial de 2ª Geração

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Produção Brasileira de Etanol

GRÁFICO 2 – Preços Etanol Anidro e Hidratado para o estado de São Paulo

GRÁFICO 3 – Paridade Etanol x Gasolina

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Situação Financeira – Usinas de Açúcar e Etanol

TABELA 2 – Síntese de Preços Médios ao Consumidor

TABELA 3 – Características básicas das usinas com produção em escala comercial

TABELA 4 – Características econômicas - usinas com produção em escala

TABELA 5 – Índices hídricos – consumo, reuso e captação 2ª Geração

TABELA 6 – Custo de mão-de-obra do setor sucroalcooleiro brasileiro

TABELA 7 – Investimento em usinas integradas

TABELA 8 – Índices hídricos – Comparação média E2G / Integrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. CAPÍTULO 1 – Inovação ambiental e critérios de intensidade tecnológica	13
1. Conceitos de inovação ambiental.....	13
2. Principais indicadores de inovação ambiental.....	16
3. Tipos de inovação ambiental e de tecnologias ambientais.....	21
4. Principais determinantes de inovação ambiental.....	26
5. Intensidade tecnológica: critérios e indicadores.....	27
3. CAPÍTULO 2 – Ciclos-produtivos, aspectos característicos e integração.....	32
1. Etanol de Primeira Geração (E1G).....	32
1.1 Ciclo-produtivo.....	32
1.2 Aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais.....	34
2. Etanol de Segunda Geração (E2G).....	42
2.1 Ciclo-produtivo.....	42
2.2 Aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais.....	44
3. Integração E1G-E2G.....	51
4. CONSIDERAÇÕES FINAL.....	56
1. E2G como inovação ambiental.....	56
2. E2G e intensidade tecnológica.....	59
3. Conclusões.....	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

INTRODUÇÃO

As energias renováveis e os biocombustíveis são, cada vez mais constantemente, objeto de pesquisas e estudos acadêmicos, conferindo ampla bibliografia acerca dos temas. Este cenário de preocupação crescente com relação à sustentabilidade tem auxiliado na fomentação pelo interesse tanto de pesquisadores e laboratórios públicos renomados quanto de empresários e agentes do setor privado, especialmente pela capacidade de agregar vantagens competitivas e a redução de impactos ambientais. No entanto, estudos mais detalhados acerca das inovações ambientais do setor apresentam caracterizações distintas sobre o tema, não incorrendo em um consenso.

Nesse contexto ressalta-se o alto número de estudos que tratam do Etanol de 1ª Geração (E1G) e Etanol de 2ª Geração (E2G) do ponto de vista dos respectivos aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais, contribuindo em demasia para o rápido desenvolvimento do biocombustível. Porém, pouco se observa na literatura sobre as características do ciclo-integrado E1G/E2G nesses aspectos, que procure analisar o nível de intensidade tecnológica do E2G comparado ao E1G, ou que disponha de uma definição para o tipo de inovação que o E2G representa no ciclo-integrado. Dessa forma, se faz necessária uma análise sucinta das características de inovações tecnológicas em geral, de modo a compor a base para as discussões sobre conceitos, indicadores, tipos e determinantes de inovação ambiental, e para as discussões sobre critérios e indicadores de intensidade tecnológica.

De acordo com IBGE (2007), a inovação pode ser definida como a criação e aplicação de produtos ou serviços tecnologicamente novos ou modificados, apresentando correspondência com a abordagem neoschumpeteriana sobre mudanças tecnológicas. Esta abordagem expõe a tomada de decisões das firmas com objetivo de apropriação de lucros, a interação com um cenário político-econômico com forte presença de incerteza e com a possibilidade de não-disponibilidade tecnológica (DOSI, 1982; NELSON & WINTER, 1982).

Nesse sentido, Kemp e Arundel (1998) abordam o tema das inovações ambientais como derivadas da abordagem teórica da inovação tradicional, e definidas como processos, técnicas, sistemas e produtos, novos ou modificados, que procuram prevenir ou reduzir impactos ambientais. Os autores tratam de inovações que podem ser técnicas ou organizacionais, além

de classificá-las entre tecnologias de fim de linha (*end-of-pipe*), relacionadas à remediação e gestão de poluentes; e tecnologias limpas (*clean technologies*), que apresentam característica preventiva e de redução de produção de poluentes.

O processo de inovação ambiental se diferencia da inovação tecnológica tradicional, especialmente com relação aos fatores determinantes e difusores de inovação ambiental, onde o papel da pressão regulatória é visto como impulsionador tanto da utilização quanto da geração de tecnologias ambientais. Outros determinantes de inovação ambiental propostos na literatura vêm na forma de sistemas de inovação, que facilitam a interação entre agentes tanto na geração do conhecimento quanto na transferência de informações e fatores internos e externos à firma, como nível de competência tecnológica e cenário macro (ANDERSEN, 2005; KEMP & ARUNDEL, 1998; LUSTOSA, 2011; QUEIROZ, 2011).

Em se tratando de características econômicas, o etanol apresenta mercado com demanda aquecida e produção crescente, conferindo substanciais vantagens ambientais frente aos combustíveis de origem fóssil. O Etanol de 2ª Geração (E2G), produzido a partir de resíduos (bagaço e palha) da cana-de-açúcar, constitui uma inovação ambiental, por gerar ganhos de produtividade com redução de custos e impactos socioambientais positivos. Apesar de desfrutar do mercado aquecido, seu modo de produção apresenta algumas especificidades com relação ao Etanol de 1ª geração (E1G). Além disso, o E2G tem sido bastante estudado pelas áreas de química e engenharia, mas pouco investigado sob o olhar abrangente das ciências sociais aplicadas (ANSANELLI et al, 2016).

O início dos anos 2000 viu um forte avanço das potências mundiais, lideradas especialmente pelos Estados Unidos da América, em favor da substituição das bases de suas matrizes energéticas, atualmente centradas em combustíveis fósseis, por alternativas focadas em energias renováveis. A liderança americana se deu por conta do domínio da tecnologia de extração de etanol a partir do milho, recebendo maior importância após os abalos políticos que envolveram os países líderes e países do Oriente Árabe, mais notadamente Iraque e Afeganistão, onde os conflitos entre as nações levaram à solavancos no comércio do petróleo mundial.

Este novo impulso no setor sucroalcooleiro mundial repercutiu de forma positiva no Brasil, liderança no segmento até então, que utilizou seu conhecimento na extração de etanol a partir de cana-de-açúcar como alternativa ao uso gasolina como principal combustível veicular.

As iniciativas governamentais e da iniciativa privada nos setores sucroalcooleiro e automobilístico levaram à criação do motor *flex-fuel*, bicomcombustível, implementado com muito sucesso na indústria nacional, e responsável pela aceleração do mercado nacional de etanol. Entre 2003 e 2007 a demanda por etanol hidratado aumentou 273,36%, variando de 3.792 mil m³ em 2003 para 10.366 mil m³ em 2007 (EPE, 2008), o que demonstra o crescimento expressivo do setor, aliado à implantação do motor flex-fuel no mercado nacional, que já supera 90% dos motores da produção automobilística leve nacional (IICA, 2008).

O processo industrial de 1ª Geração gera como resíduo o bagaço e as palhas da cana-de-açúcar, que podem ser usadas para produção de energia elétrica (através da queima dos resíduos, o que garante autossuficiência energética às usinas, além de excedente para venda à rede elétrica local). Estes resíduos também podem ser usados para fabricação do E2G, passando pela Fase Industrial de 2ª Geração, onde a biomassa passa pelo pré-tratamento, que pode ser de dois tipos distintos:

i) Pré-tratamento sólido – com geração de celulose e lignina, e custo inferior à segunda modalidade de pré-tratamento, esta modalidade apresenta maior concentração de sólidos, conferindo menor produtividade de etanol extraído por tonelada de bagaço pré-processado;

ii) Pré-tratamento líquido – através de licor de pré-tratamento, nesta modalidade há a geração de hemicelulose, com menor concentração de sólidos, porém apresentando um custo mais elevado.

Após a fase de pré-tratamento, os resíduos passam por um processo envolvendo hidrólise enzimática, e submetida, na sequência, por processos de fermentação e destilação, culminando na produção de etanol de 2ª geração (COSTA, 2014). Vale ressaltar que o E1G e E2G só diferem com relação aos processos produtivos, sendo sua composição química e produto final idênticos, que seria o etanol anidro ou hidratado (C₅H₅OH).

Dessa forma, mesmo demonstrando ampla base teórica sobre os conceitos de inovação ambiental e intensidade tecnológica e existindo vasto banco de dados e informações acerca do E1G e E2G, inexistiu um estudo que tente abordar as análises características do ciclo integrado de forma a estabelecer um paralelo com a base teórica.

Portanto o presente estudo tem como objetivo relacionar, de forma resumida, os conceitos de inovação ambiental, seus indicadores, tipologia e determinantes, bem como os

critérios e indicadores de intensidade tecnológica; com as características econômicas, tecnológicas, sociais e ambientais do ciclo-integrado, de modo à compreender qual o tipo de inovação que o E2G representa e se ele é mais intensivo em tecnologia do que o E1G. Este trabalho foi dividido em dois capítulos, sendo o primeiro direcionado a realizar uma revisão teórica, segundo alguns autores, sobre os temas da inovação ambiental e intensidade tecnológica; e o segundo fornecerá as informações características dos ciclos-produtivos do E1G e E2G, além das características do ciclo-integrado; as considerações finais discorrerão sobre as relações entre as conclusões de base teórica e as características do E2G dentro do ciclo-integrado, destacando o fato do E2G ser mais intensivo em tecnologia do que o E1G. além de ser inovação ambiental de processo.

CAPÍTULO 1

Inovação ambiental e critérios de intensidade tecnológica

Este capítulo foi concebido com o intuito de discutir diferentes conceitos, indicadores, tipos e determinantes de inovação ambiental, além de critérios de intensidade tecnológica distintos. Para tanto, foi dividido em quatro seções, assim distribuídas: a Seção 1 trata sobre os conceitos de inovação com ênfase na inovação ambiental (IA); a Seção 2 traz uma discussão sobre indicadores de inovação ambiental; a Seção 3 discorre sobre os tipos de inovações ambientais; a Seção 4 abrange os principais determinantes de inovações e inovações ambientais; por fim, a Seção 5 faz uma discussão sobre critérios e indicadores intensidade tecnológica.

1. Conceitos de inovação ambiental

O conceito no qual se baseia esta pesquisa, conhecido como inovação e, mais especificamente, aqueles de inovações ambientais, tem sido discutido pelas diversas correntes teóricas de ciências econômicas, sendo maior foco de estudo por parte das correntes schumpeterianas. Em se tratando da abordagem neoschumpeteriana, que discute as mudanças tecnológicas, as firmas tomam suas decisões visando a apropriação dos lucros, o que leva a uma interação com o ambiente formada pela incerteza e não-disponibilidade tecnológica. Para contornar estes obstáculos, as firmas efetuam um processo de busca inovativa, através de procedimentos de “rotinas de trabalho” que definem todos os aspectos da produção. Assim, essa busca inovativa gera mudanças que amplificam o poder de armazenagem do conhecimento, possuindo um caráter tácito e específico ao objetivo delimitado (DOSI, 1982; NELSON & WINTER, 1982).

Originalmente proposto por Schumpeter (1982), o termo **inovação** é revelado como formador de nova organização de trabalho, através de um conjunto de novas funções evolutivas capazes de alterar os métodos de produção. Além disso, inovação também pode possibilitar a abertura de novos mercados, por conta da criação de novos produtos e/ou serviços que geram impacto no comportamento dos consumidores, alterando suas preferências. Dessa forma, segundo a abordagem schumpeteriana, as inovações, quando incorporadas ao processo produtivo, podem promover mudanças no ritmo de crescimento econômico e na estrutura produtiva como um todo.

Portanto a busca das firmas por inovações, de maneira generalizada, tem como objetivo a expectativa de melhorar sua posição frente aos competidores, através de maior obtenção de lucros, ou, ao menos, em favor da manutenção da fatia de mercado. A capacidade das firmas de inovar está diretamente associada ao aprendizado acumulado através de maiores investimentos em P&D, *learning-by-doing* e *learning-by-using*, o que também indica o direcionamento do desenvolvimento evolutivo das firmas (BISSOLI, 2013; OECD, 2005).

Atualmente o conceito de inovação comporta definições díspares, de modo que um pequeno resumo das principais abordagens se faz necessário para conferir o arcabouço teórico de inovação ambiental. A inovação é caracterizada por Dosi (1982) como um processo de busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, processos e novas técnicas organizacionais; que guarda diferenças com relação a definição fornecida pelo Manuel de Oslo (OECD, 2005), que traz uma distinção entre inovações de produtos e de processo. A inovação de produtos se refere a mudanças significativas nas características potenciais de produtos e serviços, sejam novos ou aperfeiçoamento dos existentes, enquanto que a inovação de processos representa mudanças no processos produtivo e/ou logístico-distributivo do produto.

Apesar do quadro aparentemente positivo das inovações, Lustosa (2002) faz uma ressalva sobre a possibilidade de a evolução tecnológica gerar externalidades negativas, em particular, problemas ambientais, argumentando que o padrão tecnológico até então adotado pelos países industrializados atingira seu limite e havia uma necessidade para a mudança da base do crescimento econômico. Esta deixaria de ter raízes no padrão tecnológico intensivo no uso de matérias-primas e energia para um padrão tecnológico ambientalmente sustentável, degradando menos o meio ambiente, ao mesmo tempo um padrão tecnológico capaz de gerar uma distribuição mais igualitária dos benefícios desse crescimento, culminando no desenvolvimento sustentável de longo prazo. Dessa forma, o crescimento econômico através das inovações pode ser possível para todos os países, por meio de tecnologias mais limpas e ambientalmente eficientes.

Dentro deste contexto de inovação com desenvolvimento sustentável tem-se o conceito de Inovação Ambiental ou Eco Inovação, cuja definição exata inexistente na literatura específica dada a natureza jovem da discussão, sendo abordada por autores neoschumpeterianos de modos distintos.

Um dos principais autores que tratam sobre o tema da inovação ambiental é René Kemp, tendo discutido a definição do tema em publicação conjunta com Smith e Becher (2000), onde afirmam que Inovação Ambiental (IA) consiste em processos novos ou modificados, técnicas, sistemas de práticas e produtos para evitar ou reduzir os danos ambientais. Oltra (2008), por sua vez, afirma que inovações ambientais são um conjunto muito heterogêneo de inovações, pelo fato de que cada processo ou produto constituído que se prove mais eficiente em recursos e/ou menos poluente pode caracterizar uma inovação ambiental. O resultado de um processo dinâmico e interativo entre instituições, tecnologia e indústria, com caráter sistêmico e setorial, é a inovação ambiental, de modo que as políticas de inovação e ambientais influenciam e são influenciadas pelo regime tecnológico vigente. (OLTRA, 2008; OLTRA, JEAN, 2009).

A Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OECD) também trata do conceito de inovação ambiental em suas publicações, sendo colocado como um conceito alusivo, sem possibilidade de obter uma definição robusta, de modo que as interpretações variam entre os países membros da OECD. No relatório de 2011, após análises de estudos de casos, a OECD definiu Inovação Ambiental como toda forma de inovação que reduz os impactos ambientais e/ou otimizam o uso de todos os recursos relacionados as atividades de seu ciclo de vida., sendo fonte potencial de vantagem competitiva em ambientes que crescem rápido (indústria de bens e serviços, por exemplo) (BISSOLI, 2013; OECD, 2011).

De modo sucinto, pode-se caracterizar inovação ambiental como processos, técnicas, sistemáticas ou produtos novos ou modificados que evitam ou reduzem danos ambientais, podendo ser de caráter técnico ou organizacional. A inovação organizacional apresenta modificações na estrutura organizacional, nas rotinas e nas práticas da companhia, de modo que os métodos tradicionais de pesquisa não são adequados para mensurar a maioria das inovações ambientais de caráter organizacional, dando maior enfoque para entrevistas semiestruturadas e estudos de casos (KEMP; ARUNDEL, 1998). De modo sucinto, os diferentes conceitos de inovação ambiental, sob a perspectiva dos autores analisados nesta seção, podem ser observados no QUADRO 1.

QUADRO 1 – Resumo dos conceitos de inovação ambiental

Autor	Definição de Inovação Ambiental
FOXON E ANDERSEN (2007)	O conjunto de inovações, estruturas organizacionais, instituições e práticas que tem por objetivo a redução de poluentes e de impactos ambientais.
KEMP E FOXON (2007)	Definem como aquela inovação que incorre, ao longo do seu ciclo de vida, em redução do risco ambiental, do nível de poluição e de impactos negativos sobre recursos naturais utilizados.
KEMP, SMITH E BECHER (2000)	Processos, técnicas, práticas e/ou produtos, novos ou modificados, que objetivam prevenir ou reduzir os impactos ambientais
OECD (2009; 2011)	São todas as inovações que tem por objetivo causar um impacto mais favorável sobre o meio ambiente, quando comparadas às alternativas relevantes.
OLTRA (2008)	Cada processo ou produto que demonstra ser mais eficiente em termos de utilização de recursos naturais e/ou menor impacto ambiental.

Fonte: Elaboração própria

Logo, conclui-se que o conceito de inovação ambiental é definido por produtos novos ou melhorados e processos novos ou melhoras que apresentam maior grau de sustentabilidade ambiental, sendo as características específicas distintas para cada autor.

2. Principais indicadores de inovação ambiental

Sob o ponto de vista de indicadores gerais de inovação, vale destacar a importância conferida pelo Manual de Oslo (OECD), que é a Proposta de Diretrizes para Coleta e

Interpretação de dados sobre inovação tecnológica com objetivo de padronizar conceitos, metodologias, construção de estatísticas e indicadores de P&D de países industrializados. Segundo o manual, o início do processo de inovação está na determinação dos objetivos da empresa, sendo auxiliado por fatores internos e externos ao processo.

Sendo assim, é evidente que existe uma vasta gama de indicadores de inovação ambiental com diferentes focos de análise, tais como os que descrevem os efeitos da inovação no desempenho da empresa, ou aquelas que analisam a difusão da inovação ou da P&D, concessão de patentes e aquisição/difusão de tecnologia. Em um esforço sintético é possível distinguir os indicadores, de maneira geral, entre aqueles destinados à Ciências e Tecnologia (C&T): os indicadores de recursos focados em P&D, e os indicadores baseados em estatísticas de patentes. Existem indicadores bibliométricos que podem fornecer informações complementares, ainda que não estejam diretamente associadas ao âmbito da empresa. Por outro lado, indicadores baseados em patentes apresentam falhas, especialmente pelo fato de existirem inovações não patenteadas ao mesmo tempo em que poucas inovações detêm uma imensidão de patentes (como exemplo cita-se a indústria de telecomunicações móveis e o advento dos *smartphones*) (BISSOLI, 2013; OECD, 2005).

No entanto, existe pouca literatura acerca dos indicadores de inovação tecnológica para países em desenvolvimento. O Manual de Bogotá, um estudo focado em apontar indicadores de inovação tecnológica para a América Latina e Caribe, é uma das raras fontes que fornecem estas informações. Em seu conteúdo há referência para três aspectos relativos à caracterização dos indicadores, quais sejam:

- i) Indicadores de impacto, de resultados do esforço inovador e de uso de fatores produtivos;
- ii) Indicadores relativos à difusão passíveis de classificação por setores de usuários/consumidores ou relativo ao uso de tecnologias avançadas em negócios de fabricação;
- iii) Indicadores de gastos relativos às atividades de inovação durante o ciclo-produtivo e/ou ano, que variam conforme abrangência, tipo de gasto, e por fontes de financiamento.

Outra classificação encontrada na literatura é a de Ziegler & Nogareda (2009), que aponta para duas possíveis medições de inovação: direta e indireta (mais comum). Os

indicadores indiretos são diferenciados por medidas de *input*, correspondendo aos esforços colocados na inovação (caso das despesas de P&D, por exemplo) e *output*, que tencionam o resultado do processo inovativo (patentes, por exemplo). Para os indicadores diretos, atualmente tem-se usado a metodologia de entrevistas semiestruturadas com especialistas e empresas do setor, voltadas à discussão das inovações geradas (ZIEGLER; NOGAREDA, 2009).

Tendo por objetivo uma classificação voltada à padronização, Sirili (1998) divide os indicadores C&T entre aquelas que possuem uma metodologia estatística já desenvolvida, com coleta de dados e análise de acordo com uma padronização; e aquelas que incluem metodologias ainda em fase de desenvolvimento, com indicadores que apresentam, quando disponíveis, resultados incomparáveis entre países em uma análise histórica. Assim, formam o primeiro grupo indicadores: de estatísticas em P&D e de patentes, pesquisas de inovação, balanço tecnológico de pagamentos, análise do comércio de produtos com alta tecnologia, bibliometria e indicadores de recursos humanos. O segundo grupo, por sua vez, é formado por indicadores baseados em informações de revistas técnicas, investimento intangível, pesquisas de tecnologia de produção, indicadores no domínio das tecnologias de informação e comunicação, medição de mudança organizacional nas empresas, tecnologia de previsão sobre atitudes públicas e compreensão pública da ciência e tecnologia, dentre outros (BISSOLI, 2013).

No caso de inovações ambientais, em consonância com o padrão observado até o momento, os indicadores são distintos conforme as diferentes abordagens da literatura específica. Em alusão à pouca gama de indicadores ambientais disponíveis, Kemp e Arundel (1998) fazem referência tanto ao fato de que todos os aspectos da produção podem afetar o meio ambiente, quanto pela observação de que muitas inovações que são benéficas ao ambiente não são facilmente reconhecíveis desta maneira, ou seja, podem ocorrer como efeito colateral da inovação de processos que focam na redução de custos ou no aumento da qualidade do produto, por exemplo. Um caso de produto ambientalmente benigno e muito difundido, mas que não é visto com esta característica pelos seus fabricantes, é a bicicleta (NAGATSUYU, 2011).

Um esforço em categorizar os indicadores de inovação ambiental foi feito no trabalho de Arundel et al (2007), separando-os em quatro níveis distintos: indicadores financeiros, patentes, pesquisas de inovação baseada no conceito do Manual de Oslo, e literatura baseada

nas técnicas de inovação *output*. O objetivo, segundo os autores, seria apresentar uma tipologia de inovação ambiental que incluísse mudanças de tecnologias *end-of-pipe* para processos produtivos mais limpos; em efeitos econômicos divididos em custos, impacto no emprego e qualidade como exigência de qualificação; e fontes de conhecimento e impedimento (ARUNDEL *et al*, 2007; BISSOLI, 2013).

De acordo com Anderson (2005), os indicadores de inovação ambiental têm por objetivo servir como: geradores de inovação e tendência nacional, regional e internacional, especialmente quando integrados com inovações estatísticas e indicadores sobre empregabilidade; fornecedores do maior número possível de incentivos para ações ambientais; e fornecedores de interpretações inovativas dentro das análises de impactos ambientais em indústrias e na economia. Resumidamente, devem considerar atividades de incubação, competência, saídas de inovação e penetração de mercado. Os dados, segundo o autor, podem ser provenientes das patentes, dos investimentos em P&D ambiental, e nas pesquisas, que representam medidas diretas de atividades ambientalmente inovadoras (ANDERSEN, 2004,2005; BISSOLI, 2013).

As categorias de análise da inovação ambiental, ou seja, as características distintas que delineiam o processo de inovação ambiental, em especial no que tange à sua medição, foram bem destrinchadas por Arundel e Kemp (2009). Os autores apontam para quatro categorias de análise de inovação distintas: medidas de entrada, delineadas pelos gastos e demais indicadores relacionados à P&D; medidas de saída intermediária, contemplando os indicadores relacionados à patentes e publicações científicas; medidas de saída direta, que agregam dados relacionados às inovações; e medidas de impacto indireto, correspondentes as mudanças na eficiência dos recursos e da produtividade. Estas considerações são observadas no QUADRO 2, que apresenta um resumo dos principais indicadores de inovação ambiental segundo cada autor.

QUADRO 2 – Resumo dos principais indicadores de inovação ambiental

Autor	Número e descrição dos indicadores de inovação ambiental por autor
ANDERSEN (2005)	i) Investimento em P&D ambiental ii) Gastos e número de patentes iii) Custos e resultados de pesquisas
ARUNDEL, KEMP & PARTO (2007)	i) Indicadores Financeiros – dados de gastos com P&D para inovações ambientais ii) Indicadores de patentes – custos e despesas para a redução da poluição e ambientes de regulação iii) Indicadores de Pesquisa de Inovação Ambiental – fontes oficiais de inovação de grande escala e pesquisas <i>one-off</i> iv) Indicadores bibliométricos – literatura de <i>output</i> de inovação e coleta de dados específicos sobre IA.
KEMP & ARUNDEL (2009)	i) Medidas de entrada – gastos e mão-de-obra relacionada a PD&I ii) Medidas de saída intermediária – indicadores de patentes e de pesquisas iii) Medidas de saída direta – número, descrição e eficiência comercial de inovações iv) Medidas de impacto indireto – mudanças na eficiência dos recursos e da produtividade
Oltra (2008)	i) Indicadores de patentes – custos e número de depósitos/registros ii) Indicadores de P&D – gastos com pesquisas e resultados de inovações.

Fonte: Elaboração própria.

Em síntese, os indicadores de inovações ambientais, segundo a bibliografia analisada, demonstram um foco em observação de dados relacionados a patentes e P&D, majoritariamente. Os gastos e resultados das pesquisas, além dos dados e informações

relacionados às inovações também são considerados pela maioria dos autores analisados como fundamentais em uma pesquisa que tenciona mensurar a existência e a eficiência de possíveis inovações ambientais.

3. Tipos de inovação ambiental e de tecnologias ambientais

De modo análogo ao observado na análise das definições do conceito de inovação ambiental e seus determinantes, também é possível contemplar esta característica na literatura que determina os tipos de inovação ambiental. Para Rennings (1998), os tipos de inovação ambiental (IA) podem ser definidos entre 4 categorias distintas: tecnológicas, organizacionais, sociais e institucionais. Vale destacar que Rennings faz a distinção entre inovações ambientais desenvolvidas por empresas e por organizações sem fins lucrativos, e também entre aquelas que são transacionais em mercados ou não, gerando a categorização previamente descrita.

Conforme dito anteriormente, a discussão sobre os tipos de IA não se limita a uma definição única, tal qual a proposta de Anderson (2005) para a inclusão de uma taxonomia operacional que envolva os principais tipos de inovações ambientais e suas consequências práticas no mercado ecológico. O autor argumenta em favor de cinco diferentes categorias de inovação ambiental: *add-ons*, IA integrada, IA de produto alternativo, IA macro-organizacionais e IA de Propósito Geral. Embora exista esta diferença na quinta categoria de Anderson (2005) com relação ao proposto por Rennings (1998), é possível verificar semelhanças na categorização de IAs, em especial a IA tecnológica e organizacional, demonstrando o início de um padrão na definição da tipologia deste conceito.

Em outro trabalho sobre o mesmo tema, Kemp e Foxon (2007) discorrem sobre quatro categorias possíveis para inovações ambientais: tecnologias ambientais, IA organizacional para o ambiente, inovações de produtos e serviços que oferecem benefícios ambientais, e o sistema de inovações verde. Os autores promoveram um avanço na taxonomia de inovações ambientais ao proporem, em especial, a nomenclatura acerca das tecnologias ambientais, distribuídas entre aquelas que são destinadas ao controle e prevenção de danos ambientais, seja em produtos e processos existentes (que passam por modificações para diminuir o impacto ambiental), seja de novos produtos e processos criados com este intuito. Além disso, a categorização em sistema de inovações verde é uma tentativa de padronizar as alternativas de produção e consumo que

são mais benéficas ambientalmente comparadas aos sistemas pré-existentes, como no caso de energias renováveis (por exemplo o E1G e E2G) e agricultura biológica (BISSOLI, 2013; KEMP; FOXON, 2007).

A taxonomia proposta por Kemp e Foxon (2007) destaca novamente a presença de uma categorização para inovações de cunho tecnológico e outra para inovações de cunho organizacional, mantendo o padrão observado na taxonomia proposta por outros autores. De modo a melhorar o entendimento deste padrão e, mais especificamente, das características que englobam as tecnologias ambientais (TAs), discutiremos a seguir as principais tecnologias e seus tipos específicos.

Em seu trabalho, Oltra (2009) organizou as inovações ambientais em três categorias distintas: de produto, de processo e organizacional, e subdividiu as inovações ambientais de processo entre tecnologias *end-of-pipe* e tecnologias de produção limpa ou tecnologias integradas (*clean technologies*). Esta análise é consistente com a taxonomia proposta por Kemp e Arundel (1998), que dividem as inovações ambientais com relação aos seus propósitos: a categoria de tecnologias *end-of-pipe* relacionadas às tecnologias adicionadas à um processo produtivo existente; e as *clean technologies*, que fazem alusão à redução de impactos ambientais (BISSOLI, 2013; KEMP; ARUNDEL, 1998; OLTRA, 2009)

Os autores vão além, propondo uma nova subdivisão das supracategorias em seis subcategorias: tecnologias de controle e prevenção de poluição (*Pollution control technologies*); tecnologias para recolhimento, tratamento e descarte do lixo por parte do produtor (*waste management*); mudanças na integração de processos produtivos de tecnologias que reduzem impacto ambiental (*clean technologies*); tecnologias de minimização de resíduos industriais através de reuso e reciclagem (*recycling*); produtos que são sustentáveis durante o ciclo-de-vida completo de produção, como bicicletas (*clean products*); e tecnologias de remediação como purificadores de ar atmosférico ou o replantio de árvores como forma de remover gases de efeito-estufa (*clean-up technology*) (KEMP; ARUNDEL, 1998).

No que tange as tecnologias ambientais, Shrivastava (1995) propõe sua definição como sendo equipamentos de produção, métodos e procedimentos, designs de produtos e mecanismos de entrega de produtos que conservam energia e recursos naturais ao mesmo tempo que minimizam o impacto ambiental. Tais tecnologias podem ser de caráter físico, em forma de *hardware* como equipamentos de controle de produção, assim como podem ser processos

inovativos ou aprimorados. Portanto, constituem um conjunto de técnicas e orientações em gestão administrativa com objetivo em diminuir ou prevenir um impacto ambiental causado por um produto ou processo (BISSOLI, 2013; SHRIVASTAVA, 1995).

Definição semelhante pode ser encontrada ao verificar as pesquisas do Plano de Ação sobre Tecnologias Ambientais da Comissão Europeia (ETAP), delimitando tecnologias ambientais como aquelas tecnologias e processos de gestão que utilizam (ou formam) produtos ou serviços de menor impacto ambiental. Kemp & Soete (1990) afirmam que o processo de criação e difusão das tecnologias ambientais guarda alguma distinção do observado no processo tradicional de mudança tecnológica, argumentando por um apoio mais ativo para o caso de tecnologias ambientais (por parte do governo, por exemplo, através de regulações) do que o observado em técnicas normais de produção (KEMP; SOETE, 1990).

Ainda segundo Kemp & Soete (1990), os fatores que afetam a oferta e demanda por tecnologias ambientais são passíveis da seguintes distinção: para a oferta, devem-se considerar as oportunidades tecnológicas, as condições de apropriação e a demanda do mercado; já para a demanda, há o foco no conhecimento e na informação que estão disponíveis, a insegurança e incerteza em adotar tecnologias ambientais, a relação produtor-usuário e a distinção entre inovações de produto (voltadas às demandas dos consumidores) e de processo (com foco nos objetivos e valores das firmas) (BISSOLI, 2013; KEMP; SOETE, 1990).

Em sua tese, Lustosa (2002) trata das tecnologias ambientais como sendo um termo mais agravante, classificando-as de maneira distinta, mas ressaltando que os tipos não são excludentes entre si, sendo complementares em muitos casos analisados. Assim, a classificação segundo Lustosa (2002) para tecnologias ambientais, de modo sucinto, seria: tecnologias para despoluição do ambiente (*cleaning technologies*), tecnologias poupadoras de recursos naturais (*environment-saving technologies*), tecnologias mais limpas (*cleaner technologies*) e tecnologias de controle para monitoração de níveis de emissões e degradação dos recursos naturais (BISSOLI, 2013; LUSTOSA 2002).

Apoiando-se em bibliografia mais recente a respeito do tema, Kemp e Foxon (2007) contribuíram para a discussão definindo tecnologias ambientais como aquelas cuja utilização é menos prejudicial ao meio ambiente que as alternativas economicamente relevantes. Dessa forma, fazem alusão às tecnologias de processo e de mediação para diminuição de impactos ambientais. A argumentação dos autores é que a própria tecnologia ambiental é composta por

inovação, de modo que o custo para alcançar uma melhoria de impacto ambiental possa diminuir em uma tecnologia nova frente a um modelo antigo. De forma resumida, os tipos de tecnologias ambientais segundo cada autor estão dispostos no QUADRO 3 (KEMP; FOXON, 2007).

QUADRO 3 – Síntese dos principais tipos de inovação ambiental por autor

Autor	Tipos de Inovação Ambiental
ANDERSEN (2005)	i) Inovação ambiental <i>add-on</i> – inovações que melhoram o desempenho ambiental do consumidor ii) Inovação ambiental integrada – modificam o processo/produto para torná-lo sustentável iii) Inovação ambiental de produto alternativo – presença de descontinuidade tecnológica radical iv) Inovação ambiental macro organizacional – organização social sustentável v) Inovação ambiental de propósito geral – definem o paradigma tecno-econômico dominante
KEMP & ARUNDEL (2009)	i) Tecnologias <i>End-of-pipe</i> – tecnologias de controle de poluição, reciclagem, gerenciamento de lixo e limpeza ambiental ii) Tecnologias limpas – tecnologias e produtos mais sustentáveis, com menor impacto ambiental direto e indireto.
KEMP E FOXON (2007)	i) Tecnologias ambientais – controle, limpeza e prevenção de poluição através de processos, tecnologias e produtos novos ou modificados ii) Inovação organizacional para o ambiente – métodos organizacionais e sistemas de gestão iii) Inovação de produtos e serviços de benefício ambiental – melhora de impacto ambiental iv) Sistema de inovações verdes – energias renováveis

Oltra (2008)	<u>Processo</u> i) Tecnologias <i>End-of-pipe</i> – efeito sobre impacto ambiental ao final do processo produtivo ii) Tecnologias integradas – economicamente e ambientalmente vantajosas
RENNINGS (1998) e FREEMAN (1992)	i) Inovação ambiental tecnológica – tecnologias curativas e preventivas ii) Inovação ambiental organizacional – alterações procedimentos no sistema interno iii) Inovação ambiental social – mudanças comportamentais no consumidos iv) Inovação ambiental institucional – grupo de legislações ambientais, fundamento básico para política de sustentabilidade

Fonte: Elaboração própria.

Acerca da discussão dos motivos para as tecnologias ambientais possuírem difusão lenta e não universal, ao contrário das necessidades urgentes observadas, Preston (1997) discorre sobre os seguintes pontos: os subsídios governamentais (capazes de promover estímulos em tecnologias antigas, aumentando a utilização de recursos naturais), a falta de cobrança e fiscalização sobre firmas poluidoras, o financiamento do “vácuo” entre a pesquisa básica e a aplicação efetiva no processo produtivo, a incerteza das regulamentações, a fragmentação do mercado e o risco (PRESTON, 1997).

Desta pequena revisão bibliográfica é possível determinar dois padrões distintos: enquanto Kemp e Foxon e ETAP conferem argumentos no sentido de definir tecnologias ambientais como aquelas que reduzem os impactos ambientais; Lustosa e Shrivastava determinam a definição de tecnologias ambientais como equipamentos que melhoram ou despoluem o meio ambiente, protegendo-o a longo prazo (BISSOLI, 2013; SHRIVASTAVA, 1995; LUSTOSA, 2002; KEMP; FOXON, 2007).

4. Principais determinantes de inovação ambiental

Para discorrer sobre os determinantes de inovação ambiental é preciso, inicialmente, dialogar sobre os determinantes de inovação em geral, dado que a relação entre ambas é direta. Nesse sentido, a Teoria Evolucionária procura demonstrar que os determinantes da inovação podem variar significativamente de acordo com fatores institucionais, organizacionais e sociais, além de outros. Esta abordagem argumenta que os fatores ligados à tecnologia são mais importantes na fase de desenvolvimento de um novo produto, enquanto os elementos da demanda se tornam mais relevantes na fase de difusão da inovação, no entanto, grande parte das inovações tem sua criação fora do sistema formal de P&D através do processo de aprendizado que é inerente às atividades econômicas (BISSOLI, 2013; QUEIROZ, 2011).

Embora seja um conceito amplo, Kemp e Soete (1992) fizeram um esforço para apresentar os determinantes de inovação geral, determinando que, na maioria dos casos, inovações são resultado de atividades planejadas de P&D por agentes motivados pelo lucro, envolvendo algum tipo de percepção de oportunidades técnicas e/ou econômicas inexploradas. Para os autores, embora sejam de natureza semelhante, os processos de inovação ambiental e de inovação tecnológica tradicional se diferenciam quanto as suas características particulares. No caso da inovação ambiental, as principais especificidades do processo estão relacionadas aos fatores determinantes e difusores, de modo que se encontra um foco sobre a regulação ambiental, dentro da literatura, como impulsionadora tanto da utilização quanto da geração posterior de tecnologias ambientais, como resultado da pressão regulatória sobre o setor produtivo (KEMP; SOETE, 1990; 1992). Outros autores também defendem a regulação ambiental, como Porter e van der Linde (1995), que argumentam a favor da exigência ambiental, embora de modo flexível, como forma de reduzir a incerteza sobre os investimentos ambientais, de motivar o progresso tecnológico e de auxiliar na sinalização para potenciais ineficiências de recursos e de aprimoramentos tecnológicos (PORTER; VAN DER LINDE, 1995).

No entanto, tal como Ansanelli (2008) discute, é de fundamental importância a identificação das limitações do papel da regulação enquanto único caminho condutor das inovações ambientais. Dessa forma, tem-se a necessidade de ampliação das pesquisas acerca

dos determinantes de inovação ambiental com ênfase nos desdobramentos político-sociais (ANSANELLI, 2008).

Com a ampliação do estudo dos determinantes, ainda não foi atingido um consenso que defina os principais determinantes de inovação tecnológica. Horbarch et al (2011) separam os determinantes em quatro grupos: estratégias da empresa, tecnologia, regulação e mercado; enquanto Kemp, Smith e Becher (2000) tem um agrupamento em três categorias: incentivos para inovar e condições de apropriabilidade, capacidade de assimilar e combinar o conhecimento de diferentes fontes, e a capacidade de gerenciar o processo de inovação dentro de uma empresa e no mercado onde está inserida. No caso de Mazzanti & Zoboli (2006), a discussão permeou seis diferentes possibilidades, que discorriam sobre a eficácia política, os regimes de eco-auditoria, as relações industriais, a correlação entre inovação tecnológica/organizacional com inovação ambiental, as atividades em rede, e as variáveis estruturais da empresa. Vale destacar ainda o trabalho de Lustosa (2002), baseado em Howes et al (1997), que agrupa os determinantes de inovação ambiental em quatro fatores: as pressões regulatórias, as pressões dos consumidores finais e intermediários, a pressão dos grupos de interesse e a pressão dos investidores.

Em conclusão, a literatura mostra que, apesar de seguir determinantes gerais dos processos de inovação, em se tratando de inovação ambiental a regulação é o principal determinante, auxiliada por fatores tecnológicos, de competitividade/mercado e necessidade de incentivos.

5. Intensidade Tecnológica: critérios e indicadores

A intensidade tecnológica das firmas e setores é classificada de acordo com os padrões tecnológicos adotados em suas atividades produtivas, permitindo maior compreensão dos padrões de progresso tecnológico, bem como aprimorar a solução de obstáculos deste desenvolvimento. A possibilidade de processamento e análise de um volume maior de informações, melhorando a tomada de decisão dos formuladores de políticas e pesquisadores da área de inovação, demonstra mais uma vantagem para adoção de uma categorização padronizada. No caso das firmas, a classificação tecnológica se aplica pela presença de níveis

elevados de heterogeneidade intrasetorial, de modo que há o argumento para uma categorização padronizada específica às firmas (ARCHIBUGI, 2001; CAVALCANTE, 2014).

Dentre as diversas categorizações observadas na literatura sobre o tema destacasse a divisão em duas classificações tecnológicas amplas: i) a classificação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), agrupando os setores da indústria de transformação de acordo com sua intensidade tecnológica; ii) A taxonomia proposta por Pavitt (1984), que realiza a classificação a partir de padrões setoriais de mudanças técnicas. Ambas propõem, originalmente, quatro categorias: i) a OCDE separa entre setores de alta, média-alta, média-baixa e baixa categorias; ii) Pavitt (1984) classifica os grupos entre intensivos em escala, fornecedores especializados (ou difusores do progresso técnico), dominados pelos fornecedores e baseados em ciência (CAVALCANTE, 2014; PAVITT, 1984).

Por outro lado, no contexto das classificações setoriais, que objetivam agrupar empresas ou unidades de produção de acordo características comuns, destacam-se aquelas categorizadas a partir de processos e comportamento nos mercados de capitais. As classificações setoriais baseadas em processos de produção são permanentemente revisadas, de modo que as principais categorizações internacionais guardam correspondências evidentes entre si:

- i) a *International Standard Industrial Classification of all Economic Activities (ISIC)* da Divisão Estatística das Nações Unidas;
- ii) a *North American Industry Classification System (NAICS)*, uma classificação americana;
- iii) a *Statistical Classification of Economic Activities in the European Community (NACE)*, usado pela Comunidade Europeia;
- iv) e a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), do Brasil.

Vale ressaltar que todas as classificações setoriais para o processo de produção são formadas por subdivisões, sendo, no caso do CNAE brasileiro (revisão 2.1): 21 seções, 87 divisões, 285 grupos e 673 classes. Esta subdivisão é compatível com a revisão 4.0 do *ISIC* e, por apresentarem uma estrutura similar, com as versões mais recentes do *NAICS* e do *NACE*.

Em contrapartida, as classificações setoriais para mercados de capitais intencionam, majoritariamente, a agregação setorial com dados de empresas que possuem papéis negociados nesses mercados de capitais. Neste caso, as principais classificações envolvem:

- i) a *Industry Classification Benchmark (ICB)*, financiada e mantida pela *Financial Times and Stock Exchange (FTSE)*, e que pode ser associada à classificação tecnológica da OCDE pela utilização de mesma base de dados;
- ii) a *Global Industry Classification Standard (GICS)*, mantida pela *Standard & Poor's* e pela *Morgan Stanley Capital International (MSCI)*;
- iii) e a *Thomson Reuters Business Classification*

No que tange às classificações tecnológicas, Hatzichronoglou (1997) registrou a categorização da OCDE, enfatizando a utilização de metodologia que levam em consideração tanto o nível específico de tecnologia de cada setor (mensurado através da relação entre gastos com P&D e seu valor adicionado), quanto o nível de tecnologia que está embutida nas compras de bens intermediários e de capital. Assim, a classificação tecnológica da OCDE pode ser vista como um agrupamento em quartis baseados em dados objetivos coletados das firmas. A classificação de Hatzichronoglou (1997) sofreu várias revisões, sendo a mais recente referente à 2011, na qual ainda não está discriminada, de forma explícito, a categoria correspondente às energias renováveis ou aos biocombustíveis, sendo necessária adequá-los dentro de “Outros produtos minerais” (classificado com intensidade tecnológica média-baixa), ou dentro de “Químicos exceto farmacêuticos” (classificado com intensidade tecnológica média-alta). (CAVALCANTE, 2014; EUROSTAT, 2009; HATZICHRONOGLU, 1997; OECD, 2007; 2011).

Esta dificuldade em encontrar a classificação setorial baseada em processos produtivos não é observada quando utilizasse a classificação baseada em mercados de capitais, como observada nos resultados obtidos por Ortega-Argilés *et al* (2011). Neste trabalho os autores optaram por utilizar uma tabela de conversão entre o *NACE* e o *ICB* objetivando uma categorização em padrões de alta, média e baixa intensidade tecnológica. Por esta classificação encontra-se o setor de biotecnologia categorizado como de alta intensidade tecnológica, subdividido entre “manufatura de químicos e produtos químicos” (código *NACE* 24) e “Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)” (código *NACE* 73) (CAVALCANTE, 2014; ORTEGA-ARGILÉS *et al*, 2011).

A principal crítica destas classificações está na falta de indicadores numéricos precisos que possam categorizar as empresas dentre os diversos setores de atividade econômica. Com esta preocupação em mente, Ortega-Argilés *et al* (2009) optaram por realizar o cálculo da

intensidade tecnológica a partir da intensidade em P&D relativo ao faturamento total, com base em um conjunto de empresas do Reino Unido, de modo a definir a intensidade tecnológica dos setores *ICB*. Os autores afirmam, a partir de seus estudos, que o setor de biotecnologia é classificado como de alta intensidade tecnológica, tendo uma intensidade relativa em gastos de P&D de 0,28% do faturamento total (CAVALCANTE, 2014; ORTEGA-ARGILÉS *et al*, 2009).

De modo semelhante, Moncada-Paternò-Castelo *et al* (2010) classificam a intensidade tecnológica dos setores *ICB* em quatro grupos baseando-se na relação entre gastos com P&D e faturamento:

- i) Alta intensidade em P&D (maior do que 5%);
- ii) Média-alta intensidade em P&D (entre 2% e 5%);
- iii) Média-baixa intensidade em P&D (entre 1% e 2%);
- iv) Baixa intensidade em P&D (menor do que 1%).

De modo a contemplar os principais critérios e categorias de intensidade tecnológica definidos conforme os autores analisados, elaborou-se o QUADRO 4, que apresenta um resumo sobre estas características.

QUADRO 4 – Resumo dos principais critérios e categorias de intensidade tecnológica

Autor	Critérios de intensidade tecnológica	Categorias de intensidade tecnológica
OECD (2007; 2011)	Leva em consideração o nível específico de cada setor, mensurado através da relação entre gastos com P&D e seu valor adicionado), além do nível de tecnologia embutida nos bens intermediários e de capital.	i) Alta intensidade ii) Média-alta intensidade iii) Média-baixa intensidade iv) Baixa intensidade

ORTEGA- ARGILÉS <i>et al</i> (2011)	Classifica com base em uma tabela de conversão de <i>NACE</i> para <i>ICB</i> .	i) Alta intensidade ii) Média intensidade iii) Baixa intensidade
MONCADA- PATERNÒ- CASTELO <i>et al</i> (2010)	Baseiam-se na relação entre gastos com P&D e faturamento.	i) Alta intensidade ii) Média-alta intensidade iii) Média-baixa intensidade iv) Baixa intensidade
PAVITT (1984)	Classifica segundo padrões setoriais de mudanças técnicas.	i) Intensivos em escala ii) Fornecedores especializados (ou difusores do progresso técnico) iii) Dominados pelos fornecedores iv) Baseados em ciência

Fonte: Elaboração própria.

Após a análise das classificações e suas metodologias pode-se concluir que a classificação tecnológica proposta pela OCDE apresenta método mais objetivo de agregação dos setores econômicos, por conta de ser uma classificação baseada ou na relação entre gastos em P&D e o valor adicionado nos gastos em bens intermediários e de capital ou na relação entre gastos em P&D e o faturamento total. Além disso, o método de avaliação da intensidade indireta de P&D é baseado na mensuração da matriz de fluxo tecnológico por país, anualmente, levando em consideração no cálculo final o fluxo de P&D embutido nas compras (intra-indústria) de produtos intermediários e de capitais, sejam domésticos ou importados. Assim, o gasto de P&D total proposto pela classificação setorial e tecnológica da OCDE leva em consideração gastos diretos e indiretos em P&D, conferindo maior credibilidade aos resultados obtidos (HATZICHRONOGLOU, 1997).

CAPÍTULO 2

Ciclos-produtivos, aspectos característicos e integração

1. Etanol de Primeira Geração (E1G)

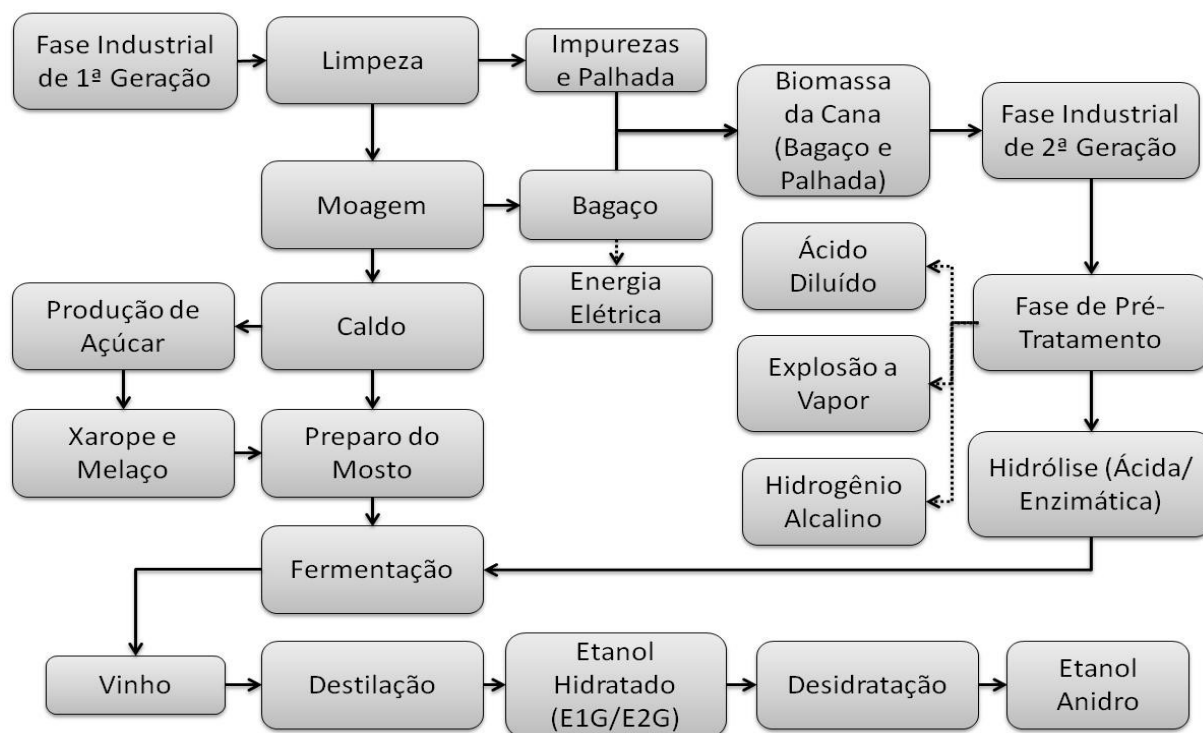
Para embasar a determinação de intensidade tecnológica e de inovação do Etanol de Segunda Geração (E2G) frente ao Etanol de Primeira Geração (E1G), esta seção inicialmente apresenta uma introdução ao ciclo produtivo do E1G, discute seus aspectos econômicos, tecnológicos e de PD&I, e encerra as considerações sobre o E1G discutindo os aspectos ambientais.

1.1 Ciclo-produtivo

O Etanol de Primeira Geração (E1G) constitui um dos processos produtivos para obtenção de etanol (anidro e hidratado). O início ocorre na Fase Agrícola, que engloba o plantio, o cultivo e a colheita da cana de açúcar, que será usada como insumo para os próximos estágios de produção. Existem atualmente duas formas de colheita da cana de açúcar, mecânica ou manual, constituindo, conjuntamente com a presença ou não da prática de queimada da cana no campo, as principais características para determinação de impurezas na composição vegetal da cana. Dessa forma, a cana de açúcar pode ser classificada em sua chegada à usina conforme a porcentagem de impurezas presentes no material vegetal, sendo a “cana limpa” (concentração de impurezas $< 0.6\%$) considerada a mais adequada para a produção de etanol por conta da baixa presença de impurezas (ALBARELLI, 2013; REIN, 2007).

A cana colhida durante a Fase Agrícola pode ser encaminhada para três principais tipos de plantas produtoras: as usinas produtoras de açúcar; destilarias autônomas com produção exclusiva de etanol; e usinas integradas para produção conjunta de açúcar e etanol. Um esquema de funcionamento do ciclo integrado pode ser visto na FIGURA 1. Para os objetivos deste trabalho serão consideradas apenas as unidades produtoras de etanol (destilarias autônomas e usinas integradas). Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA), existem atualmente 372 unidades de produção registradas e em atividade, com capacidade integrada de 41.453.194 m³ de etanol hidratado ao ano, e 22.123.551 m³ de etanol anidro ao ano (ALBARELLI, 2013; EPE, 2016a).

FIGURA 1: Ciclo integrado do etanol (E1G e E2G).

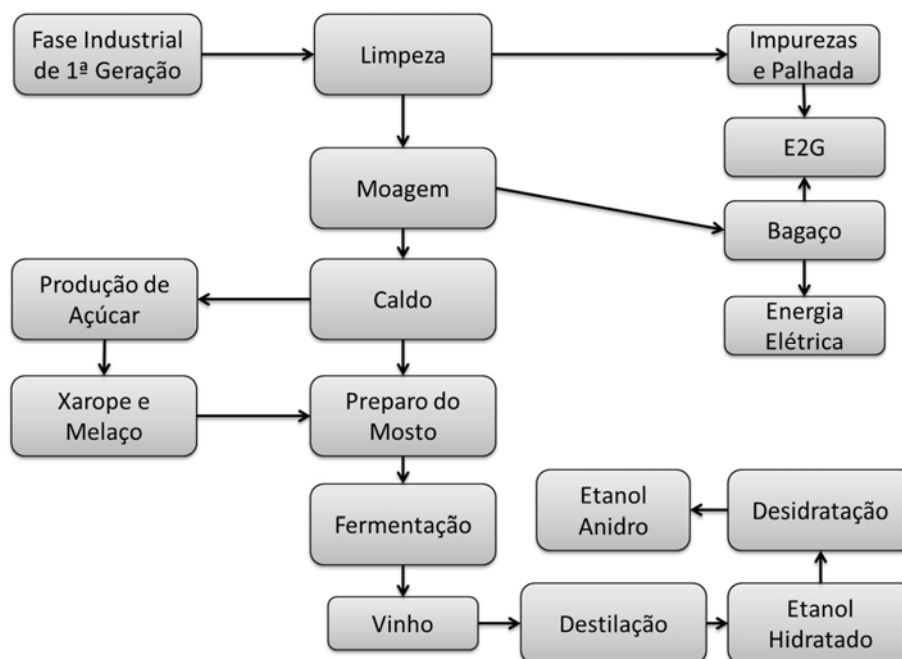


Fonte: Elaboração própria.

Com a chegada da cana na usina, tem-se início os processos da Fase Industrial de 1ª Geração, sendo as primeiras etapas compostas de limpeza, extração e tratamento físico da cana de açúcar. Sua composição média é detalhada da seguinte forma: água (70%-76% da massa de cana), fibras (11%-16%), e outros sólidos (10%-16%); e sua variação é por conta do tipo de cultivo utilizado durante a Fase Agrícola (colheita mecânica ou manual, presença ou não de queimadas, condições climáticas e variedade de cana de açúcar) (ALBARELLI, 2013; COSTA, 2014).

Após a limpeza, que pode ser a seco ou com utilização de água, a cana-de-açúcar é picada e encaminhada para a fase de moagem, onde há a extração do caldo que será utilizado na produção de açúcar e etanol. De modo a facilitar a visualização da Fase Industrial de 1ª geração esboçou-se o diagrama apresentado na FIGURA 2.

FIGURA 2: Diagrama ilustrativo da Fase Industrial de 1ª Geração



Fonte: ALBARELLI, 2013.

Essa produção integrada incorre em processos distintos para o tratamento do caldo proveniente da extração, sendo a característica distintiva a realização da sulfitação do caldo para fabricação do açúcar. Após a clarificação, o caldo reservado para produção de açúcar é concentrado através de evaporação, resultando em xarope de alta concentração de glicose. Parte deste xarope é misturada ao caldo clarificado e ao melaço, obtendo-se o mosto, que pode passar novamente por um processo de concentração através de evaporador de simples efeito dependendo de sua concentração inicial, de forma a atingir a concentração necessária para a fermentação (HAMERSKI, 2009; USINA ESTER, 2016).

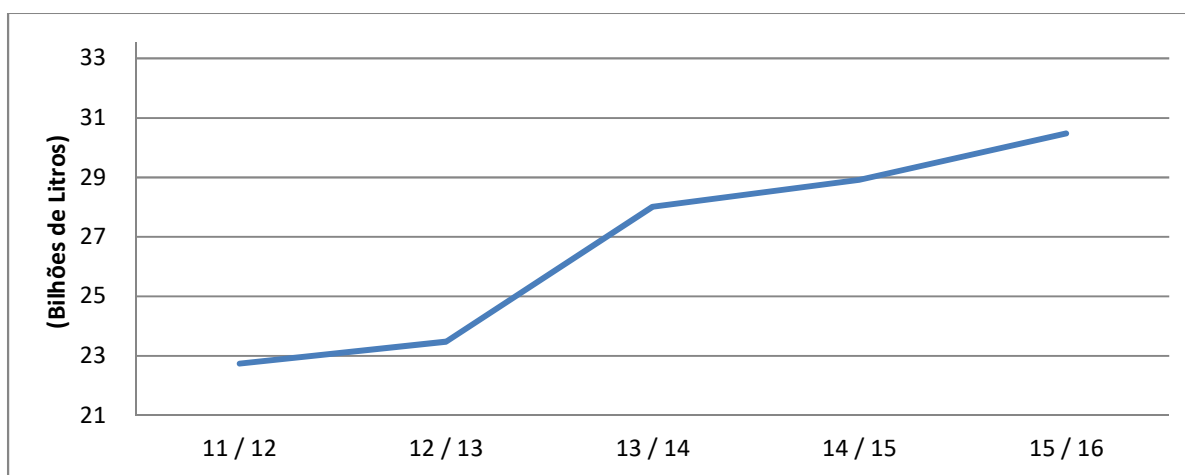
O vinho proveniente da fermentação é então encaminhado para a etapa final de destilação, onde obtém-se etanol hidratado. Para a produção de etanol anidro, basta que o etanol hidratado passe por um processo de desidratação.

1.2 Aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais

O ano de 2015 foi um destaque para o setor sucroalcooleiro do ponto de vista da produção, atingindo recordes para a cana processada (665,6 milhões de toneladas) e para a

produção de etanol (30,5 bilhões de litros) na safra 2015/2016. Considerando o histórico recente da produção de etanol, o setor vem em franca ascensão, como pode ser demonstrado pelo GRÁFICO 1. Este desempenho encontra respaldo em iniciativas públicas direcionadas ao setor, mais especificamente: a alteração da porcentagem de etanol anidro na gasolina tipo C, que passou de 25% para 27%; o aumento do preço de realização da gasolina A; e a alteração no retorno da CIDE conjuntamente com uma elevação no PIS/COFINS para a gasolina que contribuíram para o aumento do preço final da gasolina tipo C (CONAB, 2015; MAPA, 2016; EPE, 2016b).

GRÁFICO 1: Produção Brasileira do Etanol



Fonte: DCAA/SPAE/MAPA (MAPA, 2016a).

(*) Valores atualizados em 01/07/2016

Vale ressaltar que a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar estão sujeitas à diversos fatores de controle limitado ou inexistente por parte dos produtores, como: eventos climáticos adversos (secas e estiagens fora de época), o clima durante a fase de colheita, e a harmonização entre os processos de mecanização de plantio e de colheita, que exigem cuidados especiais por se tratar de cultura sazonal (EPE, 2016b).

A porcentagem dos automóveis movidos à motores bicomcombustíveis (*flex-fuels*) representavam 88,2% dos veículos leves novos, e 67% da frota nacional total em circulação, o que contribuiu imensamente para a produção nacional ter crescido, entre 2002 e 2009, 110%. Atualmente cerca de 85% dos usuários destes automóveis *flex-fuel* tem optado por utilizar etanol hidratado no abastecimento. Estes fatores, somados às iniciativas públicas e privadas no

setor, contribuíram para o aumento da produção interna do E1G (DATAGRO, 2015; IICA, 2008; SCHUTTE *et al.*, 2010)

A indústria sucroalcooleira enfrenta, no entanto, uma situação de assimetria, onde algumas firmas apresentam bons resultados enquanto outras firmas encontram-se em dívidas e acúmulo de prejuízos, conforme pode-se averiguar nos dados da TABELA 1. Entre as safras 2012/13 e 2014/15, a dívida líquida aumentou em 28,82% (R\$ bilhões), bem como as despesas financeiras (27,02% em R\$ bilhões), ao passo que o investimento em bens de capital de longo prazo decresceu 15,44% (em R\$ bilhões). No mesmo período houve uma queda nas exportações nacionais de 39,91% (volume) e 59,72% (US\$). Estes fatores, somados à variação dos preços do açúcar e etanol nesse período, contribuíram para o cenário atual de assimetria que se observa no setor (CGEE, 2008; FIGLIOLINO, 2016a; 2016b; UNICA, 2016).

TABELA 1: Situação Financeira – Usinas de Açúcar e Etanol.

Situação Financeira - Usinas Açúcar e Etanol								
SAFRA	Dívida Líquida		Despesas Financeiras		Capex (*) total		Receita Operacional Líquida	
	R\$ / tonelada	R\$ bilhões	R\$ / tonelada	R\$ bilhões	R\$ / tonelada	R\$ bilhões	R\$ / tonelada	R\$ bilhões
2012/13	104	39,2	9,8	3,7	33	12,3	127	47,9
2013/14	105	45,2	9,8	4,2	28	12,2	121	52,1
2014/15	108	50,5	10,9	4,7	24	10,4	125	53,5

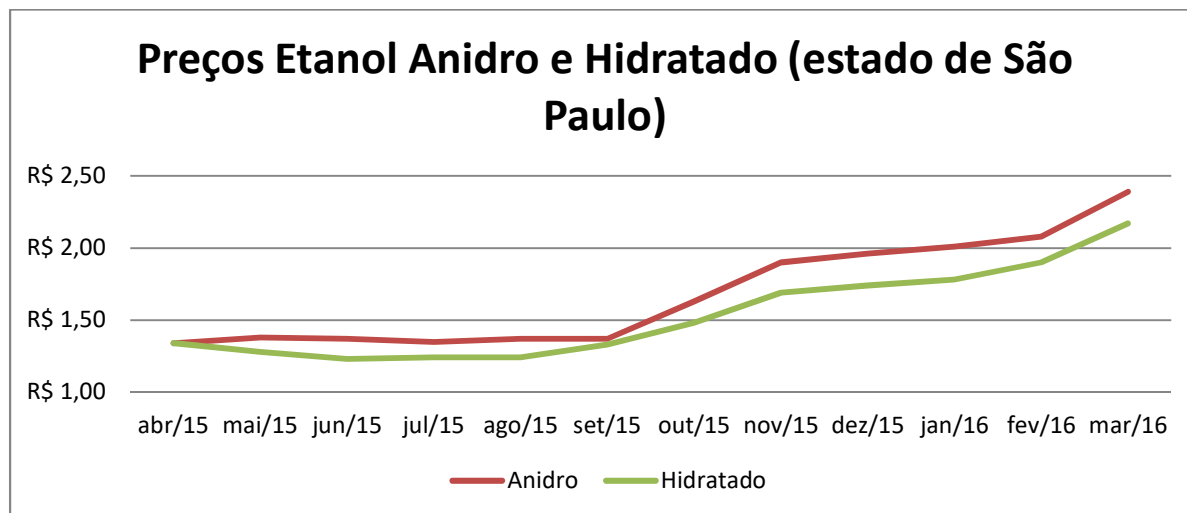
(*) CAPEX - Despesas de capital ou Investimento em Bens de Capital.

Fonte: Itaú BBA/NovaCana (FIGLIOLINO, 2016a).

No período recente houve uma forte variação para os preços do etanol anidro e hidratado no estado de São Paulo, como observado no GRÁFICO 2, de modo que, entre abril/2015 e março/2016 foi registrado aumento de 78,35% (hidratado) e 61,94% (anidro). Esta variação nos preços foi ocasionada pelas características do coproduto do etanol para o caso da cana-de-açúcar, qual seja, o próprio açúcar refinado. A cultura da cana tem como principal característica o aspecto perene, com ciclo-produtivo agrícola de 6 anos (1 + 5 cortes). Por conta desses aspectos, o açúcar apresenta uma oferta que demora para responder a um estímulo na demanda, um preço internacional competitivo e recebe muitas proteções por parte dos principais países produtores. Assim, os choques de oferta que ocorrem acabam provocando variação nos preços do etanol. Além disso, também são incorporadas nas variações do preço do etanol: a variação do preço de barril de petróleo internacional e no mercado interno, bem como a taxa de câmbio

real, a taxa de juros real e a carga tributária que incide tanto sobre a gasolina quanto sobre o etanol e o açúcar (CONAB, 2015; FIGLIOLINO, 2016b).

GRÁFICO 2: Preços Etanol Anidro e Hidratado para o estado de São Paulo



Fonte: CONAB, 2015.

Na Fase Agrícola se concentram a maior quantidade de custos relativos à produção de etanol brasileiro, tendo como fatores determinantes os investimentos em operações de trato de soqueiras, transporte, plantio e colheita da cana, chegando a corresponder por até 70% dos custos de produção. Os principais custos da Fase Agrícola de etanol de primeira geração ficam entre: aluguel da terra de plantio, preparação do solo, plantio, tratos culturais e colheita, carregamento e transporte. Os custos da fase industrial correspondem a, aproximadamente, 15% do total, enquanto os custos gerais, administrativos e diversos perfazem os 15% restantes (CTBE, 2016a; FIGLIOLINO, 2016b).

O custo total de produção de etanol anidro é estimado em R\$ 1.867,15/m³ enquanto que o custo total de produção de etanol hidratado é estimado em R\$ 1.789,04/m³ para a safra 2016/17, registrando um aumento esperado de 18,3% e 3,84%, respectivamente, frente a média das safras anteriores. Caso o preço médio do etanol hidratado atinja R\$ 1.830,00, a margem de lucro seria de 2,29% positiva. Em contrapartida, o açúcar apresenta cenário mais favorável, com preço da variedade branco refinado estimado de R\$ 1.350,00/tonelada e margem de 13,56% (atualmente a estimativa é de R\$1.180,80/tonelada – alta de 12,3%) (PECEG/ESALQ, 2016)

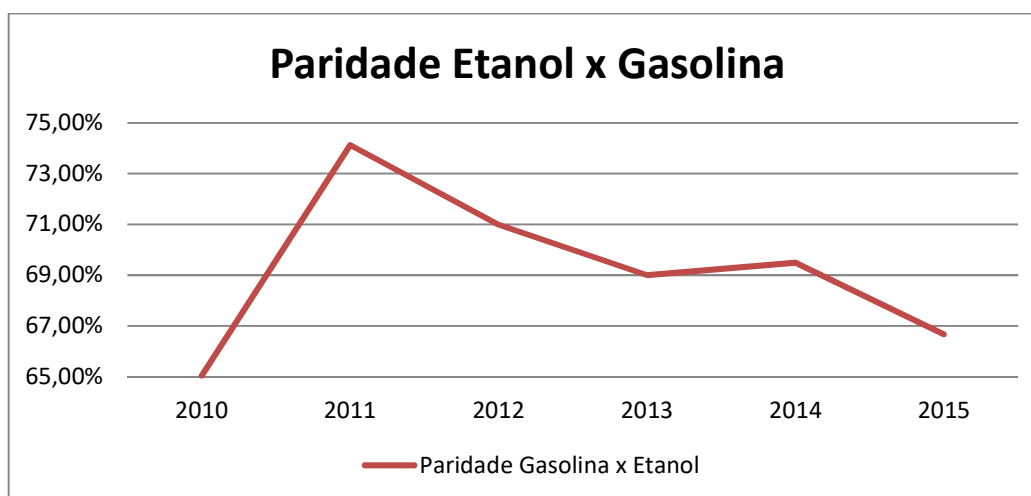
Outro fator interessante é a paridade “etanol hidratado x gasolina” com relação aos preços médios para o consumidor final. Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), no período entre 2010 e 2015 o preço médio ao consumidor aumentou em 33,61% para o caso do etanol hidratado, e 30,28% para a gasolina, demonstrado pelos dados na TABELA 2. A paridade “etanol hidratado x gasolina” pode ser observada no GRÁFICO 3, e demonstra, pelos dados colhidos, um comportamento de queda. Dessa forma, mantendo-se a tendência apresentada, existe margem para afirmar que o cenário econômico interno para o etanol, ao menos no curto prazo, é mais vantajoso comparado à gasolina, de modo que sua demanda pode receber novo impulso (ANP, 2016, MAPA, 2016b).

TABELA 2: Síntese de Preços Médios ao Consumidor

Síntese de Preços Médios Anuais Praticados ao Consumidor - (R\$ / L)		
Ano	Média Anual Etanol	Média Anual Gasolina
2010	R\$ 1,669	R\$ 2,566
2011	R\$ 1,996	R\$ 2,731
2012	R\$ 1,943	R\$ 2,736
2013	R\$ 1,969	R\$ 2,854
2014	R\$ 2,067	R\$ 2,975
2015	R\$ 2,230	R\$ 3,343
Média Período	R\$ 1,979	R\$ 2,868

Fonte: ANP, 2016; MAPA, 2016b.

GRÁFICO 3: Paridade Etanol x Gasolina



Fonte: ANP, 2016; MAPA, 2016b.

Com o objetivo de propor melhorias aos processos tradicionais de produção de açúcar, bioetanol e bioeletricidade, diversas pesquisas estão sendo realizadas conjuntamente entre as instituições de pesquisa, as instituições de ensino superior e a indústria de equipamentos nacional. Com propostas de substituição de equipamentos e partes do processo almejando ganhos de eficiência, pureza e redução de consumo de energia, além de outros benefícios, uma grande quantidade de pesquisas já foi publicada, das quais podemos destacar:

i) Na Fase Agrícola, o desenvolvimento da Estrutura de Tráfego Controlado (ETC) pelo CTBE com objetivo de reduzir em 80% a incidência de tráfego sobre o solo, além de elevar a produtividade e garantir economia de combustível (CTBE, 2016b);

ii) Nas etapas de limpeza e moagem, a utilização de sopradores para limpeza a seco e extração do caldo com uso de difusores, de modo a minimizar perdas de açúcares para efluentes e aumento de produtividade na extração por lixiviação (DIAS, 2008; DEDINI, 2016; REIN, 2007; SIMISA, 2016);

iii) Durante o processo de tratamento de caldo, a clarificação por microfiltração e ultrafiltração, de modo a garantir melhor qualidade do caldo, o que acarretaria em maior rendimento e redução do consumo de vapor (GHOSH; BALAKRISHNAN, 2003);

iv) Na fermentação, a utilização de diferentes configurações de biorreatores, além de baixas temperaturas e uma seleção mais rigorosa das leveduras, possibilita um aumento na concentração de etanol no vinho, facilitando o manuseio da levedura para reciclagem e reutilização (DIAS, 2011; GHOSH; RAMACHANDRAN, 2007; GIL *et al.*, 1991).

O etanol de cana-de-açúcar apresenta ganhos de competitividade tanto com relação à gasolina, quanto com relação ao etanol produzido com base em outros insumos, como milho ou beterraba. Isto se deve, em parte, porque a cana-de-açúcar apresenta um balanço energético de 10,2 enquanto que o etanol de milho apresenta um balanço energético de 1,4 (GOLDENBERG, 2009).

A cultura de cana-de-açúcar apresenta características de cultivo e de utilização do solo, bem como de produtividade, que contribuem para conferir ganhos comparativos com relação à produção de etanol de outros produtos. Vale ressaltar que a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar demanda menos de 1% das terras cultiváveis nacionais. Na safra 2015/16 foram utilizados 8.654,2 mil hectares para a plantação de cana de açúcar, o que representou uma redução de 3,9% frente a safra 2014/15 (CONAB, 2015; VILLEN, 2009; UNICA, 2011).

O fato de utilizar uma área menor para seu cultivo, além de apresentar um balanço energético muito superior ao etanol do milho, demonstra que o etanol de cana-de-açúcar não só é mais apropriado para o cuidado do solo (menor utilização de área, maior rotatividade de culturas e mecanização mais fácil), como também na competição direta com a produção alimentícia. Nesse ponto, o etanol de cana-de-açúcar apresenta vantagens importantes frente aos concorrentes, uma vez que a cana é usada para fabricação de açúcar e de etanol em um *mix* de safra equilibrado. Em outras palavras, a média de produção nas usinas nacionais para safras alcooleiras é de 55-60% de produção de etanol e 40-45% de produção de açúcar, garantindo oferta tanto de açúcar para a indústria alimentícia quanto etanol anidro (regulamentado) e hidratado, para o consumo na indústria automobilística (FIGLIOLINO, 2016b).

A captação de água pelas usinas declinou de 5 m³/tonelada de cana processada no início da década de 1990 para 1.8 m³/tonelada de cana em 2005. A taxa média de reutilização de água na década de 1990 era de 62.7%, elevando-se para 87.8% em 2005. (LEITE, 2008).

Em 2015 o total de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) evitadas ficou em 2,7 milhões de toneladas de CO₂ (MtCO₂), 6% superior ao registrado para o ano de 2014 (2,5 MtCO₂). O total de emissões evitadas através de biocombustíveis no Brasil, para 2015, foi de 69,8 MtCO₂, dos quais 32,2 MtCO₂ (46,13%) foram por conta do etanol hidratado, 28 MtCO₂ (40,11%) por conta do etanol anidro (adicionado à gasolina veicular), e 9,6 (13,75%) sobre biodiesel (EPE, 2016b; IPCC 2006).

Ainda, segundo ANSANELLI *et al.* (2016) e CGEE (2008), observam-se as seguintes vantagens do etanol no que tange os aspectos ambientais: “uma redução da emissão local de particulados resultantes da queima de cana, por meio de legislações específicas ao Estado de São Paulo (Lei Estadual 11.241, de 2002) e das emissões das caldeiras por alterações tecnológicas” (ANSANELLI *et al.*, 2016); graças a reciclagem de nutrientes, que é característica na cultura de cana, há baixo uso de defensivos agrícolas e de fertilizantes convencionais em comparação com outras culturas; capacidade de retenção pluviométrica maior com relação à outras culturas; e baixa perda de solo (62% comparada ao observado na cultura de soja), o que contribui para a produção agrícola e proteção do solo. Estes aspectos demonstram que o ciclo-produtivo do EIG apresenta características sustentáveis com vistas a melhorias no curto e longo prazo.

O setor sucroalcooleiro é intensivo em mão-de-obra, especialmente durante a Fase Agrícola do ciclo-produtivo de E1G, demonstrando um grande potencial para geração de empregos. Segundo dados do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) (2016), de uma estimativa total de 49.571.510 empregos formais no final de 2014, o setor foi responsável por 1,3% do total, subindo para 2% durante os empregos sazonais, que ocorrem na fase da colheita. Quando se consideram os empregos informais, o setor pode chegar a representar 7% dos empregos totais estimados (EPE, 2016b).

Se por um lado a mecanização trouxe efeitos benéficos ao setor, especialmente com relação à redução de queimadas e um melhor aproveitamento da cana para geração de energia (ou bioetanol), por outro também trouxe efeitos nocivos ao inviabilizar economicamente a colheita manual, provocando uma redução sensível na quantidade de postos de trabalho ofertadas. Enquanto eram necessários 80 colheitadores, hoje uma única colheitadeira mecânica pode realizar o mesmo trabalho. Infelizmente essa mudança afetou o número de trabalhadores com carteira assinada na cultura de cana-de-açúcar (apenas fase agrícola), que decaiu 7,4% entre 2002 e 2012, saindo de 356.986 para 330.710 empregados (MORAES *et al.*, 2015).

Essa diminuição de postos de trabalho na cultura da cana-de-açúcar foi compensada pela criação de vagas de tratoristas, motoristas, mecânicos, condutores de colheitadeiras e técnicos em eletrônica. Constatou-se que o volume de empregos com carteira assinada cresceu 205,2% nas destilarias de álcool e 153,93% nas usinas de açúcar, no período entre 2002 e 2012, o que demonstra essa mudança de qualificação de mão-de-obra dentro do setor (MORAES, 2007; MORAES *et al.*, 2015).

As condições de trabalho atuais também repercutem nas informações sobre a renda familiar e a escolaridade entre gerações. Os trabalhadores do setor têm renda média, para o chefe da família, 46,5% superior à renda média dos demais setores agrícolas, além de uma escolaridade média de 5 anos de estudo, diante de 4 para os demais setores. Os filhos (nova geração) destes chefes de família apresentam escolaridade média de 8,4 anos contra 8,1 anos de seus concorrentes dentro do setor agrícola. Porém, mesmo com todos esses fatores, a renda média do trabalhador no setor sucroalcooleiro ainda é menor do que a renda média nacional (MORAES *et al.*, 2015).

Uma característica marcante entre os trabalhadores de cana é a mobilidade entre setores, entre gerações, que é mais acentuada nos filhos destes trabalhadores (29,3% apenas seguem na

cana-de-açúcar) frente aos demais filhos de trabalhadores agrários (43,2% permanecem na agricultura). Esta mobilidade geralmente implica em melhores condições para os filhos de trabalhadores dentro do setor de serviços, onde 35,3% destes encontram vaga de emprego, enquanto que a indústria da transformação absorve 20,9%, a construção civil, 8,1% e a administração pública, outros 4,9% (MORAES *et al.*, 2007).

2. Etanol de Segunda Geração (E2G)

Após a apresentação sobre o processo produtivo do Etanol de Primeira Geração (E1G), esta seção discute, nos mesmos moldes, o processo produtivo do Etanol de Segunda Geração (E2G). Desta forma, a seguir estão uma introdução ao ciclo produtivo do E2G, uma explanação sobre aspectos econômicos, o detalhamento dos aspectos tecnológicos e de PD&I culminando nas considerações relacionadas aos aspectos ambientais.

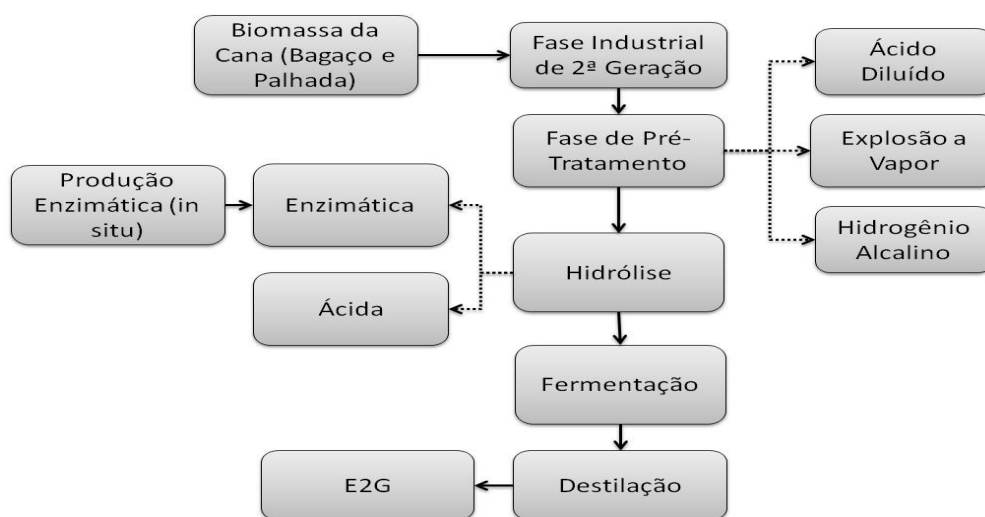
2.1 Ciclo-produtivo

O Etanol de Segunda Geração (E2G) é produzido a partir do material lignocelulósico (MLC), um resíduo do ciclo-produtivo de primeira geração, e é proveniente de biomassa. De um modo geral, cada tonelada de cana-de-açúcar processada gera 280kg de bagaço com 50% de umidade. No caso nacional, este resíduo encontra-se mais abundantemente como o bagaço da cana-de-açúcar, que apresenta a fração (11-16% da composição média) da cana com maior quantidade de fibras sendo o principal substrato para a produção do E2G. O bagaço da cana é constituído de: celulose (26-47%), hemicelulose (19-33%), lignina (14-23%) e pequenas quantidades de sais minerais e cinzas (1-5%). A composição do bagaço está diretamente relacionada, em outros aspectos, à variedade de planta de cana-de-açúcar, ao solo, ao clima durante todas as fases agrícolas e à disponibilidade de água (ALBARELLI, 2013; CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010; DIAS, 2011; HAMERSKI, 2009; MILANEZ *et al.*, 2015; MOREIRA *et al.*, 2014; REIN, 2007; ROCHA, 2011; ROSSEL 2012; SOUZA, 2006).

O ciclo-produtivo do E2G, observado na FIGURA 3 abaixo com exemplo de hidrólise enzimática após fase de pré-tratamento, tem início na fase de resíduos do ciclo-produtivo do

E1G, ou seja, a utilização dos resíduos sólidos descartados no processo de primeira geração para fabricação de etanol. Após a chegada da biomassa à usina começa a fase de pré-tratamento, que pode ser por ácido diluído, explosão a vapor ou hidrogênio alcalino. A escolha do processo deve levar em consideração vários parâmetros, onde cada caso pode apresentar uma viabilidade distinta, sendo necessárias análises técnicas e econômicas. As características determinantes para alta produtividade na escolha desse processo são: a utilização de catalisador de baixo custo e ambientalmente sustentável; a temperatura, a pressão, o consumo de água em níveis baixos; e a alta recuperação de hemicelulose, lignina e celulose como produtos desta fase (COSTA, 2014; STUCCHI, 2016).

FIGURA 3: Diagrama ilustrativo da Fase Industrial de 2ª Geração



Fonte: COSTA, 2014.

A escolha do processo de pré-tratamento é um diferencial, mas também a da matéria-prima utilizada. Além disso, a capacidade produtiva é determinante na margem de lucro das firmas com produção em escala comercial, conforme pode ser observado na TABELA 3. As duas firmas nacionais, Raízen e GranBio, utilizam resíduos da cana-de-açúcar em sua produção de E2G, no entanto diferem quanto ao tipo de matéria-prima (Raízen usa o bagaço enquanto GranBio usa a palha), e quanto à escolha de pré-tratamento: enquanto a Raízen utiliza o processo de ácido diluído, a GranBio realiza o processo através de explosão a vapor (STUCCHI, 2016).

TABELA 3: Características básicas das usinas com produção em escala comercial.

Características Básicas - Usinas com produção em escala comercial			
GRUPO	Matéria-prima	Capacidade (*) (Milhões litros/ano)	Opção de Pré-tratamento
Raízen	Bagaço de cana	40,1	Ácido diluído
GranBio	Palha de cana	83,2	Explosão a vapor
Poet-DMS	Palha de milho	94,6	Ácido diluído
Beta Renewables	Palha de trigo	75,7	Explosão a vapor
DuPont	Palha de milho	113,5	Alcalino
Abengoa	Palha de milho	94,6	Ácido diluído
(*) Raízen declara, nominalmente, capacidade de 42 milhões de litros/ano			
(*) GranBio declara, nominalmente, capacidade de 82 milhões de litros/ano			

Fonte: Lux - Research/NovaCana (STUCCHI, 2016).

Se o processo de pré-tratamento for por fermentação, será necessária uma alta concentração de açúcares, para minimizar os custos na fase de destilação, além de baixa presença de inibidores.

O produto sólido da fase de pré-tratamento recebe denominação de bagaço pré-tratado, e é composto por celulose e lignina. Estes passarão por processo de hidrólise para produção de glicose, que culmina em etanol líquido através da fase de fermentação. O produto líquido da fase de pré-tratamento, cuja denominação é “licor de pré-tratamento”, composto por hemicelulose, passa por um processo de pós-hidrólise para geração de pentoses. As pentoses, através da fermentação, se tornam etanol líquido (COSTA, 2014).

Assim, de uma forma sucinta, o ciclo-produtivo do E2G tem início na fase de pré-tratamento, passando pela hidrólise enzimática ou acídica, posteriormente pela fermentação e destilação, culminando no etanol líquido. A seguir, trataremos de discorrer mais amplamente sobre os aspectos econômicos, de pesquisa e desenvolvimento, ambientais e sociais do E2G comparado ao E1G.

2.2 Aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais

O custo potencial de produção do etanol celulósico de cana de açúcar (bagaço) demonstrou ser inferior ao custo potencial de produção do etanol celulósico de milho (palha). O custo potencial de produção da Raízen, empresa brasileira que utiliza bagaço de cana como

matéria-prima, é de US\$ 0,26 por litro de etanol celulósico, enquanto que o custo potencial de produção da GranBio fica em US\$ 0,54 por litro de etanol celulósico, mais do que o dobro (STUCCHI, 2016).

Com relação aos custos de capital, a Raízen declarou um custo de US\$ 100 milhões e a GranBio declarou custo de US\$ 265 milhões, enquanto a Poet-DMS (EUA) apontou o maior custo, estimado em US\$ 275 milhões. Vale destacar que o preço da matéria-prima (palha de milho) para a Poet-DMS atualmente em US\$ 90/tonelada, enquanto o preço mínimo de venda do etanol fica em US\$ 0,80/litro (milho) contra os US\$ 0,70/litro da GranBio (palha de cana) e US\$ 0,57/litro da Raízen. A Abengoa (EUA) apresenta o maior preço mínimo de venda do etanol (palha de milho), registrado em US\$ 1,20/litro, com o mesmo custo de matéria-prima da Poet-DMS. (STUCCHI, 2016).

Nestes parâmetros, o E2G proveniente do bagaço de cana provou ser o mais vantajoso, com preço mínimo de venda do etanol 52,5% menor em relação ao maior observado (Abengoa – US\$ 1,20/litro), preço de matéria-prima 57,8% menor sobre o maior valor observado (Abengoa e Poet-DMS – US\$ 90/tonelada) e custo de capital 80% menor com relação ao maior custo apresentado (Abengoa – US\$ 500 milhões), conforme TABELA 4 abaixo. Assim, fica claro que o E2G produzido a partir de resíduos da cana-de-açúcar, seja do bagaço, seja da palha, apresenta ganhos comparativos com relação ao E2G proveniente de resíduos do milho ou do trigo (STUCCHI, 2016).

TABELA 4: Características econômicas - usinas com produção em escala

Características Econômicas – usinas E2G com produção em escala comercial					
GRUPO	País de Origem	Custo de Capital	Matéria-prima	Preço MP (US\$/tonelada)	Preço Mín. Venda (US\$/litro)
Raízen	Brasil	US\$ 100 mi	Bagaço de cana	US\$ 38	US\$ 0,57
GranBio	Brasil	US\$ 265 mi	Palha de cana	US\$ 40	US\$ 0,70
Poet-DMS	EUA	US\$ 275 mi	Palha de milho	US\$ 90	US\$ 0,80
Beta Renewables	Itália	US\$ 210 mi	Palha de trigo	US\$ 75	US\$ 0,87
DuPont	EUA	US\$ 225 mi	Palha de milho	US\$ 52	US\$ 0,88
Abengoa	EUA	US\$ 500 mi	Palha de milho	US\$ 90	US\$ 1,20

Fonte: Lux Research/NovaCana (STUCCHI, 2016).

Com relação ao E1G, o E2G ainda apresenta um custo produtivo mais alto. Considerando ambos provenientes de cana-de-açúcar, o E1G apresenta custo produtivo de US\$ 0,22/litro contra US\$ 0,26/litro para o custo produtivo do E2G obtido pela Raízen a partir de bagaço de cana-de-açúcar. Embora o E2G brasileiro seja mais competitivo do que o americano, na comparação com o E1G acaba demonstrando alto custo produtivo. Além do processo ainda não estar completamente otimizado para ser economicamente mais viável do que E1G, a implantação da tecnologia para produção E2G apresenta um custo alto, por conta do custo de implantação de biorreatores que representa 80% dos custos totais E2G, o que diminui a margem de lucro no curto prazo (COSTA, 2014).

Após a etapa de pré-tratamento existem duas possibilidades distintas de hidrólise de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: ácida e enzimática. A hidrólise ácida caracteriza-se pela quebra da celulose/hemicelulose por adição de ácido sulfúrico, o qual precisa ser muito controlado de modo a evitar reações colaterais indesejáveis. Apresenta tecnologia mais simples, cuja base científica é conhecida e bem-difundida, além de um prazo mais curto para desenvolvimento e implementação. Portanto, é uma opção, em tese, com menores riscos e menor retorno, cujos desafios em termos inovativos estão centrados no desenvolvimento de equipamentos baseados em materiais mais resistentes à corrosão. Neste ramo há um foco maior de empresas brasileiras como a Dedini e a Oxiten (BASTOS, 2007).

Por outro lado, o processo de hidrólise enzimática é dado pela quebra da celulose/hemicelulose por enzimas, apresentando uma necessidade de manipulação genética de microrganismos com foco na produção de enzimas capazes de reduzir etapas. Dessa forma, intenciona-se cortar custos do processo. Nesta modalidade de processo produtivo, a tecnologia utilizada é mais complexa, demonstrando bases científicas de biotecnologia mais modernas e menos difundidas, com um prazo maior de maturação e desenvolvimento. Portanto, teoricamente, apresenta possibilidade de maiores riscos, mas que incorrem em maior possibilidade de rentabilidade. Para tanto, será necessário focar os esforços no desenvolvimento de enzimas a custo competitivo, tendo como agentes as empresas e programas de governo dos EUA e da UE (Programa Biomassa do US DoE e projetos do Programa de Biomassa da União Europeia) (ALBARELLI, 2013; BASTOS, 2007. COSTA, 2014).

Existem, atualmente, diversas técnicas para produção de E2G, que levam em conta as características do substrato e a natureza do sistema utilizado, especialmente quando se

considera a utilização de hidrólise enzimática. Nestes sistemas enzimáticos, os fatores relacionados as características da enzima comportam: o acúmulo de produto final (seja glucose, seja celulose, decorrentes da capacidade de inibição do processo enzimático), a desnaturação enzimática (temperaturas excessivas e/ou agitação necessária durante o processo), e a adsorção irreversível das enzimas sobre o substrato. Por outro lado, os fatores com relação ao substrato são compostos: de lignina, de porosidade, de cristalinidade das fibras de celulose e do teor de hemicelulose; dentre outros (MOREIRA *et al.*, 2014; PICCOLO; BEZZO, 2009).

Segundo os mesmos autores, a taxa de conversão de resíduos celulósicos em glicose, necessária para produção de etanol, foi de 90,85%, enquanto o rendimento do processo de fermentação alcoólica atingiu 85,35%, sob temperatura de 120°C na fase de pré-tratamento. É importante ressaltar a conclusão dos autores, que afirmam que “as taxas de conversão dos resíduos celulósicos em glicose são fortemente dependentes da temperatura”, demonstrando a necessidade de mão-de-obra altamente qualificada para garantir controle de qualidade durante a condução dos processos (MOREIRA *et al.*, 2014).

Dentre as demais tecnologias disponíveis, destacam-se o pré-tratamento de explosão a vapor, sendo este o método físico-químico mais pesquisado e aplicado no pré-tratamento da biomassa de cana; além do pré-tratamento ácido, que permite a possibilidade de aplicação como um substrato para hidrólise enzimática da celulose e, ao mesmo tempo, de pré-tratamento da biomassa com objetivo de melhorar a digestibilidade enzimática do material, aumentando sua produtividade (AGBOR *et al.*, 2011; ALBARELLI, 2013; CARDONA; QUINTEZO; PAZ, 2010; PICCOLO; BEZZO, 2010).

No momento, as pesquisas caminham para a integração das fases de hidrólise e fermentação em uma única etapa, chamada de hidrólise e fermentação simultâneas (em inglês SSF ou *Simultaneous Saccharification and Fermentation*), cuja principal vantagem seria a maior produção de etanol com menor quantidade de enzima necessária. Outro processo é a hidrólise da celulose realizada simultaneamente à co-fermentação de ambos os açúcares C6 (hexoses) e C5 (pentoses), apresentando uma abordagem incipiente, porém, promissora, a julgar pelos menores custos de investimento e pela menor limitação de inibição no processo de fermentação (ALBARELLI, 2013; PICCOLO; BEZZO, 2009).

Na fase de análise de viabilidade de uma biorrefinaria, pode-se realizar um teste de implementação, em ambiente virtual, através do Programa de Avaliação Tecnológica:

Biorrefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar. Neste ambiente virtual é possível realizar uma simulação de implementação de biorrefinaria utilizando parâmetros reais, obtidos através de pesquisa de campo e/ou de informações coletadas direto das usinas produtoras, resultando em análises com menor risco de erro, originando um investimento de maior assertividade e menor probabilidade de incerteza (BONOMI *et al.*, 2009).

O E2G apresenta impactos ambientais expressivamente menores quando comparado a seus substitutos de origem fóssil, ou mesmo a outros biocombustíveis, especialmente com relação a melhor utilização do uso da terra, menor impacto sobre as condições climáticas e diminuição de utilização de recursos fósseis (MILANEZ *et al.*, 2015).

Com rendimento da taxa de conversão de resíduos em glicose de 90,85% e rendimento do processo de 85,35%, o E2G apresenta um impacto ambiental muito reduzido do ponto de vista de resíduos sólidos. Tendo em vista o processo de primeira geração, estes resultados causariam uma redução de aproximadamente 85-95% dos impactos ambientais do E1G. Além disso, tem-se a produtividade da tonelada do bagaço bruto, registrada em 389,5kg de licor de pré-tratamento por tonelada de bagaço de cana, através do processo com cal; e 560.5kg de licor de pré-tratamento por tonelada de bagaço de cana com utilização de peróxido (H_2O_2). Este licor de pré-tratamento será usado na produção de biogás (gás metano - CH_4), o que, conjuntamente à queima da lignina e do resíduo da hidrólise, além da produção de etanol, contribuiriam para uma recuperação de 63-65% da energia atualmente desperdiçada com a combustão da tonelada de bagaço bruto para energia elétrica (COSTA, 2014; MOREIRA *et al.*, 2014).

No que tange à bioenergia e a autossuficiência energética das usinas integradas, segundo projeções, no primeiro cenário (Caso 1) que tinha pré-tratamento com explosão a vapor catalisada e hidrólise enzimática, foi necessário 44% da massa de bagaço para suprir as necessidades da cogeração, atingindo a autossuficiência. Assim, 51% da massa de bagaço foi considerada para produção de etanol, sendo os 5% restantes como uso no *startup* do sistema, além de suprir eventuais falhas. Quando o cenário considerava pré-tratamento com LHW e hidrólise enzimática (Caso 2), foi observada uma massa de bagaço para produção de E2G de 56% (ALBARELLI, 2013).

A autora realizou análise do consumo de água de modo a determinar o impacto hídrico tanto da produção de E1G quanto de E2G. Verificou-se que as etapas de produção de 2ª Geração correspondem à 45% do consumo total de água, nos dois casos estudados. O menor consumo

de água total ficou por conta do caso 2, registrado em 23,55 m³/tonelada de cana de açúcar, próximo dos aproximados 24 m³/tonelada de cana-de-açúcar demonstrados em MOSQUEIRA-SALAZAR (2012), sob condições semelhantes. Em se tratando do reuso da água, os dados apresentados na TABELA 5 comprovam que o E2G apresenta alto índice de reuso, com média de 84,5%, consumo médio de 24,735 m³/tonelada de cana-de-açúcar, e captação média de 24,75m³/tonelada de cana-de-açúcar (ALBARELLI, 2013).

TABELA 5: Índices hídricos – consumo, reuso e captação 2ª Geração

Índices Hídricos - Projeções E2G			
Consumo de água - 2ª Geração (m³ / tonelada de cana-de-açúcar)			
Fase do ciclo-produtivo	Caso 1	Caso 2	Média
Extração do caldo	0,45	0,45	0,45
Tratamento do caldo	0,44	0,44	0,44
Concentração	2,5	2,5	2,5
Fermentação	5,41	5,64	5,525
Geração de Energia	4,74	2,69	3,715
Outros Usos	0,1	0,1	0,1
Condensadores	0,41	0,39	0,4
Processos de Segunda Geração (E2G)	11,87	11,36	11,615
TOTAL	25,92	23,57	24,745
Reuso e captação de água - 2ª Geração (m³ / tonelada de cana-de-açúcar)			
Total utilizado de água	25,9	23,6	24,75
Ciclos fechados	9,6	7,8	8,7
Água residual usada sem necessidade de tratamento	11,8	11,7	11,75
Água residual usada após tratamento	0,5	0,4	0,45
Total água reutilizada (%)	84%	85%	84,50%
Total de água captada	4,1	3,6	3,85
Caso 1: Pré-tratamento com exploração a vapor e hidrólise enzimática (bagaço de cana)			
Caso 2: Pré-tratamento com LHW e hidrólise enzimática (bagaço de cana)			

Fonte: ALBARELLI, 2013

Em projeções de mão-de-obra no setor sucroalcooleiro, as análises apontam para um cenário de redução, ou até mesmo extinção, da colheita manual até 2020. Como concluem os

estudos de GUILHOTO et al, (2002), ao se considerar o nível de escolaridade, as maiores perdas do setor sucro-alcooleiro estão relacionadas a empregados com até três anos de estudo. Ainda, segundo avaliação dos indicadores sociais do setor, houve um crescimento de empregos formais nas destilarias de etanol (88,4%) e usinas de cana-de-açúcar (101,9%) bem maior do que dos trabalhadores rurais (16.2%), no período 2000-2005. Todos estes fatores contribuem para demonstrar que há uma necessidade maior por mão-de-obra especializada dentro do E2G, o que traz sérias consequências para trabalhadores com baixo nível de escolaridade (MORAES *et al.*, 2007).

Muito embora os empregos formais em destilarias de etanol e usinas tenham crescido, a maioria dos trabalhadores (57,2% de um total aproximado de 385 mil empregados) estavam na produção de cana-de-açúcar, contra 34,2% na indústria açucareira e 8,6% na indústria do etanol, no ano de 2005 (MORAES *et al.*, 2007).

Ainda que exista alguma mobilidade entre setores, a desigualdade social dentro do setor sucroalcooleiro apresenta níveis alarmantes. Em dados observados para o cenário nacional, um gerente geral, o mais alto posto na hierarquia do setor, recebe US\$ 468.045,00 por ano, em média, enquanto que os operadores, que ocupam a posição mais baixa, receberam US\$ 11.495,00 por ano, em média, uma diferença de 407,17% (BNDES, 2014), conforme a TABELA 6 abaixo:

TABELA 6: Custo de mão-de-obra do setor sucroalcooleiro brasileiro

Custos de Mão-de-Obra (Brasil)	
Custo por trabalhador (*)	US\$ / Ano
Gerente Geral	US\$ 468.045
Gerentes	US\$ 187.218
Supervisores	US\$ 101.410
Coordenadores	US\$ 40.564
Profissionais	US\$ 62.406
Técnicos	US\$ 37.444
Encarregados	US\$ 46.804
Fiscais	US\$ 16.204
Rurícolas - Medidores	US\$ 13.695
Rurícolas - Trab. Rurais	US\$ 11.495

Rurícolas - Cortadores	US\$ 11.495
Operadores	US\$ 11.495
(*) Salário, bônus anual e encargos trabalhistas	

Fonte: BNDES, 2014.

Segundo MORAES *et al.*, (2007), “os salários são positivamente correlacionados à escolaridade média”, demonstrando que o nível de renda pode aumentar, por exemplo, com oferecimento de cursos qualificatórios por parte das firmas aos seus empregados. A escolaridade média dos trabalhadores do setor de cana-de-açúcar teve uma evolução positiva entre 1981 e 2005, passando de 2,2 anos de estudo para até 4 anos (aproximadamente 70% dos trabalhadores em 2005). No entanto, existe uma alta taxa de analfabetismo funcional no setor (29,8%), o que pode auxiliar na explicação para a desigualdade social observada anteriormente (MORAES *et al.*, 2007).

3. Integração E1G-E2G

A introdução do paradigma tecnológico do E2G contribuiria para um aumento de 31-75% na produtividade com relação ao nível atual, além de poder oferecer uma carga menor de resíduos sólidos, o que elevaria tal produtividade em um pré-tratamento através de hidrólise enzimática. A integração dos processos produtivos pode gerar diminuição de 50,70% nos custos referentes ao processo de 2ª geração, e em aproximadamente 90% dos custos totais do ciclo integrado (ALBARELLI, 2013; ANDRADE, 2012; CGEE, 2009; COSTA, 2014; MILANEZ *et al.*, 2015).

Dando sequência à análise da integração do ponto de vista econômico, segundo as projeções, o Custo de Investimento (CIF), o Capital de Giro (WC) e o Custo Anualizado de Investimento (AC) tenderiam a uma queda de cerca de 10%, enquanto que a Receita (R) apresentaria aumento de 41,49%, o Potencial Econômico, um aumento de 148,43%, o Valor Presente Líquido saltaria incríveis 1402,43%, ao passo que o tempo de retorno (PB) diminuiria em 64,38%, conforme os dados apresentados na TABELA 7 (ALBARELLI, 2013):

TABELA 7: Investimento em usinas integradas

Resultados da Análise Econômica- Integração E1G/E2G			
Investimento em instalação			
Setor	E2G	Integração E1G/E2G	Variação
Primeira Geração (E1G)	193,5	194,3	100,41%
Segunda Geração (E2G)	106,7	52,6	-50,70%
Etapas Comuns (E1G/E2G)	33,3	42,2	126,73%
Produção de Açúcar	-	8,3	-
Total	333,5	297,4	-10,82%
Índices de Análise Econômica			
Custo de Investimento (CIF) (US\$)	US\$ 333,5 mi	US\$ 297,5 mi	-10,79%
Capital de Giro (WC) (US\$)	US\$ 16,7 mi	US\$ 14,9 mi	-10,77%
Custo Anualizado de Inv. (AC) (US\$)	US\$ 66,4 mi	US\$ 59,3 mi	-10,69%
Receita (R) (US\$)	US\$ 165,1 mi	US\$ 233,6 mi	41,49%
Custo Operacional (OP) (US\$)	US\$ 117,2 mi	US\$ 114,5 mi	-2,30%
Potencial Econômico (PE) (US\$)	US\$ 47,9 mi	US\$ 119 mi	148,43%
Valor Presente Líquido (VPL) (US\$)	US\$ 20,5 mi	US\$ 308 mi	1402,43%
Taxa Int. de Retorno (IRR) (%)	10,80%	21,40%	10,6%
Tempo de Retorno (PB) (Anos)	7,3 anos	2,6 anos	-64,38%

Fonte: ALBARELLI, 2013.

A produção de E2G (pré-tratamento por hidrólise enzimática) integrada ao processo E1G diminuiria os custos de produção, eliminando custo de transporte de material lignocelulósico e possibilitando uso de equipamentos comuns de forma simultânea, o que auxiliaria na redução de custos de produção do E2G. A longo prazo, em projeções analisadas, seria possível realizar uma produção de E2G de 350 milhões de litros/ano com investimento anual próximo de R\$ 300 milhões, o que oferecia a possibilidade dos custos de produção

caírem, variando de R\$ 1,50/litro no curto prazo a R\$ 0,50/litro no longo prazo (ANSANELLI *et al.*, 2016; ALBARELLI, 2013; DIAS, 2011; MILANEZ *et al.*, 2015).

A integração do E2G ao processo já desenvolvido nas usinas de 1ª Geração confere melhorias nos impactos ambientais, na diminuição do consumo de água em 13,59%, no aumento de 8,85% em reuso da água, e um corte de 53,24% da captação de água para todo o processo produtivo, conforme observado na TABELA 8 abaixo. Além disso, a utilização de água exclusivamente para os processos de 2ª Geração decresce 77,52% em usinas integradas. Nos estudos analisados foi possível constatar uma diminuição na captação de água nos processos de 1ª e 2ª Gerações para níveis entre 0,5 a 1 m³/tonelada de cana, dependendo das variáveis tecnológicas empregas (ALBARELLI, 2013).

TABELA 8: Índices Hídricos - Comparação média E2G / Integrado

Índices Hídricos - Comparação E2G / Integrado com E1G		
Consumo de água (m³ / tonelada de cana-de-açúcar)		
Fase do ciclo-produtivo	Média E2G	Integração E1G / E2G
Extração do caldo	0,45	0,45
Tratamento do caldo	0,44	0,44
Concentração	2,5	2,5
Produção de Açúcar	-	5,83
Fermentação	5,525	4,12
Geração de Energia	3,715	5,16
Outros Usos	0,1	0,1
Condensadores	0,4	0,19
Processos de Segunda Geração (E2G)	11,615	2,61
TOTAL	24,745	21,38
Reuso e captação de água (m³ / tonelada de cana-de-açúcar)		
Total necessário de água no processo	24,75	21,4
Ciclos fechados	8,7	8,7
Água residual usada sem necessidade de tratamento	11,75	10,9
Água residual usada após tratamento	0,45	0,1

Total água reutilizada (%)	84,50%	92,00%
Total de água captada	3,85	1,8

Fonte: ALBARELLI, 2013.

Estes fatores demonstram que o E2G, quando integrado ao processo pré-existente do E1G, pode ser uma alternativa para países que desejam elevar os níveis de produção de etanol sem aumentar a área de cultivo, sendo, portanto, complementar à produção de alimentos e de baixo impacto ambiental. Por ser uma tecnologia incipiente, especialmente no que tange à algumas modalidades de pré-tratamento, o E2G ainda requer altos investimentos em PD&I para encontrar viabilidade em escala comercial (PACHECO, 2011).

Como apontado por ALBARELLI (2013), o uso do bagaço como matéria-prima nos processos de 2ª Geração permitiu um aumento da produção de etanol (19% quando utilizado pré-tratamento de LHW seguido de hidrólise enzimática) tanto quanto um aumento da eletricidade disponível nas usinas (entre 40-70% com relação à destilaria autônoma, dependendo do processo de 2ª geração adotado).

Outro fato importante é o aumento em 222% da produção de eletricidade com a instalação de uma turbina de condensação no sistema de cogeração (utilizando a palha como combustível à uma vazão de 26% de alimentação), além de averiguar que o uso da fração-P no processo de segunda geração possibilitou um aumento de 31% na produção de etanol.

Na análise da produção conjunta verificou-se que o impacto do custo de enzima para o processo de segunda geração é bem menor do que o apresentado em destilaria autônoma. Com uma maior diversificação, incluindo as produções de biogás, gás de síntese, extratos de alto valor agregado, entre outros; ficou evidente o impacto positivo em relação a viabilidade dos processos de segunda geração.

Sobre os aspectos sociais, a integração do E2G contribui para a diminuição (chegando perto da extinção) do trabalho infantil na lavoura, e o aumento da formalização e do nível de escolaridade (embora ainda seja baixa, mas já apresentou evolução). O setor também demonstra possibilidades reais de mobilidade social, especialmente para as classes menos favorecidas (MORAES *et al.*, 2007).

O E2G ainda tem custos um pouco acima do E1G, mas o avanço tecnológico no médio longo prazo permite ganhos potenciais de rentabilidade e produtividade exigindo elevados investimentos em P&D. No entanto os benefícios ambientais são bastante superiores, se

comparados aos dos combustíveis fósseis e a outros substitutos renováveis. Um fator que merece destaque é a qualificação da mão de obra bem mais elevada do que na produção do E1G. O ciclo integrado, por sua vez, permitiria superar os desafios de escolher entre uma produção e outra, no que se refere aos quatro aspectos investigados, mostrando ser a melhor opção para usinas do setor.

Dessa forma, a partir da análise bibliográfica inicial, nota-se uma relação entre produtos complementares, e não substitutos. De modo a compreender melhor os aspectos característicos do E2G dentro do ciclo-integrado e suas características relacionadas à base teórica de inovação, prende-se, no próximo capítulo, descrever esta interação ao mesmo tempo em que se procura observar as características do E2G referentes às inovações ambientais e ao seu nível de intensidade tecnológica comparado ao E1G.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da discussão sobre os aspectos teóricos que permeiam o setor sucroalcooleiro e os temas de inovação ambiental e intensidade tecnológica, auxiliados pelas características e informações sobre o E2G, observou-se como o E2G pode ser considerado uma inovação ambiental de alta intensidade tecnológica.

1. E2G como inovação ambiental

Proveniente de material lignocelulósico, o E2G apresenta aspectos característicos que encontram respaldo nas definições de inovação ambiental discutidas no Capítulo 1 deste trabalho. A produção de E2G culmina no mesmo produto da produção de E1G, o etanol anidro ou hidratado, além do fato da integração do E2G ao ciclo E1G existente conferir melhorias sensíveis nos impactos ambientais diretos, tais como: menor emissão de CO₂ para a atmosfera, melhor utilização dos recursos hídricos, aumento da eletricidade disponível nas usinas e a um aumento de produção de etanol sem alterar as dimensões dos campos produtivos, demonstrando menor impacto no solo, características dispostas no QUADRO 5 abaixo.

QUADRO 5: Síntese de comparação entre os ciclos produtivos.

Aspectos / Geração	E1G (cana-de-açúcar)	E2G (resíduo da cana-de-açúcar)	E1G/E2G (Ciclo Integrado)
Econômicos	Preço mais competitivo frente à gasolina Custos concentrados na Fase Agrícola (70%) Porcentagem de Etanol Anidro na Gasolina: 25% - > 27% Alterações na CIDE para gasolina Veículos <i>flex-fuels</i> : maioria da frota nacional	Custo produtivo maior do que do E1G Preço Mínimo de Venda médio menor (comp. outras fontes) Produtividade média maior (comp. outras fontes) Custo de Capital médio inferior (comp. Outras fontes)	Ciclo produtivo de fácil integração Diminuição de Custos (de até 90%) Melhores indicadores financeiros (Aumento da receita, potencial econômico e VPL) Ganhos de produtividade

Tecnológicos	Cultura mecanizada Mão-de-obra com baixo-médio nível de escolaridade Presença de tecnologia intensiva em capital Alta produtividade por área plantada	Indústria altamente tecnológica Mão-de-obra com alto nível de escolaridade Inovação Brasileira (E2G–bagaço) Diferencial entre firmas: fase de pré-tratamento	Melhoria dos processos conjuntos (Fase Agrícola) Maior disponibilidade para cogeração (açúcar e energia elétrica)
Ambientais	Menor uso do solo Emissão CO2 90% menor comparado à gasolina	Inovação Ambiental Diminuição dos impactos ambientais E1G	Redução do consumo de água e da captação de água Maior reuso da água e da disponibilidade da energia elétrica
Sociais	Média de renda e escolaridade maior dentro do setor agrícola	Melhoria da qualificação de mão-de-obra, com nível de renda e escolaridade mais elevados.	Potencial de inclusão social através de mão de obra qualificada, do nível do nível de renda médio relação ao setor.

Fonte: elaboração própria

Estas características do E2G são consoantes com a definição de inovação ambiental segundo Kemp, Smith e Becher (2000) e segundo Kemp e Foxon (2007), na medida em que o E2G, integrado ao ciclo-produtivo do E1G, pode ser caracterizado como um processo produtivo novo para as usinas e que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, em prevenção ou redução de riscos ambientais, poluição e impactos negativos sobre os recursos naturais utilizados.

Além da consonância entre as características do E2G e as definições de inovação ambiental pode-se destacar a relação entre os principais indicadores de inovação ambiental percorridos no Capítulo 1 e os dados observados para a integração do E2G ao ciclo E1G no Capítulo 2. Dentre os diversos indicadores apresentados foi possível depreender aqueles fundamentais para a análise, que seriam: os dados relativos às patentes desenvolvidas e/ou registradas, os gastos gerais relativos ao departamento de P&D, além dos gastos relativos à redução do impacto ambiental (ANSANELLI, 2008; KEMP & ARUNDEL, 2009; OLTRA, 2008).

Nesse aspecto, Lot e Gurgel (2014) realizaram um levantamento de patentes nos bancos de patentes americano (*United States Patent and Trademark Office – USPTO*) e europeu (*European Patent Office – EPO*) sobre o tema do E2G, resultando em 61 patentes publicadas ao todo, entre 1976 e 2013, além de levantamento de dados de empresas com relação aos gastos de P&D para E2G. Segundo os autores, as empresas do norte europeu são as que mais atuam

nos esforços de pesquisa e patenteamento de E2G, muito embora o país que mais deposite patentes seja os E.U.A. Existe um nível razoável de concentração no esforço de depositar e registrar patentes, o que acarreta em um nível elevado de concentração da P&D no E2G.

Corroborando com os indicadores de inovação ambiental apresentados por Kemp & Arundel (2009), o E2G apresenta gastos elevados em P&D, necessidade de mão-de-obra especializada e altamente qualificada, elevadas despesas em inovação, além de número elevado de inovações com descrição das inovações individuais, e mudanças na eficiência dos recursos e da produtividade, conforme discorridos extensamente ao longo do Capítulo 2. O ciclo produtivo do E2G apresenta, portanto, características para uma análise de inovação ambiental segundo as medidas de entrada, as medidas de saída intermediária, as medidas de saída direta e as medidas de impacto indireto. Assim, o E2G pode ser definido como uma inovação ambiental limpa, na medida em que apresenta infraestrutura composta por tecnologia mais limpa (*cleaner technology*), além de permitir maior reutilização e reciclagem de insumos e recursos (*recycling and waste management*), bem como resulta em um produto mais sustentável e de menor impacto ambiental (*clean product*), quando comparado aos concorrentes.

O E2G também pode ser caracterizado como uma inovação ambiental tecnológica, por apresentar tecnologias curativas e preventivas ao mesmo tempo em que resulta em produto idêntico ao E1G. Além disso, o E2G, ao ser integrado no ciclo-produtivo do E1G, modifica a estrutura organizacional das usinas. Isto decorre do alto nível de intensidade tecnológica envolvida no processo produtivo do E2G, acarretando na instalação de equipamentos intensivos em tecnologia, na necessidade de mão-de-obra especializada e bem qualificada, e na obrigatoriedade de existir um departamento de P&D, ou uma equipe de pesquisadores deste, específicos para pesquisas de desenvolvimento do E2G. Desta análise é possível definir o E2G como uma inovação ambiental organizacional, segundo a definição proposta por Kemp e Arundel (1998), que caracteriza a inovação ambiental organizacional como aquela que modifica a estrutura organizacional, as rotinas e as práticas da companhia; e segundo a definição proposta por Kemp e Foxon (2007) para inovação organizacional para o ambiente, denotada por mudanças nos métodos organizacionais e sistemas de gestão, além de promover melhoria do impacto de produtos e processos industriais.

Destaca-se também os aspectos determinantes de inovação ambiental presentes no ciclo-produtivo do E2G. O primeiro faz referência à pressão regulatória sobre o setor produtivo, que

segundo Kemp e Soete (1990; 1992), funciona como impulsionadora tanto da utilização quanto da geração posterior de tecnologias ambientais. Esta análise encontra correspondência nos planos de incentivo ao etanol da década de 1970, em especial o Proálcool que se encontra na sua 4ª fase, e de aumento de demanda através do programa de introdução do carro-flex no início dos anos 2000. Outros fatores determinantes foram observados nas características discutidas sobre o E2G ainda no Capítulo 2, como: incentivos para inovar, condições de apropriabilidade, capacidade de assimilar e combinar conhecimentos de diferentes fontes e a capacidade de gerenciar o processo de inovação dentro da própria empresa ou mercado (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Dessa forma, é possível caracterizar o **E2G como uma inovação ambiental de processo limpa**, cujos determinantes são a presença de pressão regulatória sobre o setor, a necessidade de existência de incentivos para inovar de ponto de vista tecnológico e ambiental, condições de apropriabilidade na forma de patentes, necessidade de gerenciar e assimilar conhecimentos de diferentes campos de pesquisa e fontes, além da capacidade de manter o processo de inovação na forma de pesquisa em P&D focada em E2G dentro de parâmetros gerenciáveis e conduzida internamente nas usinas.

2. E2G e intensidade tecnológica

A intensidade tecnológica, classificada segundo os padrões tecnológicos das atividades produtivas, permite uma compreensão ampla dos padrões de progresso tecnológico e do aprimoramento de soluções de obstáculos desse desenvolvimento, conforme discutido na Seção 3 do Capítulo 2. Existem classificações de intensidade tecnológica relacionadas às firmas, das quais se destacam as classificações por agrupamentos da OCDE e a taxonomia proposta por Pavitt (1984), além de classificações setoriais que guardam certo grau de correspondência entre si, com destaque para a ISIC da Divisão Estatística das Nações Unidas e a CNAE do Brasil (CAVALCANTE, 2014; EUROSTAT, 2009, OECD, 2007; 2011; PAVITT, 1984).

No caso do E2G, sua classificação na OCDE seria de alta intensidade, ao passo que, na taxonomia proposta por Pavitt (1984), o E2G ficaria no grupo de firmas baseados em ciência, podendo também ser classificado no grupo de difusores do progresso técnico e fornecedores

especializados. Isto se deve pelo fato do E2G apresentar altos investimentos em P&D em relação ao valor adicionado e alto nível de tecnologia embutida nas compras de bens intermediários e de capital, como insumos, equipamentos de biorrefinaria e enzimas, ao mesmo tempo em que não atingiu produtividade em escala comercial estável. Dessa forma, não poderia ser considerado como participante do grupo intensivo em escala proposto por Pavitt, mas pode ser categorizado como de alta intensidade tecnológica segundo a OCDE (OECD, 2007; 2011; PAVITT, 1984).

Vale ressaltar outra classificação de intensidade tecnológica por setores relacionados no ICB, proposta por Moncada-Paternò-Castelo *et al* (2010), que realiza a categorização segundo a relação entre os gastos com P&D e o faturamento. Neste contexto, destaca-se o investimento gradual, iniciado em 2015, de aproximadamente R\$ 2,5 bilhões para a instalação e operação de sete usinas integradas até 2024, realizado pelo grupo Raízen, uma *joint venture* entre Cosan e Shell, como demonstração clara de investimentos de P&D e de instalações operacionais para a produção do E2G, integrado ao E1G, em escala comercial. No segundo trimestre de 2016 a empresa obteve faturamento de R\$ 19.589.434 mil enquanto seu investimento em P&D foi de R\$ 88.789 mil, demonstrando uma relação P&D/Faturamento de 0,453%. Segundo Moncada-Paternò-Castelo *et al* (2010) este resultado incorre em uma classificação do setor como de baixa intensidade em P&D, discordando das outras classificações setoriais de intensidade tecnológica (RAÍZEN, 2015; 2016).

A classificação da OCDE é, portanto, a mais indicada para discussão sobre as tecnologias envolvendo o Etanol de Primeira Geração (E1G) e de Segunda Geração (E2G), auxiliada pela taxonomia proposta por Pavitt (1984) para classificação setorial por Robinson (2003), Dosi *et al* (2008) e Bottazzi *et al* (2010), de forma complementar. O trabalho de Cavalcante (2014) traz uma discussão detalhada sobre essa complementação, propondo uma classificação por intensidade tecnológica e taxonomia de Pavitt com divisões (CNAE dois dígitos) e grupos (CNAE três dígitos) que compõem a indústria de transformação, em correspondência com a revisão 2.1 do CNAE. Os biocombustíveis estão referenciados sob a divisão 19, considerados de intensidade média-baixa e intensivos em escala (IEc), enquanto a fabricação de etanol (E1G e E2G) corresponde ao grupo C (indústrias de transformação), divisão 19 (fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis), grupo 193 (fabricação de biocombustíveis), classe 1931-4 (fabricação de álcool) e subclasse

1931-4/00 (fabricação de álcool etílico) do CNAE 2.0. Tal classificação pode ser corroborada com as características do E2G descritas no Capítulo 2 (BOTTAZZI et al, 2010; CAVALCANTE, 2014; DOSI et al, 2008; IBGE, 2016; PAVITT, 1984; ROBINSON, 2003).

3. Conclusões

De modo conclusivo, após extensa revisão bibliográfica e revisão de informações, foi possível depreender que o E2G apresenta características que o definem como inovação ambiental de processo limpa e com maior intensidade tecnológica em relação ao E1G.

Conforme a análise exposta no primeiro capítulo e corroborada pelas informações dispostas no segundo capítulo deste trabalho, o ciclo-produtivo do E2G, integrado ao E1G, apresenta maior utilização de mão-de-obra qualificada, necessidade de investimentos em PD&I especializada e utilização de equipamentos com alto nível de tecnologia embarcada, quando comparado ao ciclo-produtivo do E1G isolado. O ciclo-produtivo E2G pode ser categorizado como de média-alta ou alta intensidade, dependendo dos critérios utilizados para categorização. Em ambos os casos, o ciclo-produtivo E2G apresenta maior intensidade tecnológica que a observada no ciclo-produtivo do E1G, onde tem-se a utilização de equipamentos de baixa tecnologia embarcada, mão-de-obra com baixa qualificação e processos tecnologicamente menos intensos. Assim, se conclui que o ciclo-produtivo do E2G, quando integrado ao E1G, é mais intensivo em tecnologia em relação ao ciclo-produtivo do E1G isolado.

A análise da relação entre os aspectos teóricos e os dados e informações sobre o efeito do E2G na sua introdução ao ciclo E1G existente, considerado o ciclo-integrado E1G/E2G, demonstra que o E2G pode ser considerado uma inovação ambiental de processo limpa, na medida em que incorre em mudanças relacionadas ao processo produtivo, como a incorporação de mão-de-obra qualificada e especializada, diminuição de impactos ambientais em todo o ciclo-integrado, aumento de gastos com P&D, possibilidade de registro de patentes, além de prevenção de impactos ambientais negativos.

O ciclo-produtivo do E2G, embora muito diferente tecnologicamente do ciclo-produtivo do E1G, resulta no mesmo produto final, o etanol anidro ou hidratado. Destaca-se, também, o papel fundamental das pressões regulatórias sobre o setor sucroalcooleiro, demonstrando a presença dos principal determinante de inovação ambiental de processo, segundo a definição

que apresenta a inovação ambiental como a criação ou aplicação de um bem, produto, processo ou serviço que leva a um aumento de sustentabilidade ambiental, direta ou indiretamente, através de diminuição de impactos ambientais, redução da utilização de recursos naturais (hídricos, energéticos e de solo) e redução da incidência de poluentes.

Vale ressaltar que a bibliografia acerca do ciclo-integrado ainda é muito incipiente, apresentando empecilhos na conceituação, tipologia, identificação de variáveis relativas e construção de indicadores de inovação ambiental e de intensidade tecnológica para países em desenvolvimento. É importante, portanto, que mais pesquisas e estudos sejam realizados sobre o tema, promovendo discussão mais abrangente e conferindo possibilidade de adoção de padrões voltados ao cenário dos países em desenvolvimento.

Por último, destaca-se a possibilidade de novas pesquisas, como a mensuração mais objetiva das tecnologias embarcadas nos insumos e bens necessários ao processo produtivo do ciclo-integrado, sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento, construção de indicadores de inovação ambiental voltados ao setor dos biocombustíveis e energias renováveis, além de levantamento sobre os resultados e efeitos da pressão regulatória sobre o ciclo-integrado tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento.

Referências Bibliográficas:

AGBOR, V. B. et al. *Biomass pretreatment: Fundamentals toward application*. Biotechnology Advances, v. 29, n. 6, p.675-685, Nov/Dec 2011.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016). *Sistemas de Levantamento de Preços – Resumos Mensais (período jan. 2010 – Dez. 2015)*. Disponível em: http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp. Acesso em: 21 de Julho de 2016.

ANDERSEN, M. M. “Eco-innovation indicators”. *Background Paper for the Workshop on Eco-innovation Indicators*. EEA Copenhagen, september, 2005.

_____. “An Innovation System approach to Eco-innovation – Aligning policy rationales”. The Greening of Policies – Interlinkages and Policy Integration Conference. Berlin, Germany, December, 2004

ANDRADE, R. R. de A. *Modelagem cinética do processo de produção de etanol a partir de hidrolisado enzimático de bagaço de cana-de-açúcar concentrado com melaço considerando reciclo de células*. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP. Dissertação com apoio da agência financiadora CNPq. Campinas: fevereiro de 2012.

ANSANELLI, S. L. M. *Eco-indústria: oportunidades econômicas de proteção ambiental*. Revista Visões 5ª Edição, nº5, volume 1, julho/dezembro 2008.

ANSANELLI, S. L. M.; SENNA, P. P.; RIBEIRO, G.; CAMPOS, D. A. C. *Sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento: uma discussão a partir do desenvolvimento do etanol de segunda geração no Brasil*. In: **Anais do XXI Encontro Nacional de Economia Política**. UFABC – São Bernardo do Campo, junho de 2016.

ALBARELLI, J. Q. *Produção de Açúcar e Etanol de Primeira e Segunda Geração: Simulação, Integração Energética e Análise Econômica*. 2013. F. Dissertação (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2013.

ARAÚJO G.J.F., NAVARRO L.F.S., SANTOS B.A.S. *O Etanol de Segunda Geração e sua Importância Estratégica ante o Cenário Energético Internacional Contemporâneo*. In: ANAP 2013: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.9, n.5

ARCHIBUGI, D. *Pavitt’s taxonomy sixteen years on: a review article*. Econ. Innov. New Techn., v. 10, p. 415-425, 2001.

ARUNDEL, A.; KEMP, R.; PARTO, S. *Indicators for Environmental Innovation: What and How to Measure*. In: Dora Marinova, David Annandale and John Phillimore (eds.), *International Handbook on Environment and Technology Management (ETM)*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 324-339, 2007

BASTOS, V. D. *Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias*. BNDES Setorial, n. 25, p.5-38. Rio de Janeiro: março de 2007. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2527/1/BS%2025%20Etanol%2c%20Alcoolqu%C3%ADmica%20e%20Biorrefinarias_P.pdf Acesso em 01 de Agosto de 2016.

BISSOLI, B. M. *Determinantes e indicadores de eco inovação*. 2013. F. Dissertação (Graduação) – Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/Araraquara, Araraquara, SP, 2013.

BNDES/FEP. *Estudo de Viabilidade de Produção de Biocombustíveis na UEMOA (União Econômica e Monetária do Oeste Africano)*. Chamada Pública de Prospecção para Relatórios 4 e 5 FEP. Rio de Janeiro: BNDES, janeiro de 2014. Disponível em:

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep_fep/chamada_publica_FEP0211_Relatorios4e5.pdf Acesso em: Julho de 2016.

BOGOTÁ, manual. *Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe*. Março, 2001.

BOTTAZZI, G.; DOSI, G.; JACOBY, N.; SECCHIY, A.; TAMAGNIZ, F. *Corporate performances and market selection: some comparative evidence*. *Industrial and Corporate Change*, v. 19, n. 6, p. 1953-1996, 2010.

CARDONA, C. A.; QUINTERO, J. A.; PAZ, I. C. *Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives*. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 13, p. 4754-4766, July 2010.

CAVALCANTE, L. R. (2014). *Classificações tecnológicas: uma sistematização*. Brasília: Ipea. Disponível em:

http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=21829 Acesso: Outubro de 2016.

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

CONAB, 2015. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar – Quarto Levantamento da safra 2015/2016*. V. 2, nº 4. Abril, 2016.

Disponível em: <http://www.conab.gov.br/> Acesso em: 26 de Julho de 2016

COSTA, AC, *Caso de Sucesso: Produção de Etanol (2ª Geração)*. Laboratório de Engenharia de Processos Fermentativos e Enzimáticos (LEPFE) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2014.

CTBE. *Produção de Biomassa*. Disponível em <http://ctbe.cnpem.br/pesquisa/producao-biomassa/> . Acesso em 25 de Junho de 2016 (2016a).

_____. *Estrutura de Tráfego Controlado (ETC) do CTBE*. Disponível em <http://ctbe.cnpem.br/estrutura-de-trafego-controlado-etc-ctbe/>. Acesso em 07 de Julho de 2016 (2016b).

DATAGRO. *Estimativa da frota de veículos de ciclo Otto no Brasil*. Relatório técnico. [S.I.]: [s.d.]. Disponível em: <http://goo.gl/ydJkNo>. Acesso em: 26 de Julho de 2016.

DEDINI. *Produtos: difusor modular Dedini/Bosch*. Disponível em: http://codistil.com.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=15&Itemid=40 Acesso em: 06 de Julho de 2016.

DE SOUZA, C. S. *Derivatização Química e Caracterização de uma Lignina do Bagaço da Cana-de-açúcar* – Dissertação – Uberlândia-MG, 2006.

DIAS, M.O.S. *Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço*. 2008. 282 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

DIAS, M. O. S. *Desenvolvimento e otimização de processos de produção de etanol de primeira e segunda geração e eletricidade a partir da cana-de-açúcar*. 2011. 277 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2011.

DOSI, G. *Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*. Research Policy, v. 11, n. 3, 1982.

DOSI, G.; GAMBARDELLA, A.; GRAZZI, M.; ORSENIGO, L. *Technological Revolutions and the Evolution of Industrial Structures: Assessing the Impact of New Technologies upon the Size and Boundaries of Firms*. Capitalism and Society, v.1, n.1, 2008

Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia. *Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro – WebMap EPE*. Disponível em:

<https://gisepe.epe.gov.br/WebMapEPE/> Acesso em 23 de Junho de 2016 (2016a).

Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia. *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2015*. Maio, 2016 Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>> Acesso em 15 de Julho de 2016 (2016b).

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ (Pecege/Esalq), CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). *Levantamento anual do Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas*. Junho/2016. Disponível em: <https://www.jornalcana.com.br/custo-de-producao-cresce-mas-margem-deve-ser-positiva-para-usinas/> Acesso em: Julho de 2016.

EUROSTAT. *High-technology and knowledge based services aggregations based on NACE*. Rev. 2. Eurostat, Jan. 2009.

FIGLIOLINO, A. (2016a). *Palestra: A retomada dos investimentos e o crescimento do setor*. NovaCana Ethanol Conference 2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/a-retomada-dos-investimentos-e-crescimento-do-setor/> Acesso em: Junho de 2016

FIGLIOLINO, A. (2016b) *Entrevista concedida para Tese de Conclusão de Curso – Pedro Pinho Senna*. São Paulo: Julho de 2016.

GHOSH, A.M.; BLAKRISHNAN, M. *Pilot demonstration of sugarcane juice ultrafiltration in an Indian sugar factory*. Journal of Food Engineering, v58, n.2, p.143-150, June 2003.

GHOSH, K.; RAMACHANDRAN, K.B.; *Analysis of the effect of in situ product removal on the stability and performance of a continuous bioreactor with cell separator for ethanol production*. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, v.12, n.3, p.282-296, 2007.

GIL, G.H.; JONES, W.J.; TORNABENE, T.G. *Continuous ethanol production in a two-stage, immobilized/suspended-cell bioreactor*. Enzyme and Microbial Technology, v.13, n.5, p.390-399, May 1991.

HAMERSKI, F. *Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar*. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

HATZICHRONOGLU, T. *Revision of the high-technology sector and product classification*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 1997 (working paper nº 1997/02).

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. *Determinants of eco-innovations by type of environmental impact. The role of regulatory push/pull, technology push and market pull*. ZEW Discussion Papers 11-027, ZEW / Center for European Economic Research. 2011.

HOWES, Rupert, SKEA, Jim e WHELAN, Bob (1997). *Clean and Competitive? Motivating environmental performance in industry*. Londres:Earthscan.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Industrial Inovação Tecnológica- (PINTEC-2005)*, 2007.

_____. *Classificação Nacional de Atividades Econômicas*. 2017. Disponível em: <http://cnae.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?view=subclasse&tipo=cnae&versao=9&subclasse=1931400> Acesso em: 25/01/2017.

IPCC, 2006. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html> Acesso em 15 de Maio de 2016.

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

KEMP, R.; FOXON, T. *Typology of eco-innovation*. In: MEI project: Measuring Eco-innovation. European Commission, ago. 2007.

KEMP, R; SMITH, K; BECHER, G. *How should we study the relationship between environmental regulation and innovation?* In: European Commission JRC-IPTS and Enterprise DG. The impact of EU regulation on innovation of European Industry, May, 2000.

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 of technological change*. Pinter Publishes, London & New York, 1990.

_____. *The Greening of Technological Progress: an evolutionary perspective*. *Futures* 24(5):437-457. 1992.

LEITE, H. T. C. *Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas. Campinas: Proamb Engenharia, 2008.

MAPA, 2016a. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Acompanhamento da Produção Sucroalcooleira*. Levantamento da Safra 2016. Disponível em:

http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/JULHO_2016/05_prodetanolsafra.pdf. Acesso em 21 de Julho de 2016.

LOT, A.C. e GURGEL, A. C. *Patentes e o etanol lignocelulósico*. Anais do 52º Congresso. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Goiânia, GO. Julho de 2014. Disponível em: <http://icongresso.itarget.com.br/tra/arquivos/ser.4/1/3263.pdf> Acesso em: 21/12/2016.

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.

LUSTOSA, M. C. J; CÁNEPA, E. M; YOUNG, C. E. F. *Política ambiental. Economia do meio ambiente, teoria e prática*. Editora Elsevier, 2011.

MAPA, 2016b. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Comparativo Etanol Hidratado x Gasolina no Brasil*. Atualizado em Junho de 2016. Disponível em:

[http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/precos/JUNHO_2016/18_paridadeethgas_br\(2\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/precos/JUNHO_2016/18_paridadeethgas_br(2).pdf) Acesso em 26 de Julho de 2016.

MAZZANTI, M; ZOBOLI, R. *Examining the factors influencing environmental innovations*. Working Papers, 2006.

MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L; RODRIGUES, J. R. A. *Breve Descrição do Proálcool e Perspectivas Futuras para o Etanol Produzido no Brasil*. Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, AC. Julho de 2008. Disponível em <http://www.sober.org.br/palestra/9/574.pdf> Acesso em: 20/12/2016.

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.

MORAES, M. A. F. D.: *O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades*. Econ. Aplic., São Paulo. V. 11, n. 4, p 605-619, Out/Dez 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ecoa/v11n4/08.pdf>. Acesso em 25 de Julho de 2016

MORAES, M. A. F. D.; OLIVEIRA, F. C. B.; DIAZ-CHAVEZ, R. A. *Socio-economic impacts of Brazilian sugarcane industry*. Environmental Development. V.16, p.31-43. Dez, 2015.

Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464515000627> Acesso em 25 de Julho de 2016

MOREIRA, R. F.; Almeida, O.; MACHADO, N. T.; RODRIGUES, E.; Neto, A. M. J. C.; Cordeiro, M. A.; Chagas, B. R.; Teixeira, M. L. T.; Veiga da Silva, P. R.; Tenoro, E. L. G. *Produção de Bioetanol a partir da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar*. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis: XX COBEQ, outubro de 2014.

MOSQUEIRA-SALAZAR, K. J. *Uso da água e análise energética na produção integrada de etanol de primeira e segunda geração a partir da cana-de-açúcar*. 2012. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012.

NAGATSUYU, L. K. *Políticas públicas ambientais e inovação ambiental: estudo de caso na companhia de saneamento do Paraná*. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

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

_____. *ISIC Rev. 3 technology intensity definition*. OECD Directorate for Science, Technology and Industry, Jul. 2011.

_____. *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2007*. OECD, 2007 (Annex 1: Classification of manufacturing industries based on technology, p. 219-221).

ORTEGA-ARGILÉS, R.; PIVA, M.; POTTERS, L.; VIVARELLI, M. *Is Corporate R&D Investment in High-Tech Sectors More Effective? Some Guidelines for European Research Policy*. Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit, Jan. 2009 (IZA discussion paper n. 3945).

ORTEGA-ARGILÉS, R.; POTTERS, L.; VIVARELLI, M. *R&D and productivity: testing sectoral peculiarities using micro data*. Empirical Economics, v. 41, n. 3, p.817-839, Dec. 2011.

OLTRA, V. *Environmental innovation and industrial dynamics: the contributions of evolutionary economics*. 1º DIME Scientific Conference, 7-9 April, 2008, BETA, University Louis Pasteur, France.

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.

OSLO manual (2005). *Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. 3rd. ed. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development - OECD: Statistical Office of the European Communities - Eurostat, 2005.

PACHECO, T.F., *Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?* Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>. Acesso em 14 de Abril de 2016.

PAVITT, K. *Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory*. Research Policy, v. 13, p. 343-373, 1984.

PICCOLO, C.; BEZZO, F. A. *A techno-economic comparison between two technologies for bioethanol production from lignocellulose*. Biomass and Bioenergy, v.33, n.3, p. 478-491, March 2009.

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.

PRESTON, John T. (1997). *Technology innovation and environmental progress*. In: CHERTOW, M. R. e ESTY, D. C. *Thinking Ecologically – the next generation of environmental policy*. Londres:Yale Univ. Press.

PULS, M.: *As boas-novas da cana-de-açúcar*. Revista Pesquisa FAPESP. Jan, 2016. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/01/12/as-boas-novas-da-cana-de-acucar/>. Acesso em 25 de Julho de 2016.

QUEIROZ, J. M. *Determinantes da inovação ambiental: uma análise das estratégias das firmas da indústria de transformação brasileira*, 2011. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAÍZEN. *Informações contábeis intermediárias combinadas consolidadas em 30 de Junho de 2016*. Disponível em: http://ri.raizen.com.br/system/files_force/grupo_raizen_-_itr_1t17_-_portugues.pdf?download=1 Acesso em: 20/12/2016

_____. *Raízen planeja investir R\$ 2,5 bilhões em etanol de 2ª geração*. Clipping Raízen na mídia. Janeiro de 2015. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/imprensa/clipping-raizen-na-midia/raizen-planeja-investir-r-25-bi-em-etanol-de-2a-geracao> Acesso em: 21/12/2016.

- REIN, P. *Cane sugar engineering*. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2007.
- RENNINGS, Klaus. *Towards a Theory and Policy of Eco-Innovation, Neoclassical and (Co-) Evolutionary Perspectives*. ZEW Discussion Papers 98-24, ZEW / Center for European Economic Research. 1998.
- ROBBINSON, C.; STOKES, L.; STUIVENWOLD, E.; VAN ARK, B. *Industry Structure and Taxonomies*. In: OMAHONY, M.; VAN ARK, B. EU productivity and competitiveness: An industry perspective. European Commission, 2003.
- ROCHA, G. J. M., MARTIN, C., SOARES, I. B., MAIOR, A. M. S., BAUDEL, H. M., DE ABREU, C. A. M. *Diluted mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production – Biomass and Bioenergy*, v.35, p. 663-670, 2011.
- ROSSELL, C. E. V. *Produção de Etanol de Cana-de-açúcar, qualidade da matéria prima*. In.: I Workshop Tecnológico sobre Produção de Etanol. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PPaper_sessao_1_Rossell_000fxg4uzq002wyiv80soht9h3dff8cq.pdf, Acesso em: 01 de Junho de 2016
- SCHUMPETER, A. Joseph. *Teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SCHUTTE, G. R.; BARROS, P. S. *A geopolítica do etanol*. In: Boletim de Economia e Política Internacional – IPEA. Número 1, Janeiro 2010.
- SHRIVASTAVA, P. *Environmental technologies and competitive advantage*. Strategic Management Journal, Vol. 16, 183-200, 1995.
- SIMISA. *Produtos: Limpeza da cana a seco*. Disponível em: <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php?id=62>. Acesso em: 06 de Julho de 2016.
- STUCCHI, A. A. *Palestra: A experiência da Raízen com E2G e perspectivas para o futuro*. NovaCana Ethanol Conference 2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/a-experiencia-da-raizen-com-o-etanol-de-segunda-geracao-130616/> Acesso em: Julho de 2016.
- UNICA – União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (2011). *Brasil poderá quase dobrar exportações de etanol para o Japão*. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BBBD256852-25D4-4CDA-BD54-F47DDCD89A6A%7D>. Acesso em: 15 de Março de 2016.

UNICA – União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (2016). *Exportação Anual de Etanol pelo Brasil por Estado de Origem*. Elaborado com dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). Disponível em <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=23&ano=civil> Acesso em 01 de Março de 2016.

USINA ESTER. *O Processo de fabricação de açúcar e álcool na Usina Ester*. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/clamcle/o-processo-de-fabricao-de-acar-e-lcool-na-usina> Acesso em: 01 de Junho de 2016.

VIEGAS, T. *Competitividade internacional do etanol brasileiro: oportunidades e ameaças*. Rio de Janeiro: Infopetro, Instituto de Economia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

VILLEN, R. A. *Mauá: biotecnologia: histórico e tendências*. Mauá: Escola de Engenharia de Mauá, 2009.

ZIEGLER, A.; NOGAREDA, J. S. *Environmental management systems and technological environmental innovations: Exploring the causal relationship*. Research Policy. 2009.