

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS
PRODUTIVOS

DENYS EDUARDO BIAGGI

INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA PRODUÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR
PELA ROTA HIDROLÍTICA ENZIMÁTICA: UM ESTUDO DE
PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

São Paulo

Junho/2017

DENYS EDUARDO BIAGGI

INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA PRODUÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR
PELA ROTA HIDROLÍTICA ENZIMÁTICA: UM ESTUDO DE
PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Fabricio José Piacente

São Paulo

Junho/2017

Biaggi, Denys Eduardo

B576i Inovações e tendências tecnológicas na produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática: um estudo de prospecção tecnológica / Denys Eduardo Biaggi. – São Paulo : CPS, 2017.
116 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio José Piacente

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2017.

1. Etanol de segunda geração. 2. Hidrólise enzimática . 3. Morfologia. I. Piacente, Fabricio José. II Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

DENYS EDUARDO BIAGGI

INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE
SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR PELA ROTA
HIDROLÍTICA ENZIMÁTICA: UM ESTUDO DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Prof. Dr. [Profª. Dra.] Nome do Orientador

Prof. Dr. [Profª. Dra.] Nome do Professor Convidado

Prof. Dr. [Profª. Dra.] Nome do Professor Convidado

São Paulo, 30 de Junho de 2017

A Deus pela oportunidade, a Soraia por todo apoio e compreensão e a minha família pelo incentivo incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e sabedoria.

A Soraia, por ter apoiado e compreendido o tempo necessário para desenvolver este trabalho.

A minha família, pelo apoio e incentivo incondicional.

Ao meu orientador, pelas suas orientações e correções.

Aos professores da banca e desta universidade, pelos comentários e sugestões.

Aos professores da Inova Paula Souza, pelo suporte e incentivo.

E a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte da minha formação.

Os problemas significativos com os quais nos
deparamos não podem ser resolvidos no
mesmo nível de pensamento em que
estávamos quando eles foram criados
(Albert Einstein)

RESUMO

BIAGGI, D. B. **Inovações e tendências tecnológicas na produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática: um estudo de prospecção tecnológica.** nn [130] f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2017.

O presente trabalho tem por objetivo identificar qual é a tendência tecnológica da produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar através da rota hidrolítica enzimática. A metodologia usada foi uma adaptação da metodologia de análise morfológica da tecnologia e do produto proposta por Yoon *et al.* (2013). O trabalho detalha os procedimentos utilizados para definir as *dimensions* e os *shapes*, posteriormente, empregados na caracterização da morfologia do produto e da tecnologia. O produto selecionado para realizar a análise morfológica foi o etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar e a tecnologia SHF (*Separate Hydrolysis and Fermentation*). Além da análise morfológica, foi realizado uma busca de patentes para posteriormente elaborar uma tabela de correlação entre a tecnologia e o produto e ,assim, poder identificar as principais áreas de correlação entre elas. Foi possível verificar a presença de patentes relacionadas a enzimas, fato que revela a importância que o desenvolvimento tecnológico na busca por cepas mais eficientes têm para a viabilidade comercial do etanol de segunda geração, a partir da rota hidrolítica enzimática. O desenvolvimento tecnológico na área de bioquímica e de engenharia genética apresentam-se como alternativa para essa melhoria na eficiência. Tanto para o desenvolvimento de microrganismos capazes de fermentar as pentoses e hexoses, simultaneamente, quanto na obtenção de variedades de plantas mais suscetíveis à ação desses microrganismos.

Palavras-chave: Etanol de Segunda Geração. Hidrólise Enzimática. Morfologia.

ABSTRACT

SOBRENOME DO ALUNO, A. B. [iniciais do prenome e dos nomes do meio] **Título, com apenas a primeira letra maiúscula:** subtítulo [não negrito]. nn [número de folhas] f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, ano.

The purpose of this study is to identify the technological trend on the production of second generation ethanol from sugarcane through enzymatic hydrolysis. The used methodology was an adaptation of the technology and product morphology analysis proposed by Yoon *et al.* (2013). This study details the processes which were chosen to define *dimensions* and *shapes*, later used in the portrait of product and technology. The selected product to accomplish the morphological analysis was the second generation ethanol from sugarcane, and the selected technology was SHF (*Separate Hydrolysis and Fermentation*). Apart from the morphological analysis, a patent search was used to, later on, elaborate a table correlating technology and product so as to identify the main correlated areas between them. It was possible to verify the presence of patents related to enzymes, a fact which reveals the importance of technological development in searching for more efficient strains to make feasible the commercialization of second generation ethanol from sugarcane through enzymatic hydrolysis. The technological development in biochemical and genetic engineering is an alternative to enhance this efficiency; both for the development of micro-organisms which are capable of fermenting pentose and hexose sugars simultaneously, and for obtaining a greater variety of plants which are more susceptible to the action of these micro-organisms.

Key-words: Second Generation Ethanol. Enzymatic Hydrolysis. Morphology.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Fluxograma resumido de uma destilaria autônoma	25
Quadro 1.2: Fluxograma integrado da produção de etanol de primeira (1G) e segunda (2G) geração.....	33
Quadro 1.3: Fluxograma do processo de produção de bioetanol, a partir da tecnologia SHF	38
Quadro 1.4: Planta de demonstração do processo de produção do bioetanol	40
Quadro 1.5: Metodologias de prospecção mais utilizadas.....	48
Quadro 1.6: Exemplo de seção, classe e subclasses da classificação internacional de patentes.....	53
Quadro 1.7: Exemplos de grupos da Classificação Internacional de Patentes	53
Quadro 2.1: Fluxograma resumido da metodologia utilizada para a coleta e análise dos documentos de patentes	62
Quadro 3.1: Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca por ano (1974-2016)	71
Quadro 3.2: Distribuição dos resultados obtidos com o termo de busca para todo o processo por país em que a invenção foi depositada (1974-2016)	72
Quadro 3.3: Distribuição dos documentos de patentes buscados em relação as principais classificações de patentes (CIP)	73
Quadro 3.4: Principais inventores depositantes dos documentos de patentes levantados na busca.....	74
Quadro 3.5: Principais empresas depositantes de pedidos de patentes levantados na pesquisa.....	75
Quadro 3.6: Tipos de pré-tratamento da biomassa utilizados na pesquisa	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1:	Métodos de prospecção por tipo de técnica	46
Tabela 3.1:	Matriz de palavras-chave e estratégia de busca	69
Tabela 3.2:	Morfologia da tecnologia SHF	77
Tabela 3.3:	Morfologia da tecnologia SHF com as palavras-chave	78
Tabela 3.4:	Morfologia da tecnologia SHF - estratégia de busca	87
Tabela 3.5:	Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico	88
Tabela 3.6:	Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico – estratégia de busca	88
Tabela 3.7:	Quantidade de patentes para cada <i>shape</i> da tecnologia	89
Tabela 3.8:	Busca com termos da morfologia do produto e tecnologia	90
Tabela 3.9:	Link tecnologia e produto	92
Tabela 4.1:	Fluxograma da metodologia atual.....	97

LISTA DE SIGLAS

AEAC	Álcool etílico anidro carburante
AEHC	Álcool etílico hidratado carburante
AFEX	<i>Ammonia Fiber Explosion</i>
ARP	<i>Ammonia Recycled Percolation</i>
CBP	<i>Consolidated Bioprocess</i>
CIP	Classificação Internacional de Patente
DMC	<i>Direct Microbial Conversion</i>
EFMN	<i>European Foresight Monitoring Network</i>
EUA	Estados Unidos da América
IAA	Instituto do Açúcar e Álcool
INPI	Instituto Nacional de Proteção Industrial
IPC	<i>International Patent Classification</i>
JPO	<i>Japan Patent Office</i>
LED	Light Emitting Diode
LHW	<i>Liquid Hot Water</i>
LOF	<i>Local Outlier Factor</i>
MA	<i>Morphology Analysis</i>
MU	Modelo de Utilidade
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
OMPI	Organização Mundial de Proteção Intelectual
PD&I	Pesquisa Desenvolvimento e Inovação
PI	Patente de Invenção
PIB	Produto Interno Bruto
SHF	<i>Separate Hydrolysis and Fermentation</i>
SSF	<i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>
TOA	<i>Technology Opportunity Analysis</i>
TOD	<i>Technology Opportunity Discovery</i>
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
1.1 Histórico do setor sucroalcooleiro.....	19
1.2 Proálcool.....	21
1.3 Etanol de primeira geração	22
1.4 Etanol de segunda geração	26
1.4.1 <i>A celulose da cana-de-açúcar</i>	<i>28</i>
1.4.2 <i>Principais etapas para a produção de etanol de segunda geração</i>	<i>30</i>
1.4.3 <i>Hidrólise e Fermentação em Separado (Separated Hydrolysis and Fermentation – SHF)</i>	<i>37</i>
1.5 Prospecção tecnológica.....	41
1.5.1 <i>Prospecção Tecnológica: principais conceitos e características</i>	<i>43</i>
1.5.2 <i>Técnicas e métodos de prospecção tecnológica</i>	<i>46</i>
1.5.3 <i>Patentes e bases de patentes.....</i>	<i>48</i>
1.5.4 <i>Ferramentas de busca de patentes e análise de prospecção tecnológica</i>	<i>53</i>
1.5.5 <i>Análise de bancos de patentes</i>	<i>54</i>
1.5.6 <i>Descoberta de oportunidades tecnológicas.....</i>	<i>57</i>
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA	59
2.1 Etapas da Metodologia.....	61
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	67
3.1 Escolha da tecnologia analisada (SHF).....	67
3.2 Análise de prospecção da tecnológica SHF	69
3.3 Apresentação e análise dos resultados propostos na metodologia	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
REFERÊNCIAS	99
ANEXO A.....	111

INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro, mais recentemente denominado de sucroenergético, compreende as atividades agrícolas e industriais relacionadas à produção de açúcar, etanol e cogeração de eletricidade, o que, no Brasil, é realizado, de forma constante, a partir do processamento da cana-de-açúcar. Esse setor é importante economicamente para o Brasil, sendo que o PIB (Produto Interno Bruto) do setor sucroenergético, da safra 2013/14, foi de US\$ 43,36 bilhões, o que equivale em torno de 2% do PIB nacional de 2013.

O interesse em investir no setor sucroalcooleiro revigorou-se em meados de 2004, quando os carros *flex fuel*, também denominados de bicomcombustíveis, foram introduzidos no mercado nacional, aumentando assim, a demanda por etanol combustível. A partir de então, o etanol entrou novamente na agenda do governo, das empresas de tecnologia e, em especial, de investidores interessados nas oportunidades do setor. A internacionalização do etanol combustível fabricado a partir da cana-de-açúcar, com a possibilidade em breve desse produto tornar-se uma commodity mundial, reforçou o interesse de agentes que até o presente momento não atuavam, de forma direta, nesse setor.

Um dos desafios para o Brasil, nos próximos anos, será consolidar-se como um grande produtor e fornecedor internacional de etanol, o que requer investimentos em melhorias tecnológicas que se adequem às exigências internacionais de produção sustentável, tanto em termos ambientais como sociais. Isto envolve desde a descoberta de novas variedades de cana-de-açúcar, inovações administrativas e na linha de produção das usinas, até na simples expansão da área agrícola.

Segundo o programa Renova Bio – Biocombustíveis 2030, lançado pelo Governo Federal do Brasil, no início de 2017, objetiva-se dobrar a produção de etanol até 2030, ou seja, prevê crescimento de consumo dos atuais 28 bilhões de litros de etanol combustível consumidos anualmente para 50 bilhões de litros (RENOVABIO, 2016).

A produção de etanol, a partir do processamento da cana-de-açúcar, pode ocorrer através do uso de duas rotas tecnológicas. A primeira é conhecida pela produção de etanol com a cana-de-açúcar e é empregada na história do Brasil e em outras regiões produtoras do mundo e sabe-se que esta consiste basicamente na fermentação alcoólica da sacarose obtida da cana-de-açúcar pelo esmagamento mecânico do seu colmo.

Ainda que a produção de etanol de primeira geração (processo convencional), no Brasil, tenha obtido avanços crescentes na produtividade agrícola e industrial. Já a atual tecnologia industrial de produção do etanol é datada dos anos 1980 e está próxima de seus limites teóricos, ou seja, há um esgotamento da eficiência da rota tecnológica industrial atualmente empregada no setor sucroenergético processador de cana-de-açúcar, na nação brasileira. Segundo Nogueira (2008), o aumento de produtividade teórico desse processo de primeira geração está limitado ao máximo de 4%. Assim, a possibilidade de expansão da produção de etanol de cana-de-açúcar tornando-o uma *commodity* internacional esbarrará nessa limitação tecnológica e, de forma invariável, o aumento da produção se dará de maneira extensiva, ou seja, aumentando a área agrícola ocupada com cana-de-açúcar, o que gerará impactos sobre outras culturas.

Uma alternativa para suprir a demanda de etanol é a produção de etanol por meio de novas rotas de conversão, que apresentam estimativas de ganho de produtividade de, no mínimo, 50% (NOGUEIRA, 2008). Segundo Hamelinck *et al.* (2005), o etanol celulósico de cana-de-açúcar é produzido através de polissacarídeos da parede celular vegetal e é denominado etanol de segunda geração. Assim, apesar das mais diversificadas rotas para a produção de etanol de cana-de-açúcar de segunda geração, este trabalho de dissertação trata exclusivamente da rota lignocelulósica.

A hidrólise da celulose é a principal rota tecnológica para a produção de etanol de segunda geração, ou bioetanol, a partir da cana-de-açúcar. Nela, a celulose do bagaço e da palha da cana é hidrolisada em reatores bioquímicos. Ocorre a quebra da estrutura molecular dessa celulose em açúcares simples e solúveis, passíveis de se transformarem em etanol pela ação de microrganismos na etapa de fermentação (HAMELINCK *et al.*, 2005).

Esse novo processo, até então limitado no Brasil a experiências isoladas de duas empresas, vem mobilizando um número crescente de pesquisadores estimulados por políticas de pesquisa voltadas para ampliar a produtividade do etanol de cana-de-açúcar brasileiro. O objetivo é aproveitar o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, fontes de celulose que respondem por dois terços da energia da planta, submetê-los a reações de hidrólise e transformá-los em biocombustíveis.

Entre os benefícios do etanol de segunda geração, relacionam-se os seguintes fatores: o aproveitamento da cana-de-açúcar e seus subprodutos; aumento da fabricação de etanol em até 50% sem ampliar a área de cultivo; produção do biocombustível, mesmo durante a entressafra da cana; e a redução da emissão de carbono durante a produção, gerando um combustível mais limpo.

Segundo Marques (2009), o interesse brasileiro pelo etanol de celulose permite tornar ainda mais competitivo o etanol de cana-de-açúcar, ampliando sua produção sem a necessidade de expandir na mesma proporção sua área plantada. Estudos conduzidos no âmbito do Projeto Bioetanol, uma rede de pesquisa financiada pelo governo federal do Brasil, apontam que uma destilaria, que produz hoje 1 milhão de litros de etanol por dia do caldo da cana-de-açúcar, poderia, inicialmente, com a adoção da rota tecnológica hidrolítica para a produção de etanol celulósico, gerar um adicional de 150 mil litros de etanol, a partir do processamento do bagaço. Então, estima-se que, em 2025, com a técnica aperfeiçoada, a mesma produção poderia ter um acréscimo de 400 mil litros por dia.

A palha da cana é outra fonte potencial para a extração de etanol. Com o abandono da prática das queimadas, esta tende a ser utilizada na indústria como fonte de celulose para o processo de segunda geração.

Países como os Estados Unidos, o Canadá e a Suécia têm uma produção científica mais destacada que a do Brasil em relação no desenvolvimento do etanol de segunda geração. Porém, os Estados Unidos utilizam milho como matéria prima celulósica; já o Canadá e a Suécia, resíduos de madeira; e, na Itália, um tipo de gramínia rasteira, ou seja, a matéria-prima cana-de-açúcar está fora da rota tecnológica desses países.

Nas experiências internacionais, observa-se a utilização de diversos tipos de materiais para a geração da bioenergia que, em sua maioria, trata-se de matérias-primas provenientes de plantas, tais como: raízes, grãos, caules ou folhas das mais variadas espécies. A nomenclatura internacional classifica todo e qualquer tipo de etanol produzido, a partir de fontes originadas da biomassa de bioetanol, justamente para distingui-los do etanol produzido através de derivados de origem fóssil (PIACENTE *et al.* 2016).

Constata-se que a produção mundial de bioetanol não se limita a utilização da cana-de-açúcar como matéria-prima básica, mas que outras fontes de biomassa são aproveitadas em diversos países. Dentre elas, destacam-se os resíduos florestais, a beterraba açucareira, o sorgo, o trigo, a mandioca e o milho. Dessa maneira, países com pouca ou nenhuma tradição na produção canavieira tem revelado um papel importante no desenvolvimento tecnológico de processos que utilizem fontes alternativas de biomassa para a produção de etanol (PIACENTE *et al.* 2016).

De acordo com Souza *et al.* (2013), são características da biomassa ideal para a produção de bioetanol: alta produtividade agrícola, curtos ciclos produtivos, baixo consumo energético,

baixo custo de produção, baixos níveis de contaminantes e baixa demanda por nutrientes. Pode-se destacar, ainda, a relevância de mostrar um balanço de carbono vantajoso, quando medido por avaliações de ciclo de vida, levando em consideração toda a cadeia de produção e o uso dos biocombustíveis.

Na atualidade, os EUA são considerados o maior produtor mundial de bioetanol, produzido a partir do processamento do milho. Na safra de 2013/14, produziu o equivalente a 51,4 milhões de metros cúbicos, duas vezes mais que a produção brasileira, que foi de 23,7 milhões, fabricado a partir do processamento da cana-de-açúcar. Já na safra do mesmo período, foi produzida, nos EUA, a quantia de 361 milhões de toneladas de milho, dessa quantia, 131,4 milhões de toneladas foram direcionadas para fabricação de biocombustível, o equivalente a mais de 36% de todo o milho (USDA, 2015).

Em diversos países, os métodos de prospecção tecnológica são usados há várias décadas como uma ferramenta para orientar os esforços empreendidos para a pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Os primeiros registros de utilização sistematizada das informações como ferramenta estratégica são datados da década de 50, cujo objetivo principal era a redução do tempo entre a invenção e a disposição dos produtos novos no mercado e, a essa atividade, definiu-se o nome de prospecção tecnológica.

Para Coelho (2003), o termo prospecção tecnológica se refere as atividades de prospecção focadas nas mudanças tecnológicas, em mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação. Tem como objetivo incorporar informação ao processo de gestão tecnológica e buscar predizer possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas.

O objetivo geral deste trabalho é identificar qual é a tendência tecnológica da produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática. Então, o objetivo pode ser dividido em quatro específicos:

i) verificar a consistência da metodologia de análise morfológica proposta por Yoon *et al.* (2013) como referencial metodológico base para o objetivo proposto neste trabalho;

ii) identificar qual dos padrões tecnológico que utiliza a rota hidrolítica enzimática está na vanguarda do desenvolvimento para a produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar;

iii) realizar um estudo analítico com o objetivo de caracterizar, de maneira geral e resumidamente, os documentos de patentes levantados para a tecnologia escolhida no item ii);

iv) aplicar inicialmente a metodologia proposta, sendo que esta adaptada de Yoon *et al.* (2013) e verificada no item i), cujo objetivo principal é verificar qual a tendência tecnológica da opção escolhida no item ii), para a produção de etanol de segunda de cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática.

Este objetivo pode ser colocado na forma de uma pergunta problema: Qual a tendência tecnológica para a produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento da cana-de-açúcar através da rota hidrolítica enzimática?

CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, é abordado o histórico do setor sucroalcooleiro no Brasil, com atenção especial para o programa Proálcool. Na sequência, apresenta-se brevemente o processo de obtenção do etanol de primeira geração e com um nível maior de detalhes sobre o etanol de segunda geração, proveniente do material lignocelulósico da cana-de-açúcar.

No que diz respeito ao etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar, foi, primeiramente, detalhado a celulose da cana-de-açúcar, pois trata-se do material utilizado no processo de manufatura do etanol de segunda geração.

Em seguida, destacam-se as principais etapas da produção de etanol de segunda geração: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação.

Por fim, é abordada a rota tecnológica de produção do etanol de segunda geração escolhida como objeto de estudo nesse trabalho, o SHF (*Separate Hydrolysis and Fermentation*).

1.1 Histórico do setor sucroalcooleiro

O complexo produtivo sucroalcooleiro do Brasil, desde a sua instalação no Período Colonial, sempre foi objeto de regulamentações por parte do Estado. Notadamente, na década de 1930, com o advento do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), o produtor açucareiro passou a se submeter a uma série de arranjos institucionais, vinculando os interesses do setor às esferas de decisão do Estado. Essa intervenção foi instaurada sob forte apelo dos próprios produtores devido à ameaça de ruína dessa economia em função da superprodução, da queda do preço doméstico e dos volumes de exportações, e da desorganização dos mercados internos (SZMRECSÁNYI, 1979).

Dentre as medidas intervencionistas adotadas, destaca-se o regime de quotas individuais para a produção de açúcar, com a finalidade dupla de regular o crescimento da produção e planejar as relações entre as diversas regiões produtoras do país (RAMOS, 1999).

Para controlar o setor, esses instrumentos utilizados pelo Estado permitiram aos produtores de açúcar uma série de privilégios, tais como: garantia de mercado, margem de lucro, concessão de subsídios, entre outros. Nota-se que, no período de intervenção, essas medidas reforçaram a rigidez do setor, impossibilitando o surgimento de um ambiente competitivo na agroindústria canavieira nacional. Fica claro entender que esse ambiente controlado e sem competição interna explica, em parte, o baixo grau de importância da adoção do progresso técnico para a evolução de todo o complexo canavieiro do país.

Galloway (1989) aponta que o modelo de produção açucareiro, desde o Período Colonial, nas Américas, admitiu características fundamentais quanto à adoção por parte dos produtores de inovações técnicas. Para tanto, o autor apresenta três hipóteses para entender o processo de adoção dessas melhorias. A primeira hipótese é a de que as inovações possibilitaram aos produtores elevar seus ganhos líquidos, reduzindo perdas e tornando o processo de produção mais eficiente. A segunda destaca a escassez e o esgotamento dos recursos naturais disponíveis como motivador de soluções técnicas, sejam melhorias de processo ou permitindo a substituição de fatores de produção. A terceira ressalta que a concorrência de mercado encorajou a adoção de inovações.

Assim, a presença intervencionista reguladora do Estado, na agroindústria canavieira do Brasil, a partir da década de 1930, derruba pelo menos duas das hipóteses fundamentais colocadas por Galloway (1989). A rigidez do setor com garantia de mercado, por meio das quotas de produção fixadas, desencoraja a adoção de inovações que possibilite elevar os índices de produção agroindustriais e a política de preços garantidos inibe a concorrência de mercado entre firmas.

Pesquisadores que analisaram a evolução da atividade canavieira, no Brasil, destacam-se De Carli (1936), Eisenberg (1977), Szmrecsányi (1979), Ramos (1999). Eles ressaltaram, em seus trabalhos, que, de maneira geral, os esforços de modernização com recursos próprios eram esporádicos e não retratavam o comportamento histórico dos proprietários canavieiros. A disponibilidade de terras abundantes, a mão-de-obra barata e a atitude conservadora dos empresários do setor se combinavam para uma atitude refratária à adoção de inovações tecnológicas.

Estes fatores negativos eram reforçados por oscilações de instabilidade no mercado internacional de açúcar e pelo fato de que grande parte dos produtores nacionais não dispunha de capitais para a modernização. Assim, observa-se que a predisposição à modernização tanto das lavouras, quando da indústria com recursos próprios era a exceção; e não a regra. Isso

explica em parte que, durante todo o período de intervenção, o Estado financiou e coordenou os programas de desenvolvimento e adoção de melhorias tecnológicas para o setor, preponderantemente, por meio de institutos de pesquisas relacionados a órgãos públicos.

1.2 Proálcool

Após a primeira crise do petróleo, entre os anos de 1973 e 1974, o Brasil criou o Programa Proálcool com o objetivo de diminuir a dependência das importações de combustíveis automotores, que representava 80% da demanda de combustíveis e 47% do total das importações no país (KOHLHEPP, 2010).

Devido ao programa, a produção anual que estava em 600 milhões de litros, em 1974, passou para 10,6 bilhões, em menos de uma década. Porém, o aumento da produção interna de petróleo e a queda dos preços internacionais desanimou o governo, que diminuiu o interesse e, conseqüentemente, os subsídios ao programa. O etanol perdeu competitividade perante a gasolina, mesmo assim, o programa se manteve devido a frota de carros à etanol, e também a obrigatoriedade no uso do etanol anidro na mistura com a gasolina. Outro fator importante foi a manutenção da infraestrutura, que permitiu disponibilizar o etanol em 90% dos 30 mil postos de combustível do país (LEITE & LEAL, 2007).

Em 2001, o mercado de etanol foi desregulamentado e o governo deixou de estabelecer preços e cotas, com isso, prevaleceu a livre competição entre os produtores. Com a elevação do preço do petróleo refletindo, de forma direta, no preço da gasolina, em 2002, voltou o interesse na aquisição de carros movidos à etanol. Com isso, as montadoras passaram a oferecer carros *flex fuel*, que podem funcionar com gasolina ou etanol, permitindo assim, ao usuário fazer a opção do combustível financeiramente mais vantajoso, em qualquer momento (LEITE & LEAL, 2007).

Macedo (2007) destaca os principais avanços tecnológicos do período que compreende os anos de 1975 a 2000. Entre 1980 e 1990, sobressaem: i) variedades de cana-de-açúcar desenvolvidas no Brasil (principais programas: Copersucar e Planalsucar); ii) desenvolvimento do uso integral da vinhaça na ferti-irrigação; iii) controles biológicos na produção da cana-de-açúcar; iv) inovações no sistema de moagem com quatro rolos; v) operação de fermentação “aberta” de grande porte; vi) cogeração e a auto-suficiência de energia-elétrica para as unidades

processadoras de cana-de-açúcar; vii) e a modificação técnica na especificação do etanol de cana-de-açúcar produzido e mudança nos motores E100 (100% etanol) para automóveis.

Essas melhorias técnicas continuaram no período seguinte, entre 1990 e 2000, destacam resumidamente: i) otimização e mecanização intensiva de operações agrícolas, como: corte, carregamento e transporte da cana; ii) mapeamento do genoma da cana-de-açúcar e outras transformações genéticas aplicadas para a planta; iii) marco regulatório energético para o setor, possibilitando a venda de excedentes de energia e a aplicação nos parques de cogeração; iv) avanços em automação industrial e gerenciamento técnico; v) introdução do motor *flex-fuel* (MACEDO, 2007).

Os resultados obtidos, comparativamente, entre os dois períodos destacados, são os principais indicadores desse processo de desenvolvimento de novas tecnologias e a sua aquisição por parte das unidades agroindustriais, o que tornou os processos de produção mais eficientes. Entre o primeiro e segundo período, a produtividade agrícola apresentou um aumento médio na produção de 33% em toneladas de cana por hectare; 8% de evolução na qualidade da matéria-prima; aumento de 14% na recuperação dos açúcares da cana-de-açúcar processada perante a produção de etanol; e, aproximadamente, 130% de melhora na produtividade da fermentação (MACEDO, 2007).

Macedo (2007) observou a natureza dos avanços tecnológicos. Nos primeiros anos (1975-1978), as atenções estavam focadas no rápido aumento da produção, e isso é possível devido à indução de metas somada a garantia de compra. Nos anos posteriores, as preocupações estavam centradas no aumento da eficiência e, na última fase, (1980-1985) no avanço de técnicas de gestão da produção, que proporcionou reduções de custos significativas. Como resultado, o etanol alcançou uma situação em que não necessitava mais de subsídios para competir com a gasolina, tornando-se um combustível plenamente substituto desta em condições de mercado.

1.3 Etanol de primeira geração

Apesar de tratar-se de um setor produtivo que utiliza tecnologias conhecidas na história e largamente difundidas, a agroindústria canavieira é uma atividade complexa, pois envolve um conjunto que se compõe de um setor agrícola e de um setor estritamente industrial, muitas

vezes, dividido em duas partes: fábrica de açúcar e destilaria de álcool. A parte agrícola apresenta aspectos e características relacionadas, de forma direta, a essa vertente da economia, ao processo de ocupação territorial e a utilização de recursos naturais, como: água e solo. A divisão industrial apresenta seus aspectos mais coadunados intimamente com os processos de transformações da matéria-prima para a fabricação de inúmeros produtos, dentre estes, destacam-se o açúcar e mais recentemente o etanol, como os principais (PIACENTE, 2005).

Os diversos produtos e subprodutos gerados no processamento da cana-de-açúcar dependem, em grande parte, da qualidade em que esse insumo chega até as unidades processadoras. Essa qualidade deve-se a uma série de fatores: variedade de cana-de-açúcar; condições de clima e solo; sistema de cultivo; ausência ou emprego da irrigação; estágio de maturação da cana; teor de impurezas minerais ou de matéria estranha; sanidade da cana em relação ao ataque de doenças; tempo de estocagem da cana queimada, entre outros.

De maneira geral, o complexo produtivo sucroalcooleiro do Brasil sempre foi objeto de regulamentações do Estado. Na década de 1930, com o advento do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), o produtor açucareiro passou a se submeter a uma série de arranjos institucionais, vinculando os interesses do setor às esferas de decisão do Estado. Essa intervenção foi instaurada sob forte apelo dos próprios produtores do setor, em razão da ameaça de ruína dessa economia devido a superprodução, a queda do preço interno e do volume das exportações (RAMOS, 1999).

Fica claro entender que esse ambiente controlado e sem competição interna, explica em parte, o baixo grau de importância do progresso tecnológico para a evolução de todo o complexo canavieiro do país, no início do período intervencionista, que foi de 1931 até 1990.

Assim, o setor sucroalcooleiro nacional historicamente dependeu de inovações e soluções tecnológicas desenvolvidas fora do país para processar, de forma industrial, a cana-de-açúcar e produzir açúcar e etanol. Essa tecnologia importada foi disseminada no país desde o século XIX por tradicionais fabricantes industriais franceses como a Fives-Lille; alemães como a BMA; e americanos como a Farrel. O emprego dessas tecnologias pelas usinas processadoras foi disseminado, primeiramente, na compra de máquinas e equipamentos importados e, em seguida, por equipamentos fabricados no país sob licença de seus desenvolvedores (PIACENTE, 2010).

Atualmente, os dois principais fabricantes nacionais de plantas completas (*turn-key*) para produção de açúcar e etanol de primeira geração, no Brasil, são a Dedini Indústria de Base,

instalada em Piracicaba/SP e a Zanini Equipamentos Pesados, de Sertãozinho/SP. Ambas desenvolvem projetos de máquinas e equipamentos para o setor, além de trabalharem com equipamentos licenciados de desenvolvedores estrangeiros.

Segundo Piacente (2010), a cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas, trata-se de uma cultura perene, que apresenta um ciclo médio de produção entre 5 a 7 anos. Dependendo da variedade, a cana colhida possui de 8% a 15% de fibras celulósicas; 7% a 20% de sacarose; e 55% a 70% de água. De maneira geral, a produção de cana-de-açúcar é distribuída entre os países localizados, em regiões de faixa climática tropical ou subtropical, especialmente, na América Latina e Oriente, entre os paralelos 35° Norte e 35° Sul. Os principais produtores mundiais são: Brasil, Índia, Austrália, México, África do Sul, Indonésia, Colômbia, entre outros. Em todos esses países, essa cultura destina-se principalmente a produção de açúcar, no Brasil, é também empregada na produção de etanol.

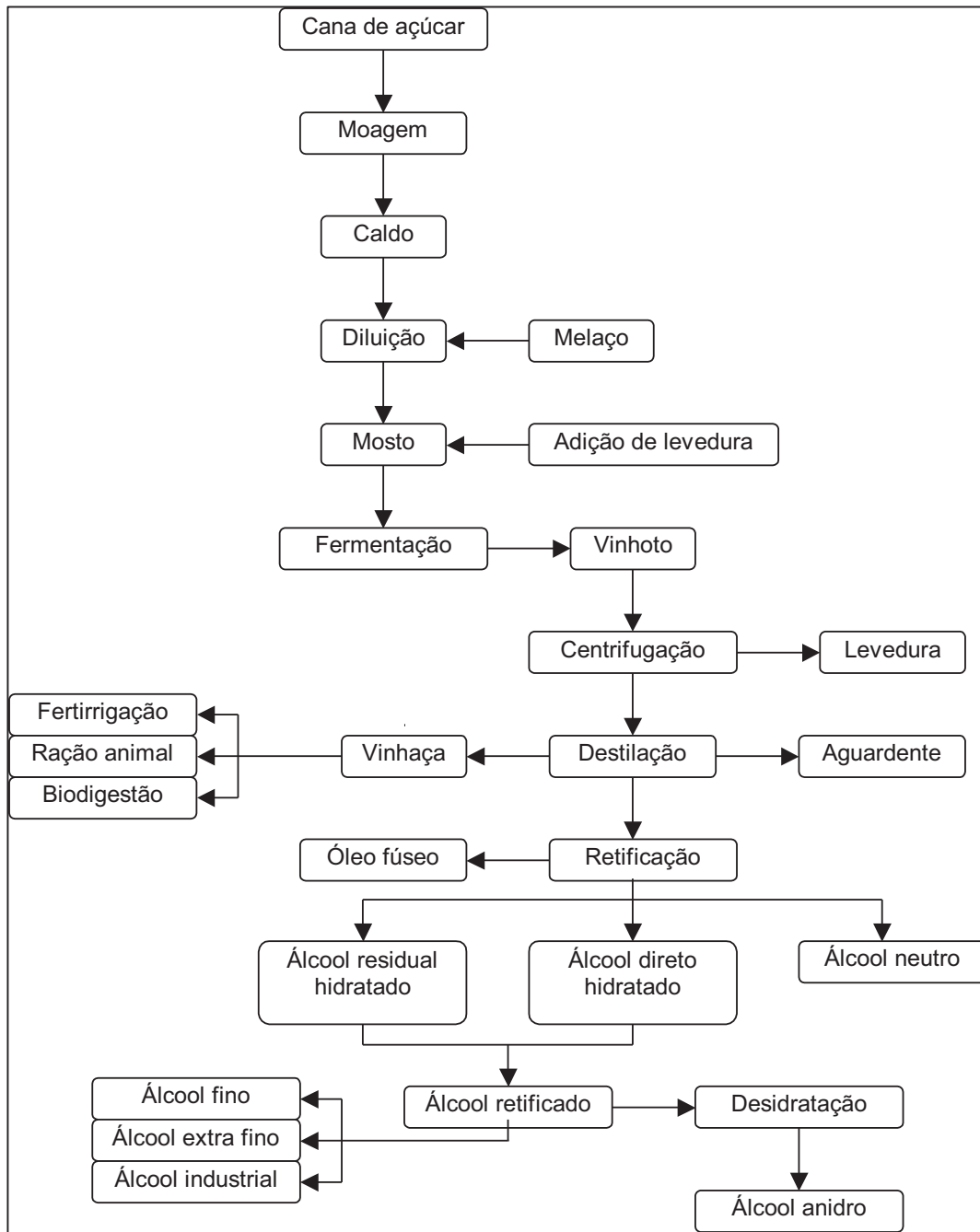
Na nação brasileira, as unidades processadoras de cana-de-açúcar podem ser divididas em dois grupos: i) as usinas, que são fábricas de açúcar e que normalmente possuem uma destilaria anexa e também reprocessa o melaço para a fabricação de etanol; ii) e as destilarias, que processam cana-de-açúcar, de forma exclusiva, para a fabricação de etanol (PIACENTE, 2010).

O termo álcool é normalmente empregado para a substância conhecida como etanol, metilcarbinol, álcool de cana ou de grãos. Trata-se de um líquido incolor, transparente, volátil, de cheiro estéril e miscível em água, é empregado na forma hidratada (de 95 a 96% de volume) para atender a demanda da indústria química e de bebida ou anidro (maior que 99% de volume) como combustível (ARIAS *et al.*, 1999).

No Brasil, a fabricação comercial do etanol é exclusivamente feita por via fermentativa, chamada também de primeira geração, e baseia-se no aproveitamento do mel final ou melaço das usinas, na utilização direta da cana de açúcar, ou ainda na produção pela inversão do açúcar. A etapa de fabricação do etanol de cana, conforme Stupielo (1987), resumidamente, se divide nas operações de extração do caldo, preparo do mosto, preparo do fermento, fermentação, destilação, retificação e desidratação.

O QUADRO 1.1 enfoca o fluxograma resumido de uma destilaria autônoma que utiliza a cana-de-açúcar como matéria-prima para a manufatura de diversas versões do álcool.

QUADRO 1.1: Fluxograma resumido de uma destilaria autônoma.



Fonte: Adaptado de Piacente, 2005.

Inicialmente, a cana-de-açúcar é limpa, picada, desfibrada e encaminhada por uma esteira a um conjunto de seis moendas (ternos de moendas) para a moagem ou para um difusor. Durante esse processo, ocorre a extração do caldo da cana-de-açúcar, via pressão mecânica dos rolos, no caso dos ternos de moendas, ou por lixiviação, quando a fábrica utiliza a difusão. O caldo extraído é encaminhado a um processo prévio de tratamento em que o decanta, este recebe

a adição de produtos químicos e é retirado parte da sua água (pré-evaporação) para iniciar o processo de fermentação. O bagaço, resultado do processo de extração, é direcionado para a cogeração de energia da fábrica.

Na sequência, o caldo é aquecido para a esterilização e aumento da sua concentração, adiciona-se levedura e a mistura entra em um processo de fermentação alcoólica em que ocorre a transformação dos açúcares em etanol. Depois de fermentado, recupera-se a levedura da mistura e o mosto resultante é encaminhado aos aparelhos de destilação para separar o etanol do restante da mistura.

Nota-se que, conforme QUADRO 1.1, pelo menos três etapas são fundamentais para a produção de etanol de cana de açúcar pela rota de primeira geração: moagem (pré-tratamento físico ou mecânico), fermentação e destilação, essas são utilizadas de maneira muito parecida para ambas as rotas de primeira e de segunda geração. Assim, optou-se por apresentar o fluxograma resumido do QUADRO 1.2 (página 33) com o objetivo não só de ilustrar as etapas de produção, e também destacar a inter-relação entre as duas rotas de produção.

1.4 Etanol de segunda geração

A corrida tecnológica mundial pelos biocombustíveis de segunda geração vem sendo, de forma direta ou indireta, analisada em diversos trabalhos e em diferentes perspectivas.

Segundo Nyko *et al.*(2010), apesar do etanol celulósico não apresentar, até o momento, viabilidade econômica, existem vantagens que estimulam o desenvolvimento tecnológico dessa alternativa. Destaca-se que as alterações climáticas decorrentes da queima dos combustíveis fósseis e a questão da insegurança energética refletida na dificuldade crescente da produção do petróleo e nos conflitos geopolíticos nas principais áreas produtoras têm motivado uma corrida sem precedentes pela produção de energia, a partir de fontes renováveis.

Bastos (2012) analisou comparativamente a viabilidade de biorrefinarias integradas, de primeira, segunda, terceira e quarta geração. Quanto às de segunda geração, classificado pelo autor como as que processam biomassa lignocelulósica, destacou que estão nos últimos estágios de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) ou demonstração, e que ainda enfrentam desafios de comercialização e escalonamento. Ressaltou ainda que existem várias plantas de demonstração

em todo o mundo e que estão sendo projetadas não como provas de conceito, mas visando demonstrar a viabilidade econômica e a competitividade de custo, rendimento e eficiência de tal tecnologia.

Segundo Willianson (2011), nos EUA, o sucesso dos empreendimentos adaptados dessa nova tecnologia depende da parceria entre empresas de biotecnologia, do setor de petróleo e químico, com forte apoio do governo. A expectativa desse autor é de que as primeiras plantas comerciais, com viabilidade técnica e econômica devem ser operacionais entre 2015-2020.

Para Bastos (2012), a rota tecnológica de segunda geração ainda requer melhoramento das características da matéria-prima, redução de custos por meio de adequados processos de pré-tratamento, melhoramentos da eficácia das enzimas, redução dos custos de produção, melhoria completa e integração de processo. Além disso, os preços do petróleo dão o ponto de equilíbrio para a viabilidade desse tipo de biorrefinaria.

Segundo Aristidou & Penttila (2010), o aproveitamento de materiais lignocelulósicos, tais como: o bagaço de cana-de-açúcar, a palha de arroz, a casca de aveia, as aparas de eucalipto, entre outros devem ser considerados como importantes matérias-primas para a produção de energia em biorrefinarias de segunda geração. Tratam-se de resíduos orgânicos renováveis procedentes da agroindústria e de atividades da exploração florestal e que processados, a partir de tecnologia adequada, possibilitam um balanço energético favorável.

Segundo Macedo *et al.* (2008), no Brasil, os resultados existentes sobre o balanço energético da produção de etanol de cana-de-açúcar mostram um balanço positivo de, no mínimo, 6,7. Isso significa que para cada unidade de energia fóssil utilizada no processo ao menos 6,7 unidades de energia renovável são produzidas. Em termos comparativos, Shapouri *et al.* (2002) apresentaram na sua pesquisa sobre a produção de etanol de milho nos EUA uma relação de conversão energética de aproximadamente 1,4.

A preocupação ambiental é destacada por muitos especialistas como uma importante variável na opção de escolha de rota tecnológica para o etanol de segunda geração. Segundo Nogueira (2008), o modelo de produção de etanol de primeira geração, atualmente vigente, apresenta pouca possibilidade de suprir a crescente demanda desse combustível como um substituto aos de origem fóssil em um futuro próximo. Destaca-se que a rota de primeira geração apresenta como principal impedimento um esgotamento na sua eficiência. Esse autor estima que o atual modelo suportaria um ganho de produtividade limitado a, no máximo, 4%, o que seria insuficiente, sem uma expansão maciça da área ocupada com cana-de-açúcar, de suprir a

demanda mundial em potencial. Esse crescimento agrícola da cultura da cana-de-açúcar impactaria diretamente no uso e ocupação do solo, gerando externalidades sobre outras atividades do campo. Para tanto, a solução proposta é a produção de etanol via celulósica – segunda geração – com o aproveitamento integral da palha e do bagaço gerados na produção de etanol de primeira geração.

1.4.1 A celulose da cana-de-açúcar

Nos dias de hoje, o processamento agroindustrial da cana-de-açúcar, no Brasil, encontra-se, em função das suas especificações técnico produtivas, autossuficiente energeticamente. O bagaço, um dos principais subprodutos desse processo, é consumido, de forma integral, para produção de energia por meio da cogeração.

Segundo Santana & Teixeira (1993), o bagaço *in natura* é composto aproximadamente por: 44,5% de fibras lignocelulósicas; 50% de umidade; 2,5% de sólidos solúveis em água e 3% de teor de cinza. Neste trabalho, verificou-se ainda que, morfológicamente, o bagaço possui 50% de fibra, 30% de tecidos parenquimatosos e 20% de vasos e epiderme.

Segundo Binod *et al.* (2010) e Yamashita *et al.* (2008), entre os materiais lignocelulósicos, a cana-de-açúcar constitui a principal matéria-prima para a produção de etanol, devido ao seu caráter renovável, abundante e baixo custo.

A celulose é o principal constituinte dos materiais lignocelulósicos, apresenta uma estrutura microscópica semelhante à maioria das células vegetais, é constituída de uma parede celular rígida composta basicamente de polissacarídeos (cerca de 70% da massa) com propriedades físico-químicas, tais como: plasticidade, elasticidade, resistência à tensão e decomposição por microrganismos (LEE, 1997).

No geral, os materiais lignocelulósicos são constituídos basicamente pelos compostos estruturais ou celulares. Além da celulose, hemicelulose e a lignina, outros constituintes menores também se mostram presentes. Estes incluem compostos orgânicos também chamados de extrativos (ésteres, álcoois, esteróides e outros) e inorgânicos (sulfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos de cálcio, potássio e magnésio, principalmente). As proporções entre os constituintes dependem do tipo de material (LEWIN & GOLDSTEIN, 1991).

Segundo Fengel & Wegener (1989), a biomassa lignocelulósica constitui a maior fonte de carboidratos naturais do mundo. A dificuldade em converter a biomassa lignocelulósica em insumos químicos é atribuída às suas características químicas e morfológicas. Esses materiais lignocelulósicos são constituídos de fibras de celulose envolvidas em uma matriz amorfa de polioses e lignina. Essa matriz amorfa age como uma barreira natural ao ataque de microrganismos e enzimas e torna esses materiais estruturalmente rígidos e pouco reativos.

Outro componente dos materiais lignocelulósicos é a hemicelulose, que se trata de heteropolissacarídeos complexos¹ compostos por glucose, galactose, manose, xilose e rabinose, encontra-se intercalada às microfibrilas de celulose, promovendo a elasticidade e impedindo que elas se toquem. Estas macromoléculas são solúveis em água e facilmente solubilizados em soluções alcalinas (SZENGYEL, 2000).

As hemiceluloses são estruturalmente mais semelhantes à celulose do que a lignina, apresentam ramificações que interagem facilmente com a celulose, dando estabilidade e flexibilidade ao agregado. Comparadas com a celulose apresentam maior susceptibilidade à hidrólise ácida, pois oferecem uma maior acessibilidade aos ácidos minerais comumente utilizados como catalisadores. Esta reatividade é usualmente atribuída ao caráter amorfo destes polissacarídeos (LU *et al.*, 2002).

A hemicelulose e a celulose apresentam-se como uma das principais frações estruturais do bagaço de cana, representando uma fonte potencial de xilose e glucose, respectivamente; porém, a obtenção desses açúcares requer a aplicação de técnicas que permitam a sua extração seletiva (BETANCUR & PEREIRA JR, 2010; FUJITA *et al.*, 2004).

Lignina é considerada, depois da celulose, a substância orgânica mais abundante nas plantas, e é responsável por conferir rigidez à parede da célula. Na madeira, tem a função de estabelecer a ligação entre as células, o que, muitas vezes, confere a planta uma propriedade de resistência ao impacto, compressão e a dobra. Segundo Marabezi (2009), a lignina está presente na parede celular de plantas em diferentes composições: madeiras duras de 25 a 35%, madeiras macias de 18 a 25% e gramíneas de 10 a 30% e, de maneira geral, apresenta uma estrutura bem mais complexa do que a da celulose e da hemicelulose.

Na composição química da lignina, está presente o ácido ferúlico, que é responsável pela interação entre a lignina e os outros componentes da parede. Além dessa função, ele atua

¹ Heteropolissacarídeos constituem uma variedade de materiais naturais e suas características estruturais, principalmente a sua composição em açúcares, sequência, tipo de ligação e ramificações, definem amplamente as suas propriedades (GONÇALVEZ, 2007).

como inibidor no processo de sacarificação da celulose e da hemicelulose e da fermentação de açúcares na produção de etanol (DAMASCENO *et al.*, 2010).

Segundo Ogata (2013), o processo de sacarificação pode ser afetado pela lignina de duas formas, o que invariavelmente acarretará na necessidade de maiores concentrações de enzimas: i) ocorrer sua adsorção irreversível às enzimas hidrolíticas, bloqueando sua ação na celulose; ii) como se trata de uma substância hidrofóbica, pode impedir que a fibra celulósica se entumeça (aumentar de volume através da umidade), reduzindo a superfície acessível às enzimas. Assim, a retirada da lignina é um fator preponderante para melhorar a digestibilidade enzimática das biomassas lignocelulósicas, em especial, das gramíneas, como é o caso do bagaço da cana-de-açúcar utilizado como matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração.

Nota-se que o bagaço da cana-de-açúcar apresenta-se fortemente recalcitrante (a função de resistir), em função da ligação existente entre a celulose, a hemicelulose e lignina. Assim, para utilizá-lo na produção de etanol de segunda geração, torna-se necessário submeter esse material a várias etapas de processamento: pré-tratamento; hidrólise; fermentação e destilação. O processo de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos pode ser químico, físico, biológico ou uma combinação de todos esses, o que dependerá do grau de separação requerido e do fim proposto.

1.4.2 Principais etapas para a produção de etanol de segunda geração

No Brasil, o setor sucroalcooleiro tem como principal desafio a implementação de processos que atualmente encontram-se em desenvolvimento tecnológico, que tem como objetivo principal o aproveitamento integral da cana-de-açúcar, principalmente, do bagaço e da palha. Nos dias de hoje, a primeira geração de produção de etanol utiliza com eficiência máxima, a cana-de-açúcar por meio de processos tecnologicamente conhecidos e difundidos. O processamento das biomassas lignocelulósicas, como é o caso do bagaço e da palha, em escala comercial para a produção de etanol de segunda geração é a grande fronteira tecnológica em questão.

No processo de obtenção de etanol celulósico (2G), o objetivo é “desmontar” a parede celular para utilizar os polissacarídeos como fonte de açúcares fermentáveis. Atualmente, esse processo bioquímico utiliza-se de duas etapas bem definidas: i) pré-tratamento; ii) e a hidrólise.

Especificamente, a segunda etapa pode ocorrer de duas maneiras distintas: i) hidrólise ácida; ii) e a hidrólise enzimática.

O processo básico de hidrólise ácida é uma das duas opções para a segunda etapa da produção de etanol de segunda geração, consiste em utilizar um ácido sulfúrico ou ácido clorídrico para atacar as ligações glicosídicas do material celulósico. A hidrólise ácida ocorre em altas temperaturas e em reatores pressurizados, e os ácidos mais comumente utilizados são: o sulfúrico e o clorídrico.

Segundo Rabelo *et al.* (2011), esse tipo de hidrólise ocorre em grandes reatores, sendo que as condições de reação (temperatura e concentração de ácido) são controladas. O objetivo é fazer com que ocorra a degradação total dos açúcares e da lignina, causando inibição ao metabolismo da fermentação posterior.

A hidrólise ácida apresenta-se em estágio técnico de desenvolvimento. Até o momento, os resultados obtidos em plantas produtivas de larga escala apontaram dificuldades técnicas e operacionais que resultam em um custo elevado do produto final. Além disso, a taxa de rendimento de açúcares obtidos é muito baixo, sendo necessária a utilização de reatores de alto custo, com temperaturas de trabalho acima de 120° C e resistentes à corrosão. Assim, para se obter níveis aceitáveis de comercialização, será necessária a redução dos custos associados, em especial, ao consumo e reutilização do ácido empregado no reator e ainda a melhora na produtividade e eficiência na conversão da biomassa (KAYLEN *et al.*, 2010; GOLDEMBERG, 2007).

Assim, a hidrólise ácida apresenta desvantagens em comparação a hidrólise enzimática, o que tem inviabilizado o seu emprego até o momento. Dentre esses problemas, destacam-se: condição de manuseio severas (pH e temperatura); o alto custo de manutenção devidos a problemas de corrosão; além de formar compostos inibidores para as etapas subsequentes da produção de etanol de cana-de-açúcar, principalmente para as fermentações.

1.4.2.1 Pré-tratamento

Na primeira etapa denominada de pré-tratamento, fazem parte um conjunto de procedimentos que tem a finalidade de expor a fibra de celulose do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, para que o processo de sacarificação ocorra de maneira mais eficiente. Segundo Rabelo *et al.* (2010), no processo de produção de etanol de segunda geração, o pré-tratamento

é realizado para reduzir o grau de cristalinidade da celulose, dissociar o complexo lignina-celulose e aumentar a área superficial da biomassa, de forma que a eficiência na etapa da hidrólise seja aumentada.

Segundo Silva Ortiz (2016), como a celulose é um composto resistente a ação enzimática, o pré-tratamento facilita a conversão das frações celulósicas e hemicelulósicas da biomassa em açúcares fermentáveis. Cada tipo de biomassa requer um pré-tratamento particular para minimizar a degradação do substrato, e maximizar o rendimento de açúcar fermentável. Atualmente, os principais pré-tratamentos são: físicos (mecânicos); químicos; físico-químicos e biológicos.

Os pré-tratamentos físicos ou mecânicos podem ser divididos em: mecânicos e não mecânicos. Dentre os mecânicos, destacam-se os processos de moagem e trituração, sendo que as forças de impacto diminuem o tamanho da partícula, a cristalinidade, ao mesmo tempo, aumenta a superfície específica e a densidade aparente. No caso dos não mecânicos, o material celulósico é colocado sob a ação de agentes externos que provocam modificações no material original. A desvantagem desse pré-tratamento é a incapacidade de aumentar a digestibilidade da biomassa e consumir quantidades significativas de energia durante o processo (FAN *et al.*, 1987; FUENTES, 2009).

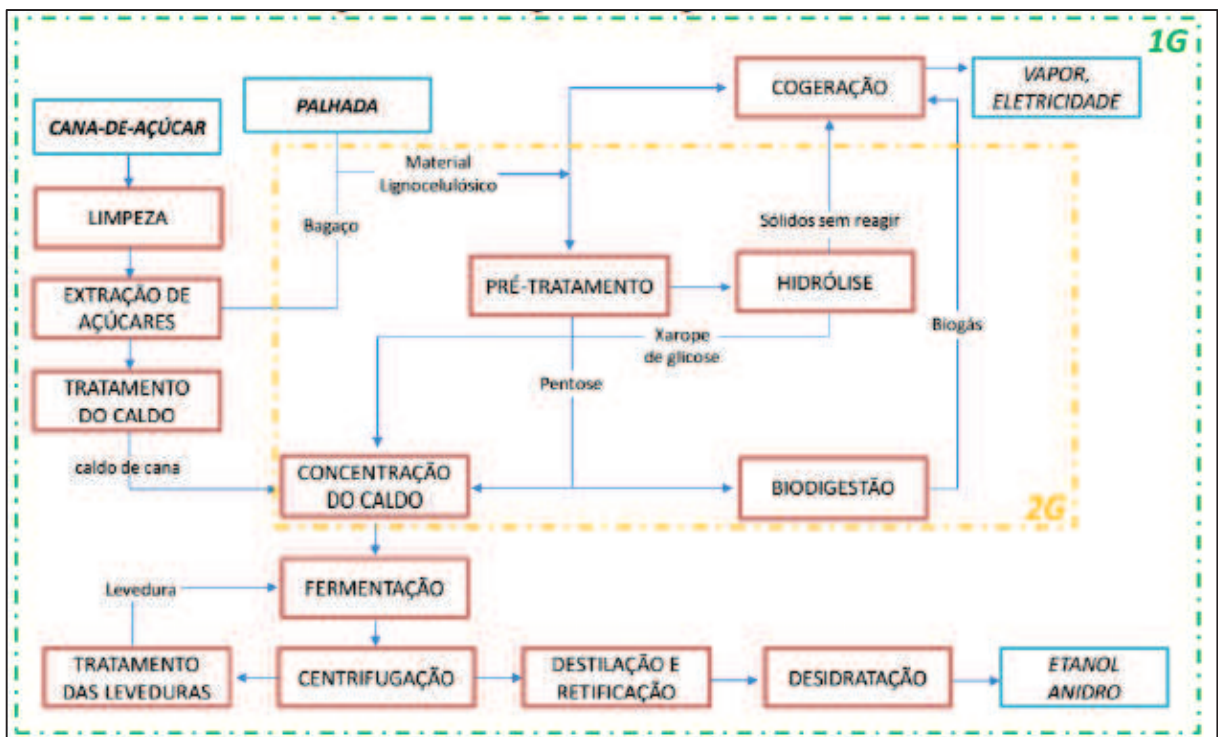
Com relação aos pré-tratamentos ácidos, são aqueles em que utilizam agentes químicos, como ácidos, bases e solventes orgânicos. O objetivo principal é provocar o inchamento das fibras para aumentar a superfície do substrato e facilitar o acesso das enzimas à celulose, através da alteração da hemicelulose e/ou lignina (SANTOS, 2013).

Também existem pré-tratamentos combinados, tais como: os pré-tratamentos físico-químicos que utilizam um pré-tratamento físico e outro químico. Um exemplo desse caso é o pré-tratamento a vapor com adição do catalisador (ácido ou alcalino). A combinação entre os pré-tratamentos, assim como a estrutura e composição da biomassa lignocelulósica, são fatores que demonstram-se o pré-tratamento escolhido foi adequado e, realmente, tornou-se um facilitador para a etapa subsequente, a hidrólise (SANTOS, 2013).

Os pré-tratamentos biológicos são caracterizados pela utilização de microrganismos (geralmente fungos) que ajudam a solubilizar a lignina da celulose. Esse procedimento apresenta baixo rendimento de produção e longos tempos de reação, devido à intoxicação dos microrganismos pelos derivados da lignina, ou seja, trata-se de uma fronteira tecnológica ainda em desenvolvimento (HAMELINCK *et al.*, 2005).

O QUADRO 1.2 apresenta de maneira esquemática e resumida as diferentes etapas de produção de etanol de cana-de-açúcar pelas duas diferentes rotas: primeira (1G) e segunda (2G) geração. Nota-se que existem etapas comuns entre as duas rotas tecnológicas, em destaque, as diferentes formas de pré-tratamento e as etapas de fermentação e destilação, conforme descrito anteriormente.

QUADRO 1.2: Fluxograma integrado da produção de etanol de primeira (1G) e segunda (2G) geração



Fonte: Adaptado de SILVA ORTIZ (2016).

1.4.2.2 Hidrólise

As diferentes tecnologias atualmente estudadas para o processamento de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração (2G) utilizam a rota hidrolítica como etapa seguinte ao pré-tratamento. A etapa de hidrólise da cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração (2G) pode ser realizada através de quatro tecnologias conhecidas: i) SHF – *Separate Hydrolysis and Fermentation* (Hidrólise e Fermentação em Separado); ii) SSF – *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (Sacarificação e Fermentação Simultâneas);

iii) DMC – *Direct Microbial Conversion* (Conversão Microbiana Direta); iv) CBP – *Consolidated Bioprocess* (Bioprocessos Consolidados).

O foco central desse trabalho de dissertação é estudar especificamente a tecnologia SHF aplicada a produção de etanol hidrolítico de segunda geração (2G), através da cana-de-açúcar, pois trata-se da tecnologia atualmente mais desenvolvida e empregada (mais antiga, de forma tecnológica) e a mais estudada (maior número relativo de documentos de patentes depositadas).

Segundo Dal Poz & Silveira (2015), no CBP, o bioetanol é produzido em uma única etapa: produção de enzimas, hidrólise de celulose e hemicelulose, obtenção de sacarídeos e fermentação. Pode ser considerado um dos mais eficientes, porém é o que mais demora e o fato de ser baseado em fermentação enzimática por organismos que normalmente não são adaptados aos processos industriais, muitas vezes, gera um número excessivo de barreiras bioquímicas de inibição do processo.

Esse diferencial de produção, em uma única etapa, de acordo com Lynd (1996), tem importantes consequências pelo fato de que não é requerido capital ou operações de custo para produção de enzimas do processo. Além disso, o sistema enzimático e fermentativo são compatíveis. As melhorias nessa tecnologia são as que mais contribuem na redução de custo para a produção de etanol.

O CBP apresenta uma alternativa interessante com relação ao custo e desenvolvimento tecnológico. Essa rota tecnológica ainda não se tornou viável a nível industrial devido aos atuais microrganismos disponíveis, como *Clostridium thermocellum* e *Clostridium cellulolyticum*. Por isso, há necessidade de investimento na área de engenharia genética para o contínuo desenvolvimento de técnicas que contenham linhagens que apresentem níveis satisfatórios de atividade enzimática e fermentação (OLSON *et al.*, 2012).

A DMC é um processo em que a produção de enzimas, a hidrólise do substrato e a fermentação do etanol acontecem em uma única etapa. Tópicos relevantes do DMC têm sido estudados por diversos laboratórios, nas últimas décadas. A vantagem potencial da DMC é a redução de custos na conversão de biocombustíveis e na possibilidade de aumentar a produtividade. DMC é também compatível com a produção de *commodity* de baixo-valor, como etanol (HOGSETT *et al.*, 1992).

O perfil tecnológico do DMC é semelhante ao CBP, em relação a pesquisa e desenvolvimento, o DMC utiliza processos com base em organismos fermentadores de alta especificidade e que nunca foram utilizados em escala industrial, são eles: *Clostridium*

thermocellum, *Clostridium thermosaccharolyticum*, *Fusarium oxysporum* e *Zymomonas mobilis*. Esses organismos produzem enzimas adaptadas à hidrólise de cadeias longas, como: a celulose e hemicelulose. O DMC apresenta o menor número de patentes nas bases de dados, dentre os quatro conjuntos tecnológicos estudados, porém é o que apresenta conteúdo mais intensivo em ciência (DAL POZ & SILVEIRA, 2015).

Segundo Ogeda & Petri (2010), quando a hidrólise ocorre sequencialmente à fermentação, a operação é designada de SHF. O problema nesta operação está relacionado ao fato de que a glicose e celobiose² permanecem no mesmo meio que a celulose, inibindo a ação da celulase, reduzindo o rendimento da operação e elevando o custo do processo. Como alternativa, adiciona-se microrganismo fermentativo ao mesmo vasilhame em que estão sendo produzidos os açúcares, acelerando assim, a transformação da glicose e da celobiose em etanol. Porém, isso gera resíduos e eleva significativamente o custo do equipamento e da operação.

A tecnologia de sacarificação simultânea e fermentação (SSF) apresentam-se como uma alternativa a SHF, pois é mais aplicada a hidrólise de celulose. Nesse processo, a glicose é produzida pela atividade das celulasas e consumida instantaneamente pelos microrganismos fermentadores, o que minimiza os efeitos de inibição originados pela glicose. Outra vantagem é o aumento da produção de etanol, pelo fato de utilizar baixa quantidade de enzimas e também reduz o risco de contaminação (McMILLAN *et al.*, 1999).

No SSF, a produtividade do etanol é maior se comparado ao SHF, segundo estudos que consideraram ambos para madeira de fibras longas e resíduos agrícolas, como no caso do bagaço e da palha de cana-de-açúcar (OHGREN *et al.*, 2007). Além dessa, o SSF apresenta outras vantagens quando comparado ao SHF: taxa de hidrólise melhor devido a conversão simultânea dos açúcares que podem inibir as celulasas; necessidade de quantidades menores de enzimas; melhor produtividade e tempo total do processo reduzido. A desvantagem está no fato de que os processos de hidrólise e fermentação trabalham em temperaturas diferentes, no caso do SSF, em que elas vão acontecer no mesmo reator, é necessário utilizar cepas de microrganismos termotolerantes (SUN e CHENG, 2002; OLOFSSON *et al.*, 2008; SAHA *et al.*, 2011).

Independentemente das desvantagens, o SSF, na maioria das vezes, é o método escolhido para estudo, tanto em laboratório quanto em projetos pilotos. Os açúcares resultantes

² O resultado da ação das enzimas na celulose, obtém como resultado glicose e celobiose, que podem inibir as atividades da células, principalmente a celobiose que é um forte inibidor (SUN & CHENG, 2002).

do pré-tratamento da hemicelulose podem ser transformados em etanol no fermentador separado (TAHERZADEH & KARIMI, 2007).

Atualmente, o problema tecnológico a ser resolvido na hidrólise enzimática é tornar o processo enzimático, de forma econômica, viável, ou seja, imobilizar enzimas sobre substratos sólidos de tal forma que as propriedades catalíticas sejam mantidas, além de possibilitar a sua reutilização várias vezes. O desafio é determinar a enzima correta para cada mosto celulósico a ser tratado, em seguida, imobilizar essa enzima no reator de maneira que ela mantenha sua estrutura nativa, uma vez que a enzima apresenta um elevado custo de aquisição (ORTIZ, 2016).

1.4.2.3 Fermentação e Destilação

As etapas de fermentação e destilação para a produção de etanol de primeira (1G) e de segunda geração (2G) são iguais, ou seja, não apresentam especificações técnicas quanto ao emprego das duas diferentes rotas destacadas nesse trabalho.

O processo de fermentação alcoólica pode ser dividido em três etapas: pré-fermentação, fermentação e pós-fermentação. A pré-fermentação inicia com a adição do fermento (leveduras) ao mosto preparado. A fermentação principal se inicia em cinco a seis horas, após a adição do fermento, e apresenta pouca espuma, ocorre a elevação rápida da temperatura, queda da densidade do mosto por causa da transformação dos açúcares em etanol. Essa etapa dura entre nove a dez horas, e é finalizada com o desaparecimento das espumas (ANTONINI, 2004). A etapa final, denominada pós-fermentação, dura entre seis e oito horas e é caracterizada pela queda lenta e gradual da temperatura do mosto, redução do desprendimento do gás carbônico e não formação de espumas (ANTONINI, 2004).

Um fator importante na utilização industrial da lignocelulose para produção de bioetanol é a falta de microrganismos disponíveis para eficiente fermentação de todos os açúcares (pentoses e hexoses) liberados durante o pré-tratamento e a hidrólise. Para produção comercial de etanol, o microrganismo ideal deve conter amplo substrato para utilização, alta produção e produtividade de etanol, tolerância a inibidores, atividade celulósica e habilidade para fermentação de açúcar em altas temperaturas (HAHN-HAGERDAL *et al.*, 2007).

O etanol produzido no processo de fermentação é recuperado por destilação. Antes de entrar na primeira coluna de destilação, o material fermentado é aquecido para atingir a temperatura adequada para o processo de destilação. O etanol hidratado é obtido por etapas de remoção e retificação. Para remover a água restante e obter o etanol anidro, é necessário um processo de desidratação (ENSINAS *et al.*, 2007).

Pelo fato de poder integrar a destilação com outros processos e poder produzir em altas quantidades de maneira contínua, torna esse processo um dos mais escolhidos na indústria. A destilação possibilita agregar valor ao produto e atender as exigências e restrições do mercado (NORILER, 2003). Mesmo com o desenvolvimento de alternativas, a destilação permanece como o processo preferido, pela sua flexibilidade e disponibilidade em trabalhar com altas vazões sem gerar problemas adicionais ao sistema (JUNQUEIRA, 2010).

A destilação se tornou o processo escolhido para realizar estudos com o intuito de aumentar a sua eficiência, devido aos novos anseios mundiais em desenvolver processos industriais sustentáveis. A ideia é realizar melhoria nos equipamentos, combinação com reações e processos de maneira que torne o processo mais eficaz (OLUJIC *et al.*, 2009)

1.4.3 Hidrólise e Fermentação em Separado (Separated Hydrolysis and Fermentation – SHF)

Conforme descrito anteriormente, SHF é uma das dimensões tecnológicas utilizadas atualmente para produção de bioetanol de segunda geração, e que será o foco nesse trabalho de dissertação. Existem outras dimensões tecnológicos disponíveis para o mesmo fim, porém as mais utilizadas são: o SHF e o SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*).

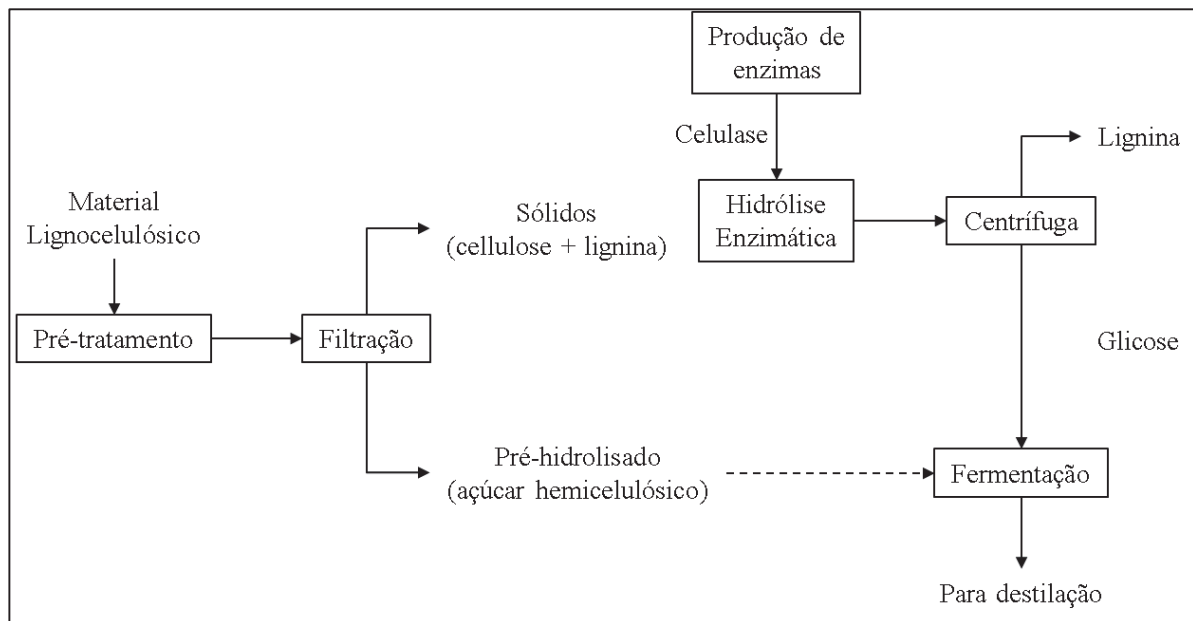
O processo SHF é o mais antigo e tecnologicamente consolidado, nele, as etapas de hidrólise e fermentação ocorrem em reatores separados. A biomassa lignocelulósica, depois de pré-tratada, e, em um primeiro momento, degradada em açúcares monoméricos por celulasas é, em seguida, fermentada em etanol, em uma segunda estação. A principal vantagem deste método é que os processos de hidrólise e fermentação podem ser realizados em condições individuais. As celulasas apresentam maior eficiência, quando estão sob uma temperatura entre 45 e 50 °C, enquanto que, no processo de fermentação, a temperatura ideal utilizada fica entre 30 e 37 °C (Tahezadeh e Karimi, 2007). Outra vantagem do SHF é a possibilidade de executar

a fermentação de maneira contínua com reciclagem celular, isto só é possível, porque a remoção de resíduos da lignina pode ocorrer antes da fermentação (GALBE & ZACCHI, 2002).

Uma das desvantagens do SHF é que os produtos finais, glicose e celobiose, liberados em hidrólise de celulose, inibem fortemente a eficiência da celulase (ALFANI *et al.*, 2000). Para conseguir um rendimento razoável na produção de etanol, podem ser necessárias uma quantidade mais baixa de sólidos e maiores quantidades de enzimas (BALAT, 2011). Outra desvantagem da tecnologia SHF é o risco de contaminação microbiana, devido ao longo tempo necessário no processo de hidrólise (TAHERZADEH & KARIMI, 2007).

Segundo Tengborg (2000), o processo de SHF em larga escala de produção industrial pode ser desenhado de diversas maneiras. O QUADRO 1.3 ilustra o processo SHF.

QUADRO 1.3: Fluxograma do processo de produção de bioetanol a partir da tecnologia SHF



Fonte: Adaptado de Axelsson (2011).

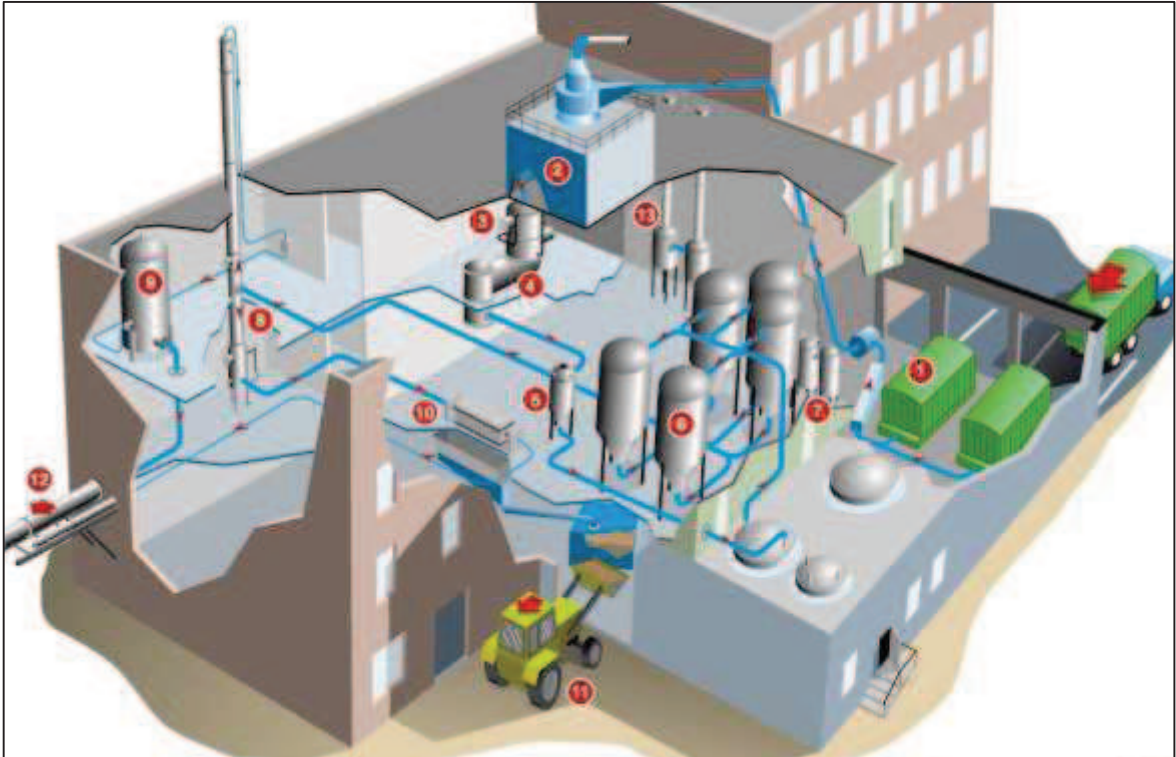
No SHF, após o pré-tratamento da cana-de-açúcar, o produto processado é filtrado para que se obtenha a separação da hemicelulose e dos sólidos (celulose e lignina). Para a etapa da hidrólise enzimática, são enviadas a celulose e a lignina, eliminando pela filtração os produtos de degradação tóxica derivados do processo de pré-tratamento (LU *et al.*, 2010). A hidrólise enzimática necessita da disponibilização em larga escala de enzimas específicas para o seu funcionamento regular. Para tanto, essas enzimas podem ser disponibilizadas através de aquisição no mercado (compra) ou a partir da construção em larga escala industrial de uma

planta laboratorial capaz de suprir a demanda dessas enzimas, conforme o funcionamento da biodestilaria. Nesse caso, parte da glicose pode ser utilizada para produzir enzimas em um reator separado. Trata-se de uma opção do empreendedor que necessariamente leva em consideração a capacidade técnico-científica de desenvolver tais enzimas

Após a hidrólise enzimática, a lignina é removida antes da fermentação do hidrolisado. Os açúcares hemicelulósicos libertados no pré-tratamento e a glicose liberados na hidrólise enzimática podem ser fermentados em conjunto ou separadamente. O caldo de etanol é, então, transportado para destilação e purificação (TENGBORG, 2000).

Axelsson (2011) estudou em seu trabalho uma fábrica laboratorial de demonstração em Örnköldsvik, na Suécia, que está em uso desde 2004 e tem uma capacidade de 300-400 litros de etanol / dia. O QUADRO 1.4 mostra o processo de produção de bioetanol na planta. Esta é muito flexível e, portanto, podem ser aplicadas configurações de processos diferentes.

QUADRO 1.4: Exemplo de planta de demonstração do processo de produção do bioetanol utilizando a tecnologia SHF.



Fonte: Axelsson (2011).

Pode-se descrever cada uma das etapas apresentadas no QUADRO 1.4 da seguinte maneira. 1) Ingestão - O material lignocelulósico é entregue à planta e é movido para a estação (2) no telhado. 3) Cozedura e impregnação - O vapor é usado para pré-aquecer o material e o ácido diluído é adicionado. 4) Pré-tratamento - A hemicelulose é liberada a pH baixo e alta temperatura. A hidrólise ácida diluída em dois estágios também é possível. 5) Neutralização e controle de inibidores - A suspensão é neutralizada e eventualmente tratada para inibidores de controle. 6) Hidrólise e fermentação - A celulose é liberada com hidrólise enzimática e é adicionada levedura para fermentação. Ambos os processos SSF e SHF são possíveis. 7) Propagação de leveduras - Se não for utilizada levedura comercial, é realizada a propagação do fermento. 8) Destilação - O caldo de fermentação é aquecido e o vapor aumenta na coluna de destilação. A água se condensa e flui para trás pela coluna, resultando em um vapor rico em etanol. O vapor é arrefecido e condensado e o restante caldo, emanação, é enviado para a separação líquido / sólido. 9) Tanque de produto - O produto de etanol é armazenado em um tanque antes enviado pelo tubo (12) para caldeiras para recuperação de energia. O produto final contém cerca de 90% de etanol. 10) Filtro de membrana pressiona - O tabuleiro é filtrado. O resíduo sólido de partículas finas é usado como combustível para a produção de energia,

enquanto a água do processo é enviada para uma planta de biogás (12). 11) Material sólido - A parte sólida restante é removida para caldeiras. 13) Equipamento de evaporação - Equipamento que pode ser usado para concentrar diferentes fluxos de processo.

1.5 Introdução a Inovação e Prospecção Tecnológica

O tema da inovação e das trajetórias tecnológicas têm sido objeto de reflexão para constituição da teoria microeconômica não ortodoxa por parte, principalmente, de autores conhecidos na literatura econômica como neo-schumpeterianos.

A fim de compreender melhor esse processo de geração, apropriação e difusão de tecnologias industriais para processamento de cana-de-açúcar na fabricação de etanol de segunda geração, verifica-se a necessidade de articular os conceitos neo-schumpeterianos de competitividade e inovação tecnológica com a dimensão político-institucional da relação Estado-agentes econômicos. Neste contexto, as abordagens de Labini (1980), Schumpeter (1961 e 1982) e dos neo-schumpeterianos – dentre eles Dosi (1988 e 2006), Nelson & Winter (1977 e 2005) e Rosemberg (1969) configuram-se como ótimos contrapontos ao debate da adoção e da mudança tecnológica.

A apreciação teórica a respeito dos mecanismos de apropriação de novas tecnologias foi criada por Scherer (1970) que destacou o impacto das patentes sobre a estrutura industrial; por Bain (1956) que constatou que o sistema de patentes cria uma vantagem absoluta de custo e uma barreira à entrada de inovações; e pela OCDE (1989) que abordou a questão dos acordos de licenciamento de patentes e seus riscos ao livre comércio.

Nos modelos recentes, o processo de difusão de novas tecnologias é caracterizado não só pelo crescimento gradual de adoção destas pela população, mas também por seu caráter cumulativo. A difusão é considerada interligada à inovação, tais modelos se baseiam fundamentalmente na premissa de que uma inovação, depois de ser gerada, conhece, na fase de sua difusão, melhorias que facilitam sua adoção e seu uso em campos já existentes, assim como sua extensão a novas aplicações (ROGERS, 1983; THIRTLE & RUTTAN, 1987; BELL & PAVITT, 1992).

De maneira geral, o argumento adotado pelos schumpeterianos é de que o desenvolvimento econômico é conduzido pela inovação por meio de um processo dinâmico em

que as novas tecnologias substituem as antigas, um processo por ele denominado "destruição criadora". Segundo Schumpeter (1961 e 1982), inovações "radicais" geram rupturas mais intensas, enquanto inovações "incrementais" dão continuidade ao processo de mudança.

Dentre os neo-schumpeterianos, Dosi (1988 e 2006) introduziu o conceito de “paradigma tecnológico” como um pacote de procedimentos que orienta a investigação sobre um determinado problema técnico que poderá determinar uma nova “trajetória tecnológica”. Rosenberg (1969) ressaltou a questão dos “gargalos” tecnológicos e as novas soluções técnicas que os mesmos proporcionam. Nelson & Winter (1977 e 2005) explicam o processo de busca e seleção, no qual as firmas descobrem, julgam e avaliam mudanças tecnológicas possíveis e definem suas rotinas, além de destacar os processos de aprendizado tecnológico.

As condições de apropriabilidade de uma inovação, ou seja, da possibilidade de se manter o controle monopolista sobre essa tecnologia por um determinado período de tempo é geralmente exercido pelo inovador por meio da propriedade intelectual sobre bens imateriais, principalmente, por meio de patentes ou direitos autorais. Segundo Dosi *et al.* (1988), uma tecnologia não protegida e facilmente imitável leva os rendimentos monopolistas de uma inovação a quase zero. Por outro lado, uma apropriação exclusiva e prolongada de direitos sobre inovações pode restringir a difusão do conhecimento. Isso ocorre não apenas porque o monopólio resulta em maiores custos para os usuários; e sim, pela pouca transparência técnica oferecida, o que inibe o processo de aprendizado interativo.

Para Bell & Pavitt (1992), o processo de difusão de uma nova tecnologia não deve ser reduzida apenas a "aquisição de máquinas ou projetos" ou a "assimilação de informação". Para esses autores, difusão envolve melhorias significativas que modelam as inovações iniciais não só para adaptá-las a condições particulares de uso, mas também para lhes atribuir níveis mais altos de desempenho. Nessa abordagem, os inovadores são reconhecidamente as primeiras pessoas ou unidades produtivas que adotam uma nova técnica; e, a difusão, subsequente à fase de adoção ou inovação desta técnica, é entendida como a divulgação desta pelo resto da população (THIRTLE & RUTTAN, 1987). Isso quer dizer que a mudança tecnológica é entendida por estes modelos como um processo envolvendo primeiro a geração e a comercialização de grandes inovações, e segundo a aplicação mais ampla destas inovações num processo gradual definido como difusão.

1.5.1 Prospecção Tecnológica: principais conceitos e características

Os métodos de Prospecção Tecnológica são usados, há várias décadas, em diversos países, como uma ferramenta para orientar os esforços empreendidos para a pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Os primeiros registros de utilização sistematizada das informações como ferramenta estratégica são datados da década de 50, cujo objetivo principal foi a redução do tempo entre a invenção e a disposição dos produtos novos no mercado, e a essa atividade, deu-se o nome de Prospecção Tecnológica.

Para Coelho (2003), o termo Prospecção Tecnológica se refere a atividades de prospecção focada nas mudanças tecnológicas, em mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação. Tem como objetivo incorporar informação ao processo de gestão tecnológica e busca prever possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas.

Ele ainda afirma que a prospecção tecnológica é um processo focado em criar e melhorar o entendimento dos possíveis desenvolvimentos futuros e das forças que parecem moldá-los, não assume que o futuro pode ser cientificamente demonstrado a partir de certas premissas. O principal objetivo é mostrar as chances de desenvolvimento e quais as opções para a ação no presente, ou seja, posicionar os ativos de maneira que as escolhas que forem feitas hoje moldem o futuro (COELHO, 2003).

Sendo assim, conforme Kupfer & Tigre (2004), os exercícios de prospecção têm como objetivo preparar a indústria com relação às oportunidades ou ameaças do futuro e iniciar o processo de construção do futuro almejado. Portanto, os estudos prospectivos são essenciais na gestão da competitividade dos negócios e são utilizados como ferramenta para montar a estratégia de competitividade e o enfoque sistêmico. Juntamente com a prospecção, são a base de informação para a criação da inteligência de negócios e competitividade, com aplicações na iniciativa privada e no ambiente governamental.

A Prospecção Tecnológica é extremamente necessária e deve ser retratada como rotina nas empresas, especialmente, nos processos de tomada de decisão. Além disso, pode auxiliar com ênfase na gestão da inovação, pois pode possibilitar uma visão ampla da tecnologia estudada e seus gargalos, delineando possíveis caminhos para o futuro.

Para Amparo (2012), o objetivo da prospecção é delinear e testar possíveis e desejadas visões; e não desvendar o futuro. Essas visões ajudam nas escolhas que contribuirão na

construção do futuro. As metodologias de prospecção procuram interpretar as forças que orientam o futuro, e visam a construção do conhecimento.

Os métodos de prospecção estão sendo utilizados por diversas empresas no mundo como uma ferramenta para analisar a velocidade no desenvolvimento dos projetos, principalmente, aos relacionados à tecnologia e na sua aceitação por parte do mercado.

Diante das mudanças tecnológicas, Godet (1997 *apud* Mayerhoff 2009) elenca quatro possíveis atitudes por parte dos agentes envolvidos. A primeira é a passiva, sendo que a organização apenas acompanha e recebe as consequências das mudanças; a segunda é a atitude reativa, a organização age somente após ocorrer algo; a terceira atitude é a pré-ativa, aquelas organizações que estão preparadas para a mudança e, por último, a atitude pró-ativa, que são as organizações que realmente promovem as mudanças.

Nota-se que o diferencial de valor que as organizações tanto buscam pode ser alcançado com a ajuda da prospecção em antecipar inovações de ruptura e oportunidades, além do conhecimento que pode ser adquirido por seus colaboradores. Coelho (2003) explica o que deve ser realizado para identificar as necessidades de informação da empresa: sistematicamente, coletar a informação relevante, processá-la de maneira analítica e transformar em um elemento para a tomada de decisão. A prospecção vai indicar as áreas que a organização deve priorizar para obter vantagem em relação as demais, antecipar e monitorar a tecnologia de interesse.

Assim, a Prospecção Tecnológica é apresentada como ferramenta fundamental para realizar a aproximação entre a ciência e a educação, tendo como fato a necessidade crescente de capacitar o educando para as necessidades do mercado (QUINTELLA *et al.*, 2011).

Bahruth (2004) apresenta o processo de prospecção tecnológica em quatro fases ; i) a primeira é a preparatória, nessa fase são definidos os objetivos, escopo, abordagem e metodologia que será utilizada para o exercício da prospecção; ii) na segunda fase, denominada pré-prospectiva, é focado o detalhamento da metodologia; iii) a terceira é a prospectiva, dedica-se na coleta, tratamento e análise de dados; iv) a última, denominada pós-prospectiva, realiza-se a comunicação dos resultados, a implementação das ações e o seu monitoramento.

Dentre as diversas estratégias para realizar a prospecção tecnológica, Canongia (2004) destaca uma que concilia técnicas de Inteligência Competitiva (IC), Gestão do Conhecimento (GC) e Foresight (F) na estratégia de prospecção aplicada no setor de P&D. Os conhecimentos adquiridos como resultado desse processo devem ser compartilhados, analisados e utilizados,

juntamente com os *stakeholders*³, a fim de direcionar produtos e parcerias que possam contribuir na competitividade e inovação.

Neste contexto, para Kupfer & Tigre (2004), os métodos de prospecção tecnológica podem ser classificados em três grupos: i) monitoramento (*assessment*), que consiste no acompanhamento sistemático e contínuo da evolução dos fatos e na identificação de fatores portadores de mudança; ii) previsão (*forecasting*), que consiste na realização de projeções baseadas em informações históricas e modelagem de tendências; e iii) visão (*foresight*), que consiste na antecipação de possibilidades futuras, com base em interação não estruturada entre especialistas.

Para Johnston (2000), o termo “*foresight*” é utilizado quando o objetivo do projeto está relacionado com antecipação de eventos, possibilidades de futuro e não estão necessariamente correlacionadas com o presente. Para identificação de futuros esperados ou prováveis, é utilizado o termo “*forecasting*”, que possui um alcance de tempo menor quando comparado ao “*foresight*”. Ambos trabalham com informações do presente para identificar as possibilidades de futuro, porém o *forecasting* também faz uso de dados do passado, realizando o que poderíamos chamar de previsão.

A maioria dos estudos de prospecção tecnológica realizados utilizam a visão do “*foresight*”, que trabalha com abordagens de longo alcance, entre 20 e 30 anos. Porém, os estudos prospectivos solicitados pelas empresas industriais utilizam a abordagem “*forecasting*”, em que é avaliado as tendências tecnológicas dos próximos 5 a 10 anos (BAHRUTH, 2004).

Destacam-se ainda outros termos utilizados por diversos autores para tipificar os estudos de prospecção tecnológica, entre eles, Godet (2000), que realiza atividades de planejamento prospectivo e utiliza o termo “*strategic prospective*”; e Coates (1998), que referencia o termo “*technology assessment*” ou “avaliação tecnológica”, quando uma determinada tecnologia é introduzida ou modificada.

³ Hoff (2008) destaca que os *stakeholders* não são somente atores ou agentes do sistema que se relacionam com as organizações, eles também podem gerar contribuições significativas para ajudar a entender a relação destes com a organização.

1.5.2 Técnicas e métodos de prospecção tecnológica usando forecast

Segundo Alencar (2008), interpretações baseadas em subjetividade ou criatividade são normalmente difíceis de serem comprovadas, são características dos métodos qualitativos, como exemplo, destacam-se as entrevistas e *brainstorming*. Por outro lado, as análises estatísticas baseadas em dados confiáveis e validados são utilizadas nos métodos quantitativos, tais como: análise de patentes; bibliometria; e indicadores econômicos. Finalmente, os métodos semi-quantitativos se dedicam a utilizar conceitos matemáticos para quantificar subjetividade, como opiniões de especialistas, os exemplos são painéis Delphi e a matriz de impactos cruzados.

Em geral, os estudos prospectivos utilizam mais de uma técnica, de maneira a fazer uso das vantagens proporcionadas por cada tipo de metodologia. Popper (2008-a) apresenta 33 métodos classificados nesses três grupos da abordagem por tipo de técnica, conforme TABELA 1.1.

TABELA 1.1: Métodos de prospecção tecnológica por tipo de técnica

Qualitativos	Quantitativos	Semi quantitativos
Backcasting	Benchmarking	Cross-impact / structural
Brainstorming	Bibliometrics	Analysis
Citizens panels	Indicators / time series analysis	Delphi
Conferences / workshops	Modeling	Key / Critical technologies
Essays / scenario writing	Patent analysis	Multi-criteria analysis
Expert panels	Trend extrapolation / impact analysis	Polling / Voting
Genius forecasting		Quantitative scenarios
Interviews		Roadmapping
Literature review		Stakeholder analysis
Morphological analysis		
Relevance trees / logic charts		
Role play / Acting		
Scanning		
Scenario / Scenario workshops		
Science fictioning (SF)		
Simulation gaming		
Surveys		
SWOT analysis		
Weak signals / Wildcards		

Fonte: Adaptado de Popper (2008-a).

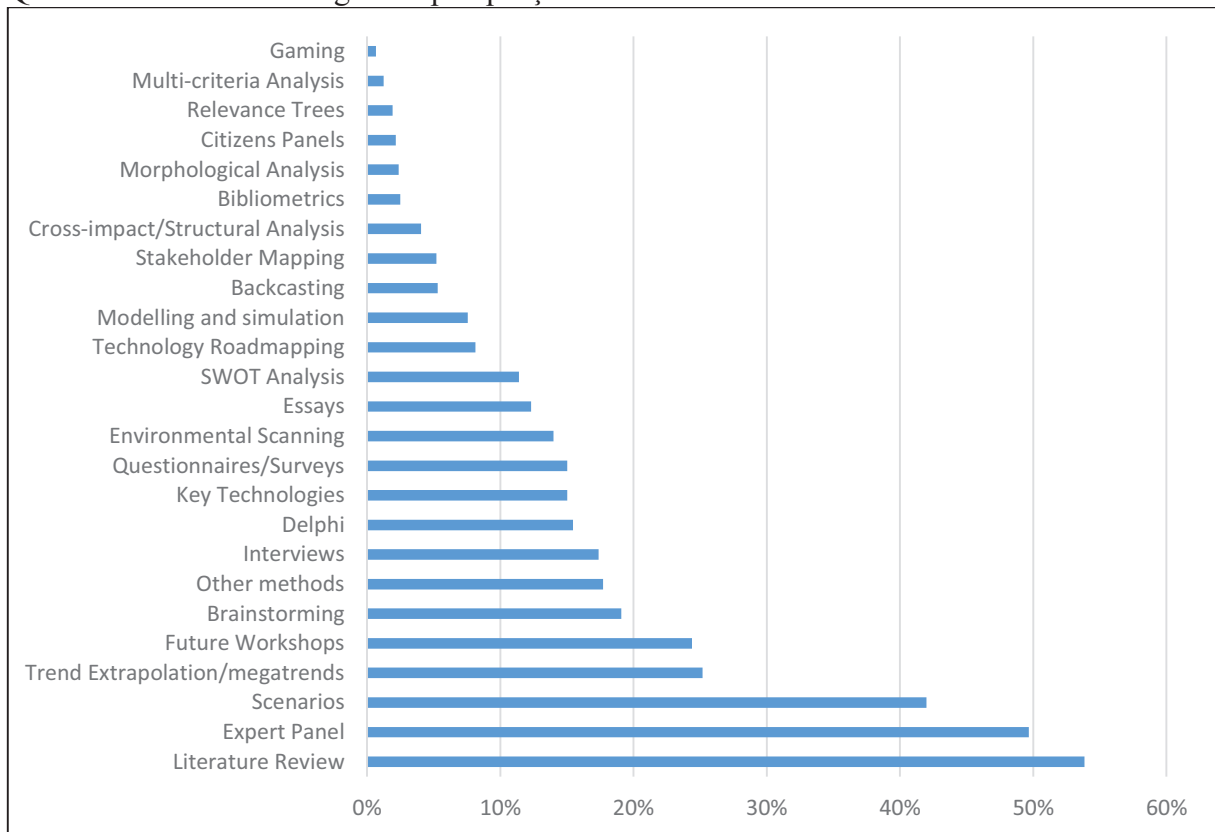
Os métodos exploratórios utilizam o conhecimento do presente para indicar tendências no futuro, são exemplos dessa técnica os métodos Delphi⁴, análise de impacto cruzado e extrapolação de tendências. Diferente dos exploratórios, os métodos normativos utilizam como base os nossos anseios para o futuro e planejam como fazer isso (ALENCAR, 2008).

Outra classificação possível dos métodos é por tipo de fonte de conhecimento: i) evidência: se baseiam em informações públicas para definir prioridades e elaborar visões; ii) criatividade: como a ficção científica e jogos de simulação são métodos influenciados pela imaginação; iii) especialista: são métodos que articulam as opiniões sobre o futuro, as tendências, os objetivos prioritários e as estratégias em questão; iv) e interação: troca de conhecimentos e discussões.

A combinação dos diferentes tipos de métodos deve ser utilizada para a formação de uma metodologia confiável no desenvolvimento de atividades de prospecção tecnológica. Baseado no relatório elaborado pela *European Foresight Monitoring Network* (EFMN), Popper (2008-b) apresenta diversos resultados da análise de mais de 800 estudos prospectivos em todo o mundo. O QUADRO 1.5 apresenta, de maneira esquematizada, as metodologias que foram utilizadas com mais frequência, segundo estudo em destaque.

⁴ Definido por Linstone e Turoff (2002) o método Delphi pode ser caracterizado como um método para a estruturação de um processo de comunicação de um grupo, de modo que o processo seja eficaz para que todo o grupo de indivíduos possa lidar com problemas complexos.

QUADRO 1.5: Metodologias de prospecção mais utilizadas



Fonte: Adaptado de Popper (2008-b).

1.5.3 Patentes e bases de patentes

Conforme definição da Organização Mundial de Proteção Intelectual (OMPI), uma patente protege uma invenção e garante ao titular os direitos exclusivos para usar sua invenção por um período limitado de tempo, em um determinado país. Pode ser concedida por meio de solicitação de uma repartição governamental a qualquer pessoa física ou jurídica, sendo denominado depositante ou requerente.

Na atual legislação brasileira, a Lei da Propriedade Industrial nº 9.279/96, em vigor desde 14 de maio de 1996, possibilita a proteção de duas maneiras: i) patente de invenção (PI); ii) ou modelo de utilidade (UM). A patente de invenção é concedida quando a invenção atende aos requisitos de novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. O modelo de utilidade é concedido a patentes que visem melhorar o uso ou utilidade dos produtos, proporcionando maior eficiência ou facilidade na utilização, através somente de uma nova configuração, não sendo necessária a obtenção de um novo conceito (SILVEIRA, 1998).

No Brasil, o titular da patente de invenção obterá a exclusividade de uso, de licenciamento e de transferência pelo período de 20 (vinte) anos. Esse prazo pode ser diferente em outros países. Para essa concessão de patente de invenção, é necessário atender a três requisitos.

O primeiro requisito é o da novidade, a invenção não foi colocada à disposição do público, não pode ter sido divulgada antes do pedido, por nenhum meio. A novidade será considerada no pedido de patente, quando não estiver disponível no chamado estado da técnica. Conforme parágrafo 1º, do artigo 11, da Lei nº 9.279/96, estado da técnica é tudo aquilo tornado acessível ao público, antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso do invento ou qualquer outro meio, no Brasil, ou no exterior (INPI,2009).

O segundo requisito, quando se trata de uma atividade inventiva, quando apresenta a necessidade de a mesma ser também dotada de criatividade suficiente para que não decorra, para um técnico no assunto, de maneira evidente ou óbvia, a partir do estado da técnica.

E o terceiro e último requisitos devem apresentar aplicação industrial, assim, a invenção pode ser reproduzida em qualquer ramo de atividade produtiva, sendo um produto ou processo.

No caso da patente de modelo de utilidade, o período de exclusividade de uso, licenciamento ou transferência, segundo a legislação vigente, é de quinze anos. O modelo de utilidade considera alguma melhoria técnica e funcional significativa em algo que já foi inventado. Os requisitos são praticamente os mesmos da patente de invenção: novidade na melhoria funcional, atividade inventiva e aplicação industrial, porém não se considera melhoria funcional em processo, mas sim adoção de novos processos.

A busca de patentes tem-se mostrado uma potente ferramenta e um instrumento eficaz no apoio à tomada de decisões, tendo em vista o estado da arte disponível no seu conteúdo. Permite identificar tecnologias relevantes, parceiros, concorrentes no mercado, rotas tecnológicas, inovações, investimentos, processos, produtos, PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação), fusões e aquisições, dentre outras.

Um fator importante e que mostra a relevância no estudo das patentes é a sua utilização como fonte de informação tecnológica para a geração de mapas de conhecimento. As bases de dados de patentes são padronizadas internacionalmente e com a qualidade da informação contida nesses documentos, permite-se obter estatisticamente dados com baixo risco de erros, e que agrega valor ao conhecimento disponível.

A prospecção tecnológica deve utilizar-se de fontes confiáveis de informação tecnológica para realizar seus estudos. Aguiar (1991) definiu a informação tecnológica como sendo todo tipo de conhecimento relacionado com o modo de fazer um produto ou prestar um serviço para colocá-lo no mercado.

Assim, os estudos de prospecção tecnológica utilizam-se das bases de patentes dos principais escritórios de proteção industrial do mundo, visto que são consideradas as principais e mais completas fontes de pesquisa para os diversos assuntos que envolvem desenvolvimento tecnológico. Dentre as inúmeras vantagens da informação tecnológica contida nas patentes, podem-se destacar: i) estado de arte da técnica ou da tecnologia estudada; ii) identificação de potenciais inovações de ruptura e de antecipação de novos produtos; iii) identificação de rotas tecnológicas, monitoramento de concorrentes; e iv) rastreamento de tecnologias e outros.

Segundo o Instituto Nacional de Proteção Industrial (INPI, 2013), a maioria das informações tecnológicas das patentes, em torno de 70%, não estão disponíveis em nenhuma outra fonte de informação. Trata-se de uma fonte atualizada do estado da arte da tecnologia, uma vez que o número de pedidos de patentes cresce anualmente na ordem de 2,5 milhões de processos em todo o mundo.

Conforme descrito no Manual para o Depositante de Patentes, elaborado pelo Serviços de Assuntos Especiais da Diretoria de Patentes (2015), patente é um título temporário e oficial, outorgado pelo Estado, que garante a posse dos direitos exclusivos do bem, podendo ser um produto, processo de fabricação ou aperfeiçoamento de produtos e processos existentes, objetos de sua patente. Essa poderá ser explorada somente mediante licença concedida pelo titular.

As características que tornam a patente vantajosa como fonte de informação nos estudos de desenvolvimento tecnológico são: i) quantidade de documentos; ii) abrangência; iii) acessibilidade, pois os documentos estão disponíveis no site de escritórios nacionais ou regionais de patentes; iv) classificação internacional com um critério padronizado para acessar documentos de todo o mundo; v) o conteúdo descrito é claro e compreensível o suficiente para que um profissional da área técnica da invenção consiga compreender; iv) sua formatação universal; vii) sua relevância, pois contém as informação suficiente para o entendimento do estado da técnica (INPI, 2013).

A prospecção tecnológica faz uso dessas informações por meio de uma busca nas bases de patentes, ou também conhecida como busca de anterioridade. Basicamente, nesse processo, é possível verificar se o tema em estudo já foi desenvolvido ou se está em uso no mercado. O

INPI elenca alguns objetivos da busca de anterioridades: i) investigação prévia de patenteabilidade: busca prévia realizada ou solicitada pelo depositante para investigar a novidade de uma matéria; ii) investigação oficial de patenteabilidade: busca realizada pelo examinador para atribuição de novidade e atividade inventiva à matéria descrita em um pedido de patente; iii) ações legais: busca para subsidiar ações de oposição/nulidade; iv) pesquisa e desenvolvimento: avaliação do estado da arte de uma tecnologia, possibilitando que sejam evitados esforços e investimentos duplicados em P&D; v) identificação de soluções técnicas: busca de tecnologias alternativas para a solução de problemas técnicos e de fontes de expertise; iv) interesses históricos: busca para estudar o panorama tecnológico, em um dado período de tempo (INPI, 2013).

Assim, a prospecção tecnológica identifica as tecnologias existentes e o seu grau de desenvolvimento, concorrentes, utilização no mercado e possíveis variações que podem tornar-se competitivas. Com o estudo, podem-se identificar os maiores inventores e empresas depositantes, país de origem e de depósito da patente, e outras informações importantes para a identificação, evolução e mapeamento da tecnologia pesquisada.

Após o período de privilégio, que varia conforme o tipo do invento, a carta patente cai em domínio público e o conhecimento tecnológico pode ser apropriado com custos inferiores aos praticados na patente original. Esse tipo de estratégia de monitoramento é fundamental na geração do conhecimento e também na absorção de tecnologia internacional para melhorar a competitividade e, possivelmente, ampliar o mercado de atuação.

Para Coelho (2003), a análise de patentes pode ainda fornecer informações de tecnologias emergentes; verificar como os tópicos e subtópicos se relacionam; análise de tendências; *benchmarking*⁵ de tecnologia; identificar competências dos concorrentes; localizar os especialistas e as redes de inovação formadas ou em formação em todo o mundo.

A busca de patentes pode ser realizada em bases gratuitas, assim como bases comerciais que têm um alto custo e exigem um nível de capacitação maior para serem utilizadas. Dentre as bases de dados gratuitas, destacam-se: i) WIPO (*World Intellectual Property Organization*) é uma organização mundial que cuida da propriedade intelectual. A busca de patentes, na sua base, possibilita acesso a invenções em 148 países. Acesso: <https://patentscope.wipo.int>; ii) INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) - Possibilita o acesso de patentes

⁵ Processo contínuo e metódico para qualificar produtos e processos de instituições caracterizadas como detentora das melhores práticas (SPENDOLINI, 1992).

depositadas no Brasil, independentemente, se foram realizadas por residentes ou não no país. Acesso: <https://www.inpi.gov.br>; iii) Espacenet é uma das bases mais completas, com patentes de mais de 90 países, entre eles: Estados Unidos, China, Japão, Coréia do Sul e Alemanha. A pesquisa deve ser feita preferencialmente em inglês. Acesso: worldwide.espacenet.com; iv) USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) base contém apenas documentos depositados ou publicados nos Estados Unidos. Acesso: www.uspto.gov.

Em geral, não existe uma regra ou metodologia exata para realizar estudos de prospecção tecnológica. Cada pesquisador ou grupo de pesquisa pode desenvolver e definir a técnica mais adequada. Essa escolha depende de alguns fatores: área de conhecimento envolvida; aplicação da tecnologia no contexto, abrangência do estudo, tempo e custo disponível.

Além da utilização de palavras-chave, é possível utilizar as classificações de patentes (CIP) para obter um melhor resultado na busca. A utilização das classificações se justifica pelo fato de não existir um padrão nas palavras que os inventores utilizam, e também é devido a possibilidade de um inventor possuir mais de uma classificação.

A Classificação Internacional de Patentes (CIP) pode funcionar como um filtro importante na recuperação de documentos de patente da sua área técnica. A CIP divide o conhecimento tecnológico em oito áreas (Seções), sendo: i) Seção A - Necessidades Humanas; ii) Seção B - Operações de Processamento; Transporte; iii) Seção C - Química e Metalurgia; iv) Seção D - Têxteis e Papel; v) Seção E - Construções Fixas; vi) Seção F - Eng. Mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão; vii) Seção G – Física; viii) e a Seção H – Eletricidade (INPI, 2015).

Cada Seção é subdividida em classes, que é simbolizada por um número de dois dígitos após o símbolo da seção, por exemplo: C12 BIOQUÍMICA; CERVEJA; ÁLCOOL; VINHO; VINAGRE; MICROBIOLOGIA; ENZIMOLOGIA; ENGENHARIA GENÉTICA OU DE MUTAÇÃO.

Cada classe abrange uma ou mais subclasses, que são o terceiro nível hierárquico da Classificação. Cada símbolo da subclasse consiste no símbolo da classe seguido por uma letra maiúscula. O QUADRO 1.6 ilustra um exemplo dessa classificação (INPI, 2015).

QUADRO 1.6: Exemplo de seção, classe e subclasses da classificação internacional de patentes

–	C12	BIOQUÍMICA; CERVEJA; ÁLCOOL; VINHO; VINAGRE; MICROBIOLOGIA; ENZIMOLOGIA; ENGENHARIA GENÉTICA OU DE MUTAÇÃO
▢	+	C12C PRODUÇÃO DE CERVEJA (limpeza das matérias-primas A23N; máquinas para inocular ou remover células, ferramentas de adegas C12L; propagação de leveduras C12N 1/14)
▢	+	C12F RECUPERAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE SOLUÇÕES FERMENTADAS; DESNATURAÇÃO DE, OU ÁLCOOL DESNATURADO [6]
▢	+	C12G VINHO; OUTRAS BEBIDAS ALCOÓLICAS; SUA PREPARAÇÃO (cerveja C12C)
▢	+	C12H PASTEURIZAÇÃO, ESTERILIZAÇÃO, PRESERVAÇÃO, PURIFICAÇÃO, CLARIFICAÇÃO, ENVELHECIMENTO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS OU REMOÇÃO DE ÁLCOOL DAS MESMAS (desacidificação do vinho C12G 1/10; prevenção de precipitação de partículas no vinho C12G 1/12; simulação de envelhecimento por aromatização C12G 3/06) [6]
▢	+	C12J VINAGRE; SUA PREPARAÇÃO
▢	+	C12L MÁQUINAS DE INOCULAR OU REMOVER CÉLULAS; FERRAMENTAS DE ADEGA
▢	+	C12M APARELHOS PARA ENZIMOLOGIA OU MICROBIOLOGIA (instalações para fermentação de adubos A01C 3/02; conservação de partes vivas de seres humanos ou animais A01N 1/02; aparelhos de preparação de cerveja C12C; aparelhos de fermentação para vinho C12G; aparelhos para preparação de vinagre C12J 1/10) [3]
▢	+	C12N MICRO-ORGANISMOS OU ENZIMAS; SUAS COMPOSIÇÕES (biocidas, repelentes ou atrativos de pestes, ou reguladores do crescimento de plantas contendo micro-organismos, vírus, fungos microbianos, enzimas, fermentados, ou substâncias produzidas por, ou extraídas de, micro-organismos ou material animal A01N 63/00; preparado medicinais A61K; fertilizantes C05F); PROPAGAÇÃO, CONSERVAÇÃO, OU MANUTENÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS; ENGENHARIA GENÉTICA OU DE MUTAÇÕES; MEIOS DE CULTURA (meios de ensaio microbiológico C12Q 1/00) [3]
▢	+	C12P PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO OU PROCESSOS QUE UTILIZEM ENZIMAS PARA SINTETIZAR UMA COMPOSIÇÃO OU COMPOSTO QUÍMICO DESEJADO OU PARA SEPARAR ISÔMEROS ÓPTICOS DE UMA MISTURA RACÊMICA [3]

Fonte: Classificação Internacional de Patentes, (2017).

Por fim, cada subclasse é desdobrada em subdivisões, denominadas "grupos", que são tanto grupos principais (i.e., o quarto nível hierárquico da Classificação) quanto subgrupos (i.e., níveis hierárquicos mais baixos dependentes do nível do grupo principal da classificação), conforme ilustra o QUADRO 1.7.

QUADRO 1.7: Exemplos de grupos da Classificação Internacional de Patentes

–	C12P 7/00	Preparação de compostos orgânicos contendo oxigênio [2006.01]
–	C12P 7/02	• contendo um grupo hidroxila [2006.01]
–	C12P 7/04	•• acíclicos [2006.01]
–	C12P 7/06	••• Etanol, i.e. não para bebida [2006.01]
–	C12P 7/08	•••• produzido como sub produto ou a partir de substrato de resíduo ou de material celulósico [2006.01]
	C12P 7/10	••••• substrato contendo material celulósico [2006.01]
	C12P 7/12	••••• substrato contendo licor residual de sulfito ou resíduos cítricos [2006.01]

Fonte: Classificação Internacional de Patentes, (2017).

1.5.4 Ferramentas de busca de patentes e análise de prospecção tecnológica

As bases de patentes gratuitas descritas anteriormente (WIPO, INPI, Espacenet, e USPTO) possuem pouca e, em alguns casos, nenhuma ferramenta adicional para auxiliar na análise das informações de determinado conjunto de patentes sobre um produto ou uma tecnologia em estudo. Além disso, cada uma dessas ferramentas garante a varredura da busca

apenas na sua base específica ou, no máximo, em bases conveniadas, a partir de acordos internacionais entre os diferentes escritórios de propriedade intelectual do mundo.

Considerando que essas bases de dados possuem milhares de documentos arquivados sobre uma mesma tecnologia, ou tecnologia correlacionadas, a visualização e análise de todos esses documentos tornam-se impossíveis sem uma ferramenta de apoio. Para essa e outras finalidades, existem *softwares* específicos que fazem a busca integrada em vários escritórios de patentes do mundo, que auxiliam na análise desses documentos, e disponibilizam um arsenal de ferramentas adicionais e apoio auxiliar em todas as etapas do processo de prospecção tecnológica.

As principais bases privadas de patentes que oferecem serviços adicionais para auxiliar as fases de prospecção tecnológicas são: i) *Derwent Innovation Index*, base produzida pela *Thomson Scientific* que permite o acesso a informações de mais de 40 milhões de documentos de patentes depositados em diversos países do mundo, cobrindo todas as publicações, a partir de 1963 e citações a partir de 1973, sendo que são adicionados mais de 25.000 registros de patentes novos a cada semana. ii) *Questel Orbit*, trata-se de um sistema de busca e análise de informações contidas em patentes e desenhos industriais. O sistema enfoca ferramentas de análise estatística e correlacional, as quais permitem a geração e visualização de gráficos de grandes conjuntos de patentes. Permite buscar por meio de palavras-chaves, campos bibliográficos, classificação de patentes, citações, famílias de patentes e status legal. A cobertura da base Questel Orbit abrange mais de 96 países para patentes, sendo 21 deles com textos integrais pesquisáveis e arquivos disponíveis para download. iii) *Patent Strategies* – base produzida pela LexisNexis, com foco em informações estratégicas, integra conteúdos de patentes, informações financeiras de empresa, documentos não patentários como literatura científica e normas técnicas com ferramentas analíticas. Maior cobertura disponível, mais de 100 escritórios de patentes com dados de mais de 8.6 milhões de empresas, inclusive dados financeiros de seis diferentes fontes de dados financeiros – bolsa de valores.

1.5.5 Análise de bancos de patentes

A análise desta vasta quantidade de informações é um trabalho árduo e a construção de um mapa de patentes para um determinado tema ou tecnologia, normalmente, requer os esforços

de especialistas na área em estudo e em técnicas de mineração de dados que tenham conhecimento sobre estrutura dos documentos das patentes e as estratégias usadas na elaboração das mesmas. Assim sendo, inúmeras técnicas e programas têm sido desenvolvidos para auxiliar na triagem e análise dos dados disponíveis em bancos de patentes, e outras tantas têm sido desenvolvidas para detectar tendências tecnológicas, a partir da análise da informação contida em patentes.

Para tanto, diferentes técnicas são desenvolvidas e empregadas para a análise de bases de patentes. Kostoff (2008) propôs um método para encontrar ligações entre dois ou mais conceitos tecnológicos presentes na literatura que nunca foram conectados anteriormente, a fim produzir um novo conhecimento (descoberta) que tenha aplicação prática. Neste contexto, inovação é entendida como a exploração comercial de uma nova ligação até então não suficientemente explorada, mas que não era desconhecida.

Shibata *et al.* (2008) estudaram pesquisas baseadas em medidas topológicas, métodos de detecção de frentes de tecnologias, a partir de redes de citações de publicações científicas.

Lee *et al.* (2010) desenvolveram um procedimento de mapeamento de patentes baseado na transformação (redução) dos textos das patentes em palavras-chaves que são analisadas com relação à frequência em que aparecem dentro do texto de origem e no conjunto de patentes examinadas. Criam-se, assim, vetores para cada patente, contendo valores de frequência para cada palavra-chave. Esses vetores servem de base para o mapa de patentes.

França *et al.* (2014) analisaram um conjunto de patentes sobre pintura em pó por meio da adaptação de alguns métodos existentes, de maneira que fosse possível organizar bancos de dados de patentes em uma matriz taxonômica, cuja análise pode servir como um indicador dos espaços passíveis de inovação, bem como fornece indicadores de previsão tecnológica em subcategorias do tema analisado.

Desenvolvido inicialmente por Zwick (1969), a análise morfológica é um método analítico combinatório muito utilizado para realizar análise prospectiva. Na análise morfológica, (MA) o assunto é dividido em várias dimensões, por meio das quais podem ser descritas de forma abrangente e mais detalhada possível. Esse tipo de análise categoriza sistematicamente as possíveis combinações de subsistemas. A força dessa técnica reside na sua capacidade de modelar problemas complexos de forma não-quantitativa (YOON *et al.*, 2013).

No trabalho de Tseng *et al.* (2007), são apresentados argumentos sobre a relevância estratégica da análise de patentes, com destaque para o empenho e o grau de conhecimento

imprescindível para obter resultados satisfatórios. Sendo assim, ressaltam a importância das técnicas automáticas no processo. Segundo eles, as informações não estruturadas, no formato de textos, são os itens mais delicados para análise. Eles detalham uma sucessão de técnicas de análises de texto que pretendem assemelhar a lógica utilizada por analistas de patentes. Integram as técnicas: pré-processamento dos documentos (criação da coleção, segmentação, etc.); indexação (extração de palavras-chaves, análise morfológica, associação de termos, etc.); agrupamento por tópicos (seleção de termos, categorização, etc.); e mapeamento (de tendências, agregação, etc.). Como resultado, a metodologia demonstrou um êxito parcial em simplificar a compreensão dos dados obtidos.

Os mapas de patentes são um meio eficaz para identificação de oportunidades tecnológicas. Lee *et al.* (2013) apresentam uma nova abordagem para a detecção dessas tecnologias com base em processos sistemáticos e resultados quantitativos. A proposta está centralizada na mineração de texto para extrair os padrões de uso da palavra e desenvolver um mapa de identificação focado em novas patentes. Esse autor emprega vários métodos, como técnicas de análise de dados, mineração de texto, análise morfológica (MA) e LOF (*Local Outlier Factor*) para descobrir novas patentes. O LOF é um método de detecção de anomalias baseado em densidade. Este método pode calcular o grau de novidade numa escala numérica, permitindo a interpretação quantitativa e objetiva a ser realizada. O envolvimento de muitos métodos e algoritmos complexos podem levar a interpretações conceituais erradas e uso impreciso na prática, por isso, a proposta é executada em quatro etapas: coleta de dados e pré-processamento via técnicas de análise de dados; construção de contextos morfológicos de patentes por meio da mineração de texto; identificar novas patentes via LOF; e, finalmente, o desenvolvimento do mapa focado na inovação para identificação de patentes. (LEE *et al.*, 2014).

Lee *et al.* (2009) propõem uma abordagem para a criação e utilização de mapas de patentes baseados em palavras-chave para uso em atividades de criação de novas tecnologias. Primeiro, a mineração de texto é usada para transformar documentos de patentes em dados estruturados para identificar palavras-chave. As palavras-chave são analisadas pela frequência que aparecem no texto e no conjunto de patentes que está sendo examinado. São criados vetores para essas patentes, que contém o valor de frequência para cada palavra-chave.

No mapa de patente, vai ser possível identificar a área com menor densidade de patentes, que indicam oportunidades de desenvolvimento. A fase final envolve rastreamento para identificar e investigar áreas significativas de falta de patentes: como nem todas são interessantes investigar

o potencial de desenvolvimento de novas tecnologias, são conduzidas análises para verificar se a tecnologia é valiosa ou se é uma tendência (LEE *et al.*, 2009).

1.5.6 Descoberta de oportunidades tecnológicas

A descoberta tecnológica de oportunidades (TOD) pode ser utilizada para duas finalidades: antecipar novas tecnologias ou produtos e aplicar a tecnologia existente. Este último é útil para pequenas e médias empresas, que têm fraca capacidade de previsão tecnológica. É possível melhorar a competitividade tecnológica, reduzindo sistematicamente a duplicação de pesquisas e possíveis erros em P&D, pelo fato da TOD oferecer uma tendência de pesquisa global. Explorar oportunidades de tecnologia é um processo essencial para manter em atividade muitas empresas (YOON *et al.*, 2013). Nesse trabalho de dissertação, foi utilizada algumas etapas da metodologia TOD para identificar e confirmar tendências tecnológicas no processo de hidrólise enzimática para produção do etanol lignocelulósico.

Yoon *et al.* (2013) estudaram bases de patentes para analisar a evolução tecnológica de lâmpadas de LED e sua trajetória tecnológica frente a dissipação de calor. Em uma primeira fase, foi realizada uma busca de patentes do produto e da tecnologia em questão, a partir de sintaxe previamente determinada pelos autores. Utilizou-se de técnicas de mineração de dados e textos para refinar a busca e extrair as principais palavras-chave relacionadas à tecnologia e ao produto. Terceiro, foi realizada uma análise morfológica, com a finalidade de extrair a morfologia específica da tecnologia e do produto para estabelecer parâmetros de correlação entre elas. E, por fim, foi realizada uma análise de oportunidade tecnológica (*Technology Opportunity Analysis - TOA*), com o objetivo específico de identificar as oportunidades tecnológicas ainda não exploradas e que se relacionam com o produto pesquisado, no caso desse trabalho, em questão lâmpadas de LED.

A análise de oportunidades tecnológicas (TOA) surgiu, em 1990, e tem como objetivo sistematizar o processo que prioriza o investimento em P&D nas áreas de tecnologia emergente. A TOA realiza análises de dados de valor agregado, coletando informações bibliográficas e de patentes, e as apresenta em forma de um formulário útil ao gerente de pesquisa ou tecnologia, planejador estratégico ou analista de mercado. Resumidamente, o processo envolve duas principais etapas: i) pesquisa e recuperação de informações de texto, tipicamente realizadas em

grandes bancos de dados; ii) criação de perfis do conjunto de pesquisa, o objetivo é extrair potenciais associações entre produtos e tecnologias, a fim de interpretar as perspectivas de desenvolvimento tecnológico bem sucedido e identificar espaços em branco em que a tecnologia ainda possa ser aplicada (YOON *et al.*, 2014).

As técnicas de mineração têm como princípio realizar a descoberta de conhecimento a partir de um conjunto de dados textuais não estruturados. A maioria das ferramentas de mineração de texto assume que as palavras-chave podem ser usadas para classificar o conteúdo importante de documentos. A prática usual é colocar rótulos em palavras no documento. Em seguida, o documento no formato de texto pode ser caracterizado por palavras-chave que são extraídas através do algoritmo de mineração de texto. A mineração de texto é frequentemente utilizada nas áreas de gestão de conhecimento e gerenciamento de relacionamento com clientes, e, ultimamente, também vem sendo utilizada para explorar documentos tecnológicos (YOON *et al.*, 2014).

Na análise morfológica (MA), o assunto é dividido em várias dimensões e por intermédio dessas pode ser descrito de forma abrangente e mais detalhada possível. Esse tipo de análise categoriza sistematicamente as possíveis combinações de subsistemas. A força dessa técnica reside na sua capacidade de modelar problemas complexos de forma não-quantitativa. Em geral, trata-se de um método para estruturar um problema, ao invés de resolvê-lo (YOON *et al.*, 2014).

Conforme Yoon *et al.* (2013), a metodologia TOD pode ser diferenciada por três tipos de produtos: existentes, aplicados e heterogêneos. O primeiro deles, e que será utilizado como base nesse trabalho, é designado quando se estuda um produto cuja tecnologia existente já é aplicada. Nesse caso, a oportunidade tecnológica é identificada descobrindo atributos vagos da configuração atual do produto, após a tecnologia existente ser comparada com morfologias de produtos existentes.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada, inicialmente, em dois estudos de análise morfológica (produto e tecnologia), para auxiliar a interpretação sobre a tendência de evolução de determinada tecnologia em função dos dados de proteção industrial (patentes) publicadas. Estudos desse tipo têm sido realizados por diversos autores, em diferentes regiões do mundo. Inúmeras técnicas e programas têm sido desenvolvidos para auxiliar na triagem e análise dos dados disponíveis em bancos de patentes, e outras tantas têm sido desenvolvidas para detectar tendências tecnológicas, a partir da análise da informação contida em patentes.

Este trabalho de dissertação utilizou-se, parcialmente, da metodologia de análise morfológica desenvolvida por Yoon *et al.* (2013). Assim, verificou a necessidade inicial de identificar aspectos da metodologia que foram, de forma efetiva, utilizados neste trabalho de dissertação. Para tanto, foi proposto inicialmente uma verificação da consistência da metodologia utilizada por Yoon *et al.* (2013), a fim de identificar a possibilidade da mesma colaborar ou não efetivamente com os objetivos propostos neste trabalho.

Nota-se que a finalidade específica dessa parte do trabalho de dissertação apresentado não é validar a metodologia utilizada por Yoon *et al.* (2013), o que seria muita pretensão para os objetivos inicialmente propostos nesse trabalho. Pretende-se verificar os conceitos utilizados em tal metodologia e verificar a sua consistência e capacidade de adaptá-la ao objeto de estudo.

Assim, verificou-se, a partir das informações contidas no artigo de Yoon *et al.* (2013), o número de documentos de patentes analisados, as *dimensions* (dimensões) e os *shapes* (formas) escolhidos; e os critérios adotados pelo autor para selecionar as palavras-chaves que foram utilizadas para o estudo da morfologia, tanto do produto quanto da tecnologia. Por fim, verificou-se os resultados obtidos apresentados na tabela de cruzamento entre as morfologias do produto e da tecnologia.

Esse estudo prévio foi fundamental para compreender efetivamente a metodologia utilizada por Yoon *et al.* (2013), as técnicas que ele empregou para determinar *dimensions*, *shapes*, *keywords* e a sintaxe da busca (que o autor não apresenta no artigo, mas é necessário para busca de patentes). A partir dessas informações, pode-se entender e adaptar a metodologia proposta por Yoon *et al.* (2013) para o caso específico deste trabalho de dissertação, uma vez que o produto (lâmpada LED) e a tecnologia (dissipação de calor) estudada por Yoon *et al.*

(2013) apresentam diferenças fundamentais entre o produto (etanol lignocelulósico) e a tecnologia (SHF), tratada neste estudo de dissertação.

Em relação a essas diferenças fundamentais, destaca-se que o etanol lignocelulósico de cana-de-açúcar é um produto padronizado internacionalmente com características químicas controladas por órgãos reguladores no mundo todo, o que o se assemelha a uma *commodity*. Essa especificação controlada do produto em questão impossibilita sua divisão física, o que impede que o estudo apresentado neste trabalho categorize para esse produto um número grande de *dimensions* e *shapes*, conforme foi apresentado por Yoon *et al.* (2013), no caso em que ele estudou a lâmpada LED. Assim, neste trabalho de dissertação, e seguindo a recomendação de especialistas da área de produção de etanol de cana-de-açúcar, o produto em questão foi dividido em três dimensões: etanol anidro, etanol hidratado e etanol industrial, sem que a subdivisão por *shapes* fosse utilizada, em função do que já foi explicado. Nota-se que das três dimensões adotadas, pelo menos duas delas – anidro e hidratado – apresentam configuração técnica final padronizada que praticamente impede a sua subdivisão no formato de *shapes*. A terceira dimensão – industrial – apresenta um conjunto praticamente indeterminado de diferentes configurações técnicas possíveis, muito em função dos objetivos finais de utilização do produto (indústria química, alimentos, bebidas, entre outros), uma vez que o etanol industrial é uma das principais matérias-primas empregada atualmente em vários segmentos produtivos. Assim, apesar de ser possível definir *shapes* para a *dimension* etanol industrial, o mesmo ocorreria de maneira muito pulverizada em função do grande número de possibilidades a serem analisados. Por fim, optou-se pela não formulação de *shapes* para nenhuma das três dimensões do produto definido anteriormente, o que, na análise do autor, e, segundo opinião de especialistas consultados, não prejudica de maneira consistentemente os resultados esperados.

Um segundo ponto a se destacar quanto a adaptação da metodologia proposta por Yoon *et al.* (2013), diz respeito aos resultados obtidos do cruzamento das análises morfológicas do produto e da tecnologia, chamada por ele de TOD (*Technology Opportunity Discovery*). Esse cruzamento permitiu a Yoon *et al.* (2013) propor, como resultado final do seu trabalho, uma nova configuração tecnológica para o produto estudado por ele. Neste trabalho de dissertação, não será possível o emprego do mesmo objetivo (TOD), uma vez que, conforme já descrito, o etanol não é uma *commodity* com características e especificações determinadas e controladas internacionalmente, sem possibilidade de mudança no curto e médio prazo, o que desabona, pelo menos nesse momento, um estudo de uma nova configuração tecnológica para esse produto.

Diferentemente do constatado por Yoon *et al.* (2013), que se preocupou com uma nova configuração tecnológica para o produto estudado, com o cruzamento da análise morfológica do produto e da tecnologia proposta neste trabalho de dissertação, pode-se verificar, devido as limitações de divisão e subdivisão do produto analisado, a etapa ou fase do processo de fabricação de etano lignocelulósico, que estão representados nas *dimensions* (dimensões) e *shapes* (formas) da análise morfológica da tecnologia, em função do tipo de produto. Assim, pode-se definir para cada *dimension* da rota tecnológica escolhida (SHF), qual o *shape* apresenta um maior número de documentos de patentes depositados e, conseqüentemente, identificar uma tendência de desenvolvimento tecnológico.

2.1 Etapas da Metodologia

Este estudo centrou-se em fontes de informações tecnológicas disponíveis em bancos de dados de patentes de diversos países. Os processos da pesquisa ocorreram por meio de levantamento das fontes bibliográficas; buscas de dados e análise de documentos de patentes; utilização de técnicas de mineração de dados para o tratamento prévio das informações; mapeamento tecnológico do produto; e análise morfológica para identificação de oportunidades tecnológicas. A abordagem utilizada é quantitativa e exploratória, utilizando-se os métodos estatísticos utilizados pelos estudos métricos da informação, especificamente da patentometria⁶.

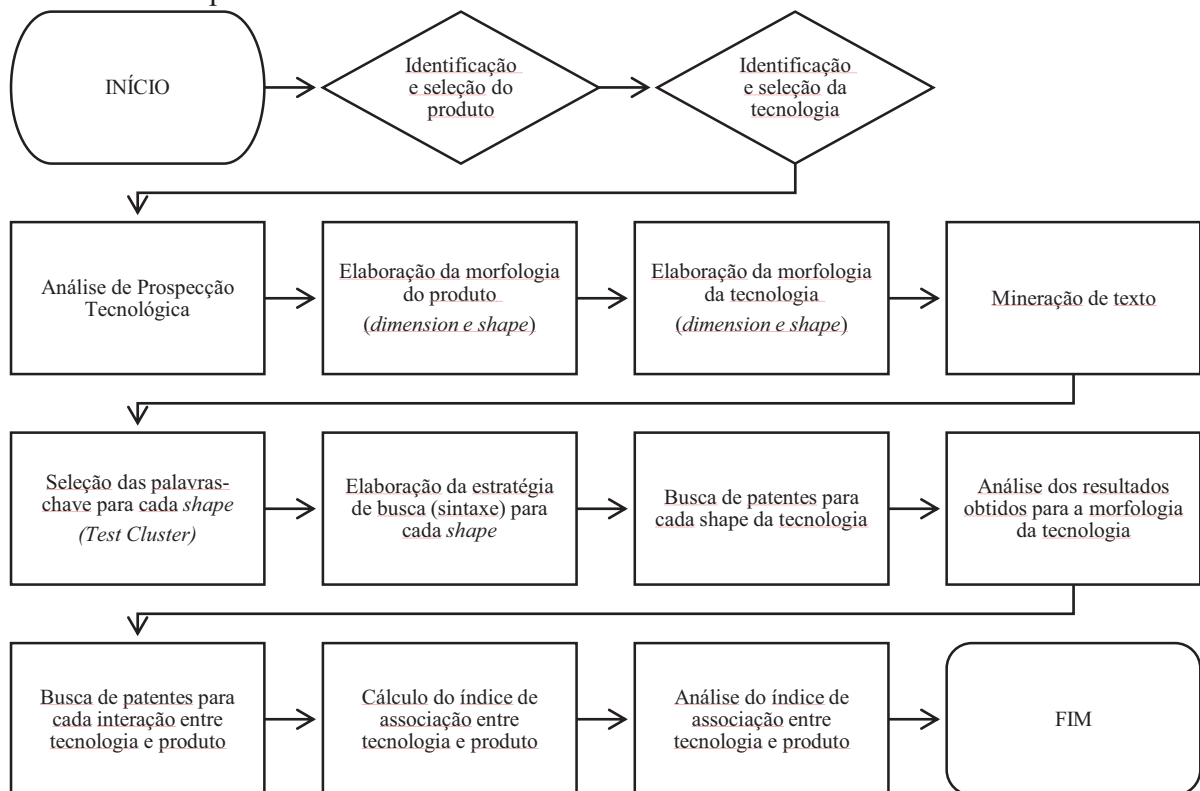
O objeto do estudo foram os documentos de patentes de produtos e tecnologias relacionados a produção de etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar pelo método da hidrólise enzimática e pelo processo SHF (*Separate Hydrolysis and Fermentation*).

O QUADRO 2.1 apresenta, de maneira esquematizada, as etapas metodológicas desenvolvidas. Inicialmente, foi feita a seleção do produto, optou-se pelo etanol de segunda

⁶ Sobre o enfoque informétrico, dos estudos métricos da informação, Macias-Chapula (1998) afirma que o método pode ser considerado um segmento da sociologia da ciência, pois subsidia o desenvolvimento de políticas científicas. Nos estudos métricos da informação, as metodologias mais relevantes ou estudadas que compõem a informetria são a bibliometria, cienciometria, e mais recentemente webometria e patentometria. A patentometria se refere a indicadores patentários com vistas a identificar atividades de inovação e tecnologias nos países, através das informações tecnológicas contidas nos documentos de patentes. Possibilita conhecer atividade tecnológica, refletir as tendências das mudanças técnicas ao longo do tempo e avaliar os resultados dos recursos investidos em atividades de P&D, determinando ainda o grau aproximado da inovação tecnológica de uma determinada região, área ou instituição. Além disso, entre outros estudos métricos de informação, a patentometria é a mais próxima em vincular a academia com empresas, indústrias e demais setores privados (GUZMÁN, 1999).

geração de cana-de-açúcar a partir de rota hidrolítica enzimática, em função das informações colhidas previamente no levantamento bibliográfico. Em suma, trata-se de uma tecnologia em desenvolvimento, com grande potencial energético, que se relaciona bem com o padrão tecnológico e produtivo do setor sucroalcooleiro nacional e que já apresenta, mesmo que de maneira inicial, pelo menos duas plantas com escala comercial em funcionamento.

QUADRO 2.1: Fluxograma resumido da metodologia utilizada para a coleta e análise dos documentos de patentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na escolha da tecnologia, foi utilizado como base os trabalhos de Dal Poz *et al.* (2012), Silva Ortiz (2016) e Santos (2012) que são apresentados, basicamente, quatro vias tecnológicas que representam os diferentes processos tecnológicos atuais de desenvolvimento e aplicação para produção do etanol de segunda geração, a partir da biomassa lignocelulósica de cana-de-açúcar: Fermentação e Sacarificação simultânea (*Simultaneous saccharification and fermentation - SSF*), Bioprocessamento consolidado (*Consolidated bioprocessing - CBP*), Conversão Microbiana Direta (*Direct Microbial Conversion – DMC*), Fermentação e Hidrólise separadas (*Separate Hydrolysis and Fermentation – SHF*).

Para a escolha de qual tecnologia seria adotada como objeto de estudo, foi realizada uma busca de patentes com cada uma das quatro tecnologias disponíveis. O objetivo inicial foi de verificar qual delas possuía uma maior associação com o objeto de estudo proposto, ou seja, qual tecnologia apresentava o maior número de documentos de patentes depositados no mundo, especificamente, relacionadas a produção de etanol de segunda geração, a partir da biomassa da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática.

Para a definição da taxonomia ou sintaxe de busca, levou-se em consideração informações colhidas no referencial teórico sobre o etanol de segunda geração de cana-de-açúcar produzido a partir da rota hidrolítica enzimática. Em um primeiro momento selecionou-se, cientificamente, os principais termos que traduzem ou sintetizam esse assunto específico. Em um segundo momento, refinou-se a busca com um critério parcimonioso e decidiu-se quais foram as palavras-chave utilizadas.

A partir das palavras-chaves selecionadas, construiu-se a estratégia ou sintaxe de busca para cada frente tecnológica: SSF, CBP, DMC e SHF. Essa estratégia foi utilizada na ferramenta de busca do *Patent Strategies*, que fez a varredura das palavras-chaves da estratégia nos seguintes campos dos documentos de patentes: título, resumo e reivindicações. A reivindicação trata especificamente do objeto da proteção. Nele, o inventor (desenvolvedor e detentor da tecnologia) descreve claramente as particularidades da sua invenção.

O símbolo * foi empregado como *wildcard* com o objetivo de recuperar variantes de radicais da palavra que o precede, como operador foi usado *OR* para recuperar documentos que apresentassem qualquer uma das palavras entre este operador e o *AND* que, necessariamente, associa em um mesmo documento todos os termos determinados. O intervalo de tempo dos documentos recuperados foi de 1974 até 2016. Dessa maneira, foi constatada uma maior quantidade de patentes para o processo SHF, um total de 585 documentos. Por esse motivo, essa foi a tecnologia escolhida, e também pelo fato de nessa frente tecnológica, as etapas do seu processo serem realizadas separadas e bem distinta, facilitando a compreensão e aplicação da metodologia. Por fim, levou-se a escolha para a opinião de pelo menos dois especialistas, que a validaram em função do grau e evolução técnica do SHF como alternativa de produção de etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática e da sua maior aplicabilidade em escala industrial da atualidade.

Na sequência, elaborou-se a análise morfológica do produto e da tecnologia, segundo metodologia proposta por Yoon *et al.* (2013). Objetivou-se, com essa etapa, uma maior visibilidade da caracterização estrutural da tecnologia e do produto, a fim de identificar as

palavras-chaves que representassem a tecnologia e o produto escolhido de maneira que a busca nas bases de patentes (fase de mineração de dados) ocorresse, de forma mais precisa e conveniente, com os objetivos traçados inicialmente. Para a tecnologia do produto, conforme explicado anteriormente, não foi possível estruturar o etanol de segunda geração, pois o mesmo não possui elementos físicos que possam ser segregados em um número grande de formas (*shapes*), conforme proposto por Yoon *et al.* (2013). Com isso, a estrutura morfológica do produto apresentou como dimensões (*dimension*) somente os três tipos de etanol utilizados comercialmente: etanol anidro, etanol hidratado e etanol industrial, sem subdivisões em escala de forma (*shapes*).

A definição das *dimensionas* e *shapes*, para a análise morfológica da tecnologia, foi empregado inicialmente a técnica de mineração de textos, realizou-se uma pesquisa exaustiva em trabalhos publicados em revistas científicas especializadas. Na sequência, definido previamente as *dimensions* e seus respectivos *shapes*, os mesmos foram verificados e validados por especialistas. Definiu-se, então, 5 *dimensions* e 17 *shapes*, apresentados no próximo capítulo. Nota-se que as *dimensions* identificadas e validadas são caracterizadas como as 4 etapas (fases) do processo de produção do etanol de segunda geração, a partir do processamento da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática.

Na mineração de texto, a partir do *shapes* previamente definidos, estabelecem os critérios para a determinação das palavras-chaves, fundamentais para a construção da sintaxe de busca nas bases de patentes. Inicialmente, foi realizado um trabalho de mineração de texto com o auxílio da ferramenta *Test Cluster* do *Patent Strategies*. Esse *software* (*Patent Strategies*) permite, através de uma sintaxe de busca em bases de patentes, selecionar, a partir do resultado gerado, a ferramenta *Test Cluster*. Essa ferramenta reverte os documentos de patentes levantadas, a partir de uma determinada sintaxe, em palavras-chaves, todas elas relacionadas diretamente aos termos de busca dos documentos (título, resumo e reivindicações). Assim, foi possível definir as palavras-chaves que caracterizam cada *shape* definido na análise morfológica da tecnologia, diferente do que ocorreu no caso do produto, que não foi possível identificar *shapes*.

Posteriormente, foram consultados especialistas nas áreas da tecnologia em análise para verificar e validar as palavras-chaves definidas para cada *shape*. No geral, o uso de especialistas resulta em um processo de análise mais demorado, oneroso e com custo financeiro elevado, pois nem sempre a *expertise* está prontamente disponível dentro da empresa e, em alguns casos,

especialistas *a doc* devem ser contratados e consultados sob-remuneração para exercer seu trabalho.

Na etapa seguinte, definiu-se, a partir das palavras-chave encontradas para cada *shape* da tecnologia, a sintaxe de busca para encontrar o número de patentes de cada *shape* previamente identificado na morfologia da tecnologia (SHF). Com os resultados obtidos do número de patentes para cada *shape* definido, pode-se efetuar uma análise das 4 diferentes etapas (fases) de produção de etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar por meio da tecnologia SHF.

Na sequência, realizou-se uma pesquisa composta, cruzou-se os termos de busca (sintaxe) de patentes com palavras-chaves de cada *shape* da tecnologia, com as palavras-chaves das 3 *dimensions* escolhidas para caracterizar o produto. Assim, verificou-se, por meio das buscas nas bases de patentes, o número de documentos levantados, quando ambas as palavras-chaves dos *shapes* da tecnologia e dos *dimensions* do produto ocorrem simultaneamente. Com os números de documentos levantados a partir desse cruzamento, pode-se calcular a relação de correspondência entre a morfologia da tecnologia e a do produto. A relação de correspondência é calculada com base no índice de associação como apresentado na EQUAÇÃO 1.

Para relacionar a morfologia da tecnologia e do produto, a relação de correspondência deve ser calculada baseada na relação de correspondência calculada entre a morfologia da tecnologia e do produto existente.

Segundo Yoon *et al.* (2013), o processo para calcular a relação de correspondência deve seguir as seguintes etapas. Primeiro passo, verificar o número de pedidos de patentes por pesquisa em bancos de dados de patentes, utilizando as palavras-chaves da morfologia da tecnológica. Em seguida, deve ser medido novamente o número de pedido de patentes, porém, dessa vez, a consulta deve ser composta por palavras-chaves da tecnologia e do produto, ou seja, medir o número de pedidos de patente quando ambas as palavras-chave da tecnologia e do produto ocorrem simultaneamente. No terceiro passo, a relação de correspondência é calculada entre a morfologia da tecnologia e do produto EQUAÇÃO 1.1.

EQUAÇÃO 1.1: Índice de associação entre produto e tecnologia (YOON *et al.*, 2013)

$$\text{Índice de Associação} = \frac{\text{O número de pedidos de patente } \{(TKs) \text{ and } (PKs)\}}{\text{O número de pedidos de patente } (TKs)}$$

Calcula-se a relação de correspondência com base no índice de associação como apresentado na EQUAÇÃO 1.1. As células da grade de ligação são preenchidas com cada valor de relação de correspondência com base no índice de associação. O valor mais alto entre todos os valores das formas em cada dimensão é selecionado. Se o valor da relação de correspondência é todo zero em uma dimensão, a dimensão não está vinculada entre si. Além disso, mais de duas dimensões estão possivelmente relacionadas, se o valor da relação de correspondência for idêntico numa dimensão.

Por fim, uma tabela de correlação entre a tecnologia e produto pode ser construída. As células da tabela foram preenchidas com o valor da relação de correspondência com base no índice de associação. Selecionou-se o valor mais alto entre todos os valores em cada dimensão. Se o valor da relação de correspondência foi zero, as dimensões ou subáreas não estão vinculadas entre si.

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo contempla, de maneira geral, os resultados obtidos e as análises e discussões referentes aos dados levantados, contextualizando a importância das informações coletadas e analisadas em relação ao referencial teórico proposto.

A primeira seção trata da apresentação dos dados, resultados e análises realizadas com o objetivo de justificar, dentre as opções de tecnologias para a produção de etanol de segunda geração pela rota hidrolítica enzimática, qual foi a escolhida para objeto de estudo desse trabalho. Para tanto, se realizou uma busca de documentos de patentes nas bases dos principais escritórios de proteção industrial do mundo e verificou-se que a tecnologia SHF apresentava o maior número de documentos depositados, o que permitiu a definição dessa tecnologia como objeto de estudo desse trabalho.

Na segunda seção deste capítulo, foi apresentado um estudo analítico, a fim de caracterizar, de maneira geral, os documentos de patentes levantados para a tecnologia SHF e que foram fundamentais para escolha dessa tecnologia como o objeto central desse estudo de dissertação. Tratou-se, basicamente, de um levantamento estatístico e analítico com o objetivo de dar uma maior visibilidade a esse conjunto de documentos.

A terceira seção apresenta dados e resultados cujo objetivo principal foi verificar qual a tendência tecnológica da opção SHF para a produção de etanol de segunda de cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática.

3.1 Identificação e Seleção da tecnologia analisada (SHF)

Conforme descrito no Referencial Teórico, atualmente, existem pelo menos 4 tecnologias disponíveis para a produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar que utilizam a rota de hidrólise enzimática: i) Fermentação e Sacarificação simultânea (*Simultaneous saccharification and fermentation* - SSF); ii) Bioprocessamento consolidado (*Consolidated bioprocessing* - CBP); iii) Conversão Microbiana Direta (*Direct Microbial*

Conversion – DMC); iv) Fermentação e Hidrólise separadas (*Separate Hydrolysis and Fermentation – SHF*).

Durante os estudos de mineração de texto realizados e consultas realizadas periodicamente com especialistas em biorrefinarias, verificou-se que existia uma tendência atual de prevalecer a tecnologia SHF em detrimento as demais, em função de argumentos já descritos anteriormente, mais que são relevantes repeti-los de maneira resumida: i) menor custo na operação e manutenção de reatores devido a baixa temperatura e pressão de trabalho; ii) maior capacidade de reaproveitamento das enzimas e função das condições de operação dos reatores; iii) maior controle de operação devido a separação das etapas de fermentação e hidrólise; iv) maior aplicabilidade, com pelo menos duas plantas operando em escala industrial; v) trata-se da tecnologia mais antiga, ou seja, mais consolidada cientificamente.

Assim, optou-se em justificar a escolha da tecnologia SHF como objeto central de estudo, para isso, foi realizado uma busca a partir da ferramenta *Patent Strategies* nas bases de dados dos principais escritórios de proteção industrial do mundo com a finalidade de verificar o número de documentos de patentes depositados para cada tecnologia previamente selecionada e descrita. E, a partir desse método, selecionar a que mais se destacava em termos relativos.

Dessa maneira, baseado em trabalhos científicos Dal Poz *et al.* (2012) e de consulta a especialistas, definiu-se palavras-chave para cada uma das quatro tecnologias disponíveis associadas a produção de bioetanol, a partir da cana-de-açúcar. A TABELA 3.1 apresenta esquematicamente a estratégia de busca realizada para verificar a consistência da opção da tecnologia SHF em detrimento as demais.

TABELA 3.1: Matriz de palavras-chave e estratégia de busca para definir a tecnologia objeto do estudo proposto

Tecnologia	Palavras-chave	Estratégia de busca	Número de patentes
SSF	SSF, simultaneous saccharification, fermentation, ethanol, bioethanol, sugarcane	(SSF OR (simultaneous AND saccharification AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	339
CBP	CBP, bioprocessing, fermentation, ethanol, bioethanol, sugarcane	(CBP OR (consolidated AND bioprocessing)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	38
DMC	DMC, direct microbial conversion, fermentation, ethanol, bioethanol, sugarcane	(DMC OR (direct AND microbial AND conversion)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	99
SHF	SHF, separate hydrolysis fermentation, ethanol, bioethanol, sugarcane	(SHF OR (separate AND hydrolysis AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	585

FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies*, (2017).

Foram utilizados todos os bancos de dados de patentes disponíveis na plataforma *Patent Strategies* da *LexisNexis*, e, como resultados, obteve-se o SHF como a tecnologia que apresentou maior número de documentos, 585. Na sequência, aparece a tecnologia SSF com 339 documentos; DMC, com 99 e CBP, com 38. O fato de a tecnologia SHF ser uma das mais antigas, ou seja, tecnologicamente consolidadas, justifica, em parte, um número maior de documentos de patentes depositados.

No próximo item deste capítulo apresenta-se uma análise desses 585 documentos encontrados referentes a tecnologia SHF para produção de etanol de segunda geração, a partir da cana-de açúcar.

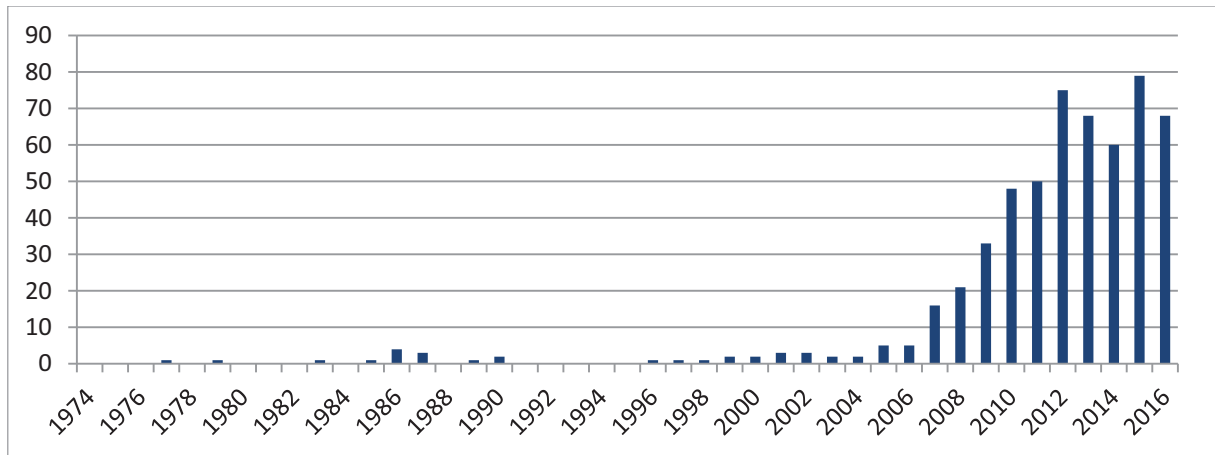
3.2 Análise de prospecção da tecnologia SHF

O levantamento do estudo de patentometria realizado para definir a tecnologia SHF como o objeto de estudo desse trabalho, buscou, a partir dos termos de busca explicitados, anteriormente, 585 documentos de patentes e pedidos de patentes. Este portfólio é composto, em especial, por documentos relacionados às tecnologias relacionadas a produtos químicos orgânicos industriais, drogas e alimentos.

O QUADRO 3.1 enfoca a distribuição dos resultados encontrados com os termos de busca por ano de depósito. Nota-se, de maneira geral, que apesar dos primeiros documentos de patentes terem sido depositados, em 1977, o volume desses depósitos tornaram-se mais expressivos a partir de 2007, ou seja, trata-se de uma tecnologia bastante recente. O volume de documentos concedidos ou depositados, nesse período, corresponde a aproximadamente 93% do total dos documentos pesquisados durante todo o período selecionado para a busca (aproximadamente 40 anos).

Os anos com maior concentração de depósitos para o termo de busca em questão estão entre 2007 e 2016, que corresponde ao período de expansão recente da produção sucroenergética canavieira, no Brasil, e da busca de alternativas tecnológicas com o objetivo de ampliar a produtividade e suprir a crescente demanda por combustíveis alternativos aos fósseis. No cenário financeiro internacional, tratou-se de um período de recuperação mundial pós-crise financeira internacional de 2008, com estímulos em diversos países ao investimento e ao consumo. No energético, os apelos ambientais para a redução no consumo de combustíveis fósseis, conflitos militares no Oriente Médio e os embargos americanos ao petróleo do Irã colaboraram para um cenário de grande volatilidade nos preços internacionais do petróleo. Argumentos fundamentais para investimentos na busca de alternativas energéticas (etanol de segunda geração), ou melhorias tecnológicas na matriz produtiva vigente (etanol de primeira geração).

QUADRO 3.1: Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca da tecnologia SHF por ano (1974-2016)

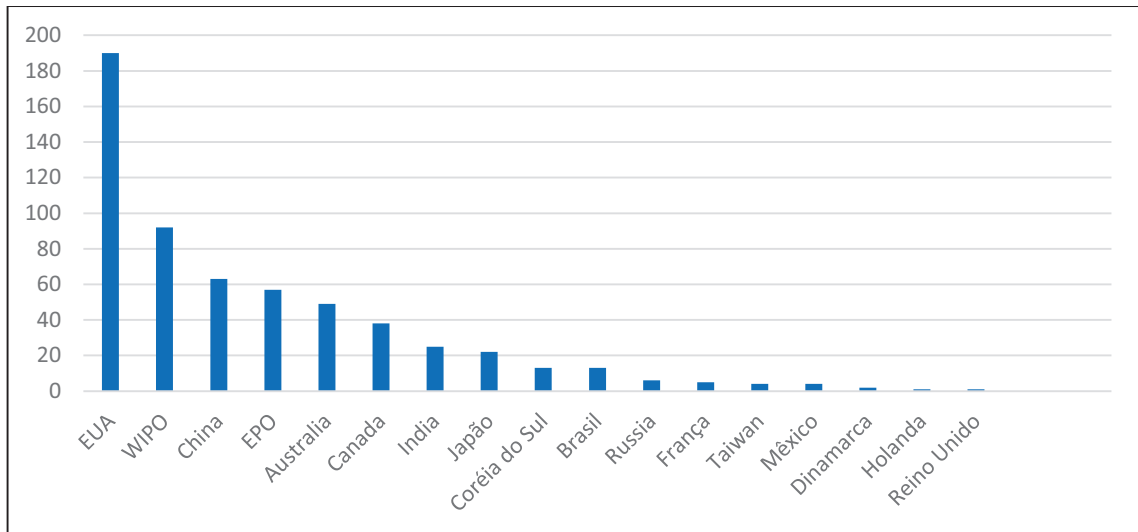


FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies* (2017).

O QUADRO 3.2 apresenta a distribuição dos documentos de patentes observados durante a pesquisa de acordo com seu país de origem. Nota-se que 32% do total dos documentos foram depositados nos Estados Unidos (US), aproximadamente, 190 documentos. No Brasil, (BR) foram depositados apenas 13 documentos de patentes, o equivalente a 2,22% do total da amostra. Nota-se, nesse caso, que, apesar da hegemonia mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar do Brasil, o protagonismo tecnológico nessa área concentra-se em países centrais como os EUA, Europa e China. Em parte, esse fato pode ser explicado, uma vez que a base científica para o desenvolvimento tecnológico do etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática está ligada a uma rede de tecnologias relacionadas às áreas de química, química orgânica, materiais biológicos (enzimas), biologia molecular, engenharia genética, entre outros.

Tratam-se de áreas do conhecimento dominadas, no contexto histórico, por firmas localizadas, criadas e desenvolvidas em países tecnologicamente industrializados. Diferentemente do que ocorre com o etanol de primeira geração, que apresenta um desenvolvimento científico amplamente difundido e consolidado no Brasil e em outros países do mundo. Nesse caso, a base do conhecimento científico é de domínio público e está relacionado com as áreas de metalurgia pesada e química básica, ou seja, no desenvolvimento de equipamentos metal mecânicos para processamento físico, separação, fermentação, destilação da cana-de-açúcar e de seus subprodutos,

QUADRO 3.2: Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca para todo o processo por país em que a invenção foi depositada (1974-2016)

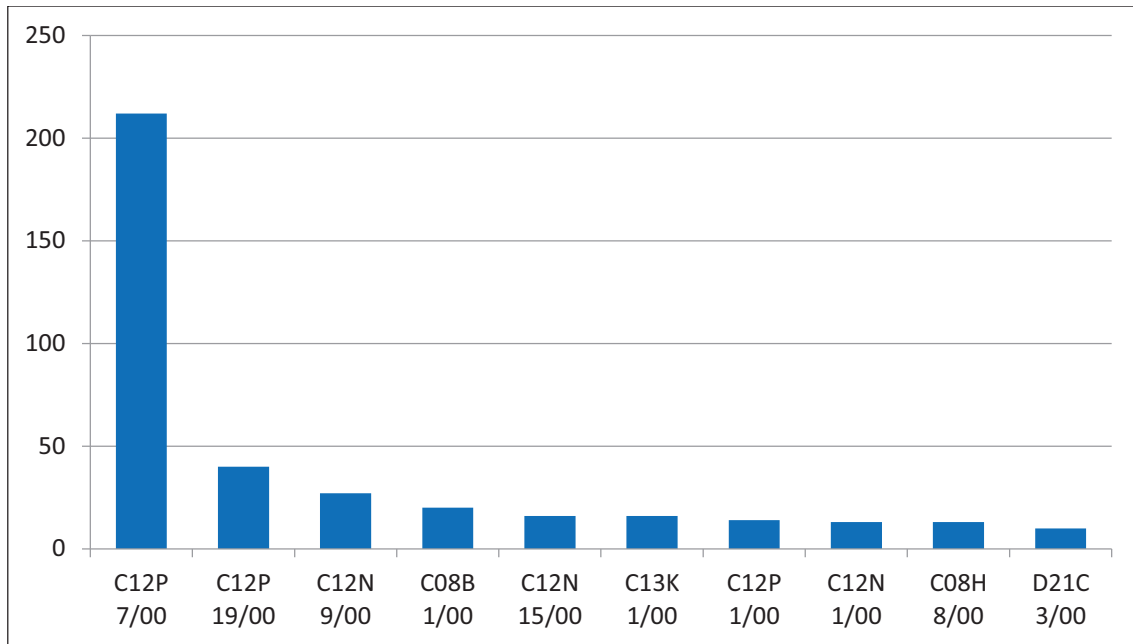


FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies* (2017).

O QUADRO 3.3 refere-se às principais classes de pedidos de patentes selecionadas na etapa de busca, segundo a Classificação Internacional de Patentes (CIPs), as principais classes enquadradas na pesquisa foram as associadas às seções C, referente à química e metalurgia (90% dos documentos buscados).

Dentro da seção C, a classificação de maior frequência foi a C12 (com 75% dos documentos levantados) que trata de bioquímica, cerveja, álcool, vinho, vinagre, microbiologia, enzimologia, engenharia genética ou de mutação. Ainda dentro da classe C12, nota-se que a maioria dos documentos levantados estão subclassificados basicamente em 2 categorias: C12N (12% dos documentos buscados) microorganismos ou enzimas; suas composições; propagação, preservação ou manutenção de microorganismos ou tecido; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura; C12P (60% dos documentos levantados) processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros óticos de uma mistura racêmica.

QUADRO 3.3: Distribuição dos documentos de patentes buscados em relação as principais classificações de patentes (1974-2016)



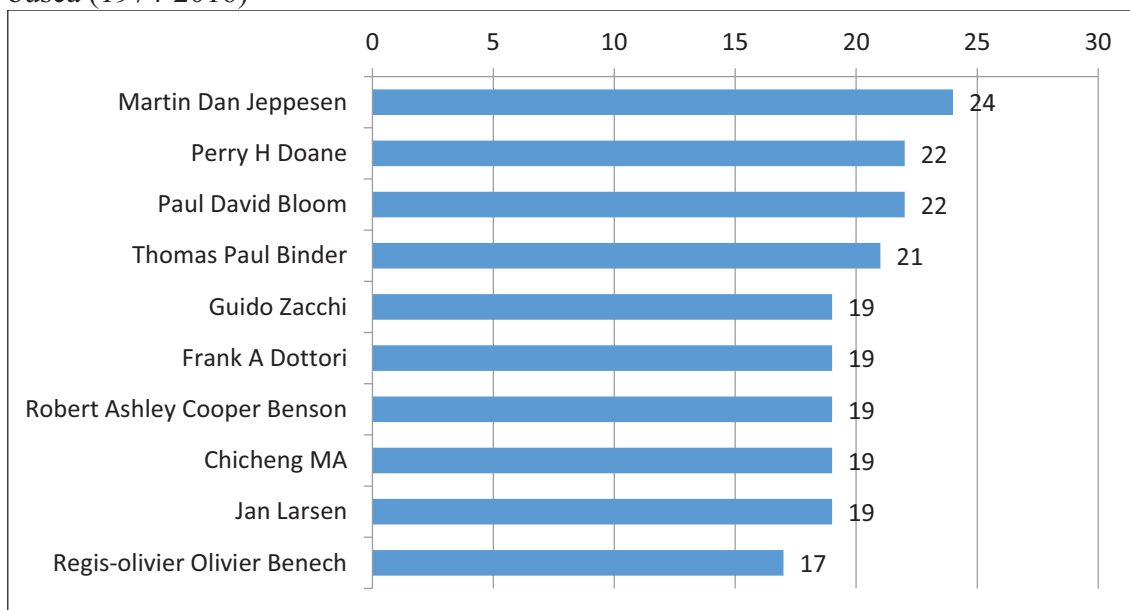
FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies* (2017).

Cabe ressaltar que a distribuição das nacionalidades dos depositantes não é capaz de identificar em quais países há maior desenvolvimento de pesquisas com SHF para etanol de segunda geração de cana-de-açúcar (assunto principal dos termos de busca pesquisados), pois muitas firmas que atuam neste mercado têm centros de pesquisa em países distintos.

A informação tecnológica presente em um documento de patente permite observar, com maior exatidão, os países com desenvolvimento tecnológico mais expressivo em um determinado setor, que é o “país de prioridade” desse documento, o qual representa o local onde foi efetuado o primeiro depósito de patente para a referida tecnologia no mundo.

Destacam-se, em relação aos inventores depositantes dos documentos de pedidos de patentes selecionados para este estudo (QUADRO 3.4), Martin Dan Jeppesen que apresenta com um total de 24 documentos; 22 documentos apresentam titulares como Perry H Doane e Paul David Bloom; e o quarto no *ranking* Thomas Paul Binder com 21 documentos. A busca realizada e apresentada no QUADRO 3.4 não permitiu a identificação de nenhum inventor brasileiro.

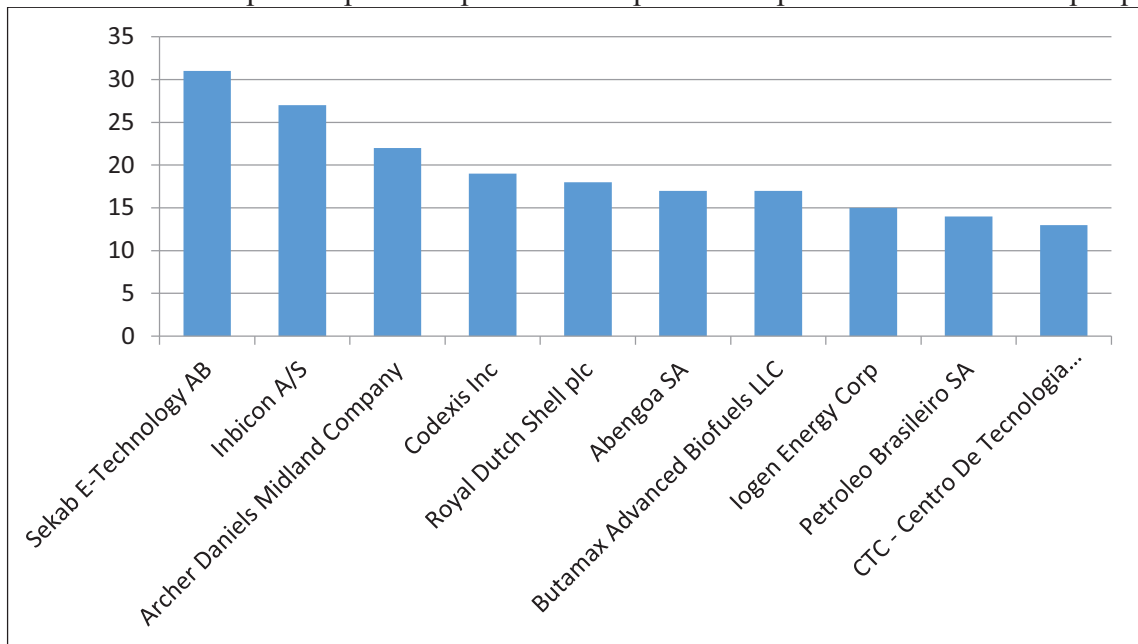
QUADRO 3.4: Principais inventores depositantes dos documentos de patentes levantados na busca (1974-2016)



FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies* (2017).

Quanto as firmas inscritas nos escritórios de proteção industrial como detentoras de pedido de documentos de patentes e que foram levantados nessa pesquisa, destacam-se Sekab E-Technology com 31 documentos, a Inbicon A/S com 27 e a Archer Daniels Midland Company com 22 documentos. Dentre as dez primeiras no *ranking*, aparece uma instituição brasileira, o CTC – Centro de Tecnologia Canavieira com 13 documentos.

QUADRO 3.5: Principais empresas depositantes de pedidos de patentes levantados na pesquisa



FONTE: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos do *Patent Strategies* (2017).

A *SEKAB* é uma firma de origem Sueca e atua, desde 1909, no desenvolvimento de tecnologia para a produção de etanol celulósico. Está classificada entre as cinco maiores desenvolvedoras do mundo em tecnologia nessa área e atua tecnologicamente em todas as etapas da produção de etanol celulósico de várias origens, entre elas, a da cana-de-açúcar. Detém a tecnologia de produção e comercializa em escala industrial cepas especiais de leveduras (enzimas) utilizadas para a decomposição em reatores das mais variadas matérias-primas celulósicas.

A *Inbicon A/S* é uma desenvolvedora de tecnologia líder mundial de conversão de biomassa lignocelulósica, trata-se de uma firma coligada a Dong Energy, um dos principais grupos de energia do norte da Europa. É especializada em tecnologia e *know-how* para converter biomassa não alimentícia em bioetanol de segunda geração e outros produtos bioquímicos. O início de suas atividades ocorreu, na Dinamarca, em 2007, como líder mundial no desenvolvimento e produção em larga escala de enzimas para vários segmentos produtivos, desde tratamento de efluentes urbanos e industriais até processamento de celulose em biorrefinarias.

Archer Daniels Midland Company é um conglomerado empresarial com base em Decatur, Illinois, opera mais de 270 fábricas em todo o mundo, atua nas áreas de produção, logística e comercialização de grão e outras *commodities* agrícolas e no desenvolvimento e produção de agentes bioativos de origem vegetal utilizados como matérias-primas para as

indústrias de alimentação, cosméticos, bebidas e de alimentos para animais. Por fim, opera plantas de produção de etanol celulósico de milho nos EUA e desenvolve junto a laboratórios independentes em todo o mundo, tecnologias para a produção de biocombustíveis de segunda geração.

O Centro de Tecnologia Canavieira – CTC foi fundado, em 1969, na cidade de Piracicaba/SP, inicialmente, como uma cooperativa de produtores de cana-de-açúcar, com o objetivo de desenvolver tecnologias para o setor sucroalcooleiro nacional. Atua em todas as áreas de suporte da agroindústria canavieira: i) agrícola no melhoramento e no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, entomologia, equipamentos para preparo do solo, plantio, tratos culturais, colheita e transporte; ii) industrial no desenvolvimento de equipamentos para recepção, pré-tratamento e processamento de cana-de-açúcar; fermentação e destilação de caldo; tecnologia para a produção de açúcar e etanol de primeira e segunda geração. Seu programa de etanol de segunda geração (E2G) foi iniciado, em 2006, e conta com uma planta piloto experimental e outra instalada em escala industrial produzindo, desde 2015.

3.3 Aplicação da metodologia proposta e análise dos resultados

Após a identificação e seleção da tecnologia e do produto, foi realizada a análise de prospecção tecnológica, apresentada no tópico 3.2 desta dissertação. A etapa seguinte consiste em desenvolver a análise morfológica, primeiramente, foi realizada a morfologia da tecnologia. Nessa etapa, selecionou as *dimensions* (dimensões) e os *shapes* (formas) para a tecnologia escolhida. Nota-se, na TABELA 3.2, que, em função das características da tecnologia escolhida, a estrutura morfológica montada foi baseada nas etapas de cada processo de produção do etanol. Assim, as 5 *dimension* (dimensões) da tecnologia corresponderam as 4 etapas do processo de fabricação do etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar: i) pré-tratamento da cana-de-açúcar; ii) hidrólise enzimática; iii) características e formas da fermentação; iv) destilação. Nota-se que as 2 *dimensions* (terceira e quarta) características da fermentação e formas da fermentação correspondem juntas a uma das etapas de fabricação, que é a fermentação.

TABELA 3.2 – Morfologia da tecnologia SHF

Dimensions	Shapes
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico
	Físico
	Químico
	Físico-Químico
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise
	Enzimas
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses
	Fermentação das pentoses
	Leveduras
Formas de fermentação	Batelada
	Semi-contínua
	Contínua
Destilação	Destilação
	Retificação
	Desidratação

FONTE: Elaborado pelo autor (2017).

Observa-se, na TABELA 3.2, que, diferente do artigo de Yoon *et al.* (2013), que foi base para a referência deste trabalho, alguns *shapes* selecionados não são facilmente relacionados ou identificados com uma palavra-chave que os represente. Assim, neste trabalho de dissertação, fez-se necessária uma adaptação da literatura com auxílio dos especialistas, a descrição representa os conceitos relacionados a *dimension* e que precisam ser traduzidos em palavras-chaves. Com o auxílio de especialistas, consulta a artigos científicos da área e ferramenta *Text Cluster*, foi realizada a etapa de mineração de texto para se obter as palavras-chaves que se identificam diretamente com todos os *shapes* relacionados. A TABELA 3.3 apresenta a morfologia da tecnologia completa, com as *dimensions*, *shapes* e *keywords* respectivos, segundo obtidos após a etapa de mineração de texto. Em todos os *shapes*, além das palavras-chave apresentadas na TABELA 3.3, foram utilizadas adicionalmente os termos que fazem referência a tecnologia: *SHF*, *separate*, *hydrolysis*, *fermentation*, *sugarcane*.

TABELA 3.3 – Morfologia da tecnologia SHF com as palavras-chaves

Dimensions	Shapes	Keywords
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	pretreatment, biological, diffusion, microorganisms, fungus, fungi
	Físico	pretreatment, physical, mechanical, milling, grind, crushing, chipping, extrusion, ultrasonic
	Químico	pretreatment, chemical, acid, alkaline, oxidative delignification, ionic liquids, organo solvents, ozonolysis
	Físico-Químico	pretreatment, physicochemical, mechanical-chemical, steam explosion, ammonia fiber explosion (AFEX), ammonia recycle percolation (ARP), carbon dioxide explosion, pressurized hot water (hydrothermal), liquid hot water (LHW), microwave
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	enzymatic hydrolysis, cell, genetic, cytotoxic
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	block, lock, inhibitors, enzymatic hydrolysis
	Enzimas	enzymatic hydrolysis, enzyme
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	enzymatic hydrolysis, vector, genetic, transformation, construct
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	fermentation, hexoses
	Fermentação das pentoses	fermentation, pentoses
	Leveduras	fermentation, yeasts
Formas de fermentação	Batelada	fermentation, discontinuous, batch, fed-batch
	Semi-contínua	fermentation, semicontinuous
	Contínua	fermentation, continuous
Destilação	Destilação	distillation, flegma, tower, continuous, simple
	Retificação	rectification, impurities, dross, aldehydes, esters, amines
	Desidratação	dehydration, cyclohexane, benzol, benzeno, molecular sieve

FONTE: Elaborado pelo autor com auxílio da ferramenta de mineração de texto *Text Cluster*, (2017).

Na primeira *dimension*, há o pré-tratamento para SHF, portanto, se faz necessário que cada *shape* dessa *dimension* utilize a palavra pré-tratamento (*pretreatment*). O objetivo principal do pré-tratamento da biomassa lignocelulósica é separar os componentes de biomassa, isto é, celulose, hemicelulose e lignina (MUKTHAM *et al.*, 2016).

O pré-tratamento é um passo fundamental do processo, e está relacionado com a eficiência da etapa de conversão bioquímica da biomassa lignocelulósica em bioetanol. É necessário alterar a estrutura da biomassa celulósica para tornar a celulose mais acessível às enzimas que convertem os polímeros de carboidratos em açúcares fermentáveis (MOSIER *et al.*, 2005). O processo de pré-tratamento é considerado uma das etapas com o maior custo na

conversão de matérias-primas lignocelulósicas para bioetanol e representa quase US\$ 0,30 / galão de etanol produzido (JOHN *et al.*, 2006)

Diversas técnicas para realização do pré-tratamento foram desenvolvidas, elas podem ser classificadas em quatro grupos: biológicos, físicos, químicos e físico-químicos. Esses grupos representam os *shapes* da *dimension* pré-tratamento.

QUADRO 3.6 – Tipos de pré-tratamento da biomassa utilizados na pesquisa

Biológicos	Físicos	Químicos	Físico-químico
<ul style="list-style-type: none"> • Micro-organismos (e.g. fungos white, brown, soft-rot, Actinomicetos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cominuição mecânica (e.g. picagem, moagem) • Extrusão (e.g. raios gama, micro-ondas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácida • Alcalina • Oxidativo • Líquidos iônicos • Organosolv • Ozonólise 	<ul style="list-style-type: none"> • Explosão a vapor • Explosão/expansão com amônia • Água quente pressurizada (processo hidrotérmico)

Fonte: Adaptado de Ortiz, (2016).

No tipo de pré-tratamento biológico, que corresponde ao *shape* de mesmo nome, utilizou-se as palavras-chaves: *pretreatment*, *biological*, *diffusion*, *microorganisms*, *fungus*, *fungi*. Conforme explicado anteriormente, a palavra *pretreatment* vai ser utilizada em todos os *shapes* associados a ela.

A palavra *biological* foi mencionada para fazer referência ao processo de pré-tratamento biológico. Esses são caracterizados pela utilização de fungos para solubilizar a lignina. Uma característica desse tipo de processo são os baixos rendimentos de produção e longos tempos de reação, pelo fato dos microorganismos serem intoxicados pelos derivados da lignina (HAMELINCK *et al.*, 2005).

O pré-tratamento com emprego de fungos foi, inicialmente, utilizado no processamento de materiais lignocelulósicos relacionados a produção de papel. Recentemente, esta abordagem recebeu nova aplicação como método de pré-tratamento para aumentar a sacarificação enzimática da biomassa lignocelulósica em processos de produção de bioetanol. Os pré-tratamentos biológicos empregam microorganismos, em especial, fungos *brown*, *white* e *soft-rot* que degradam lignina e hemicelulose, e muito pouco de celulose, mais resistentes do que os demais componentes (SÁNCHEZ, 2009). A degradação de lignina por fungos *white-rot*, se mostrou a mais eficaz para o pré-tratamento biológico de materiais lignocelulósicos, ocorre através da ação de enzimas que degradam a lignina (KUMAR *et al.*, 2009).

Por esta razão, também são empregados como palavras-chave no *shape* biológico: micro-organismos (*microorganisms*), fungos (*fungus* ou *fungi*). Os nomes dos fungos como *brown*, *white* e *soft-rot* não são empregados, pois estão sempre associados a palavra fungos (*fungus* ou *fungi*) e, por essa razão, não apresentaram interferência no resultado da busca nas bases de patentes.

No segundo *shape*, referente ao pré-tratamento físico, foram utilizadas as palavras físico (*physical*) e mecânico (*mechanical*) para caracterizar esse grupo de técnicas de pré-tratamento. O objetivo do pré-tratamento físico é a redução do tamanho de partícula e cristalinidade do material lignocelulósico para aumentar a superfície específica e reduzir o grau de polimerização.

Isto é usulamente realizado por uma combinação de equipamentos mecânicos que cortam (*chipping*), picam, moem (*grinding*) ou fresam (*milling*), dependendo do tamanho final da partícula do material celulósico, no caso, a cana-de-açúcar (SUN & CHENG, 2002). A energia requerida neste pré-tratamento é relativamente alta dependendo do tamanho final da partícula e das características da biomassa. Tendo em conta os elevados níveis de energia necessários para realizar a moagem e o aumento contínuo dos custos da mesma, é provável que este processo não seja economicamente viável (HENDRIKS & ZEEMAN, 2009). Além da moagem, outros processos fazem parte do grupo pré-tratamento físico e, por essa razão, também foram utilizados como palavras-chaves: extrusão (*extrusion*), pirólise (*pyrolysis*) e ultra-sônico (*ultrasonic*).

No processo de extrusão, os materiais são submetidos ao aquecimento (*heating*), mistura (*mixing*) e cisalhamento (*shearing*), resultando em modificações físicas e químicas, durante a passagem na extrusora (KARUNANITHY *et al.*, 2008).

No processo de pirólise (*pyrolysis*), o material lignocelulósico é aquecido a uma temperatura superior a 300°C e, nestas condições, a celulose é decomposta em compostos voláteis (como CO e H₂) e carvão residual. Este carvão é lixiviado na presença de ácido aquoso, e a solução restante é composta, principalmente, de glicose. Porém, durante esse processo, cerca de 50% da biomassa é perdida (SARKAR *et al.*, 2012; DAS P *et al.*, 2004).

O ultra-som (*ultrasonic*) é um método de pré-tratamento mecânico emergente e muito eficaz para melhorar a biodegradabilidade dos lodos. Esse procedimento melhora a digestibilidade dos lodos ao destruir suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Para o pré-tratamento químico, foram selecionados os seguintes termos que fazem referência às técnicas empregadas: *pretreatment, chemical, acid, alkaline, oxidative delignification, ionic liquids, organo solvente e ozonolysis*. Para este grupo, pertencem os pré-tratamentos, que são puramente iniciados por reações químicas para a ruptura da estrutura da biomassa celulósica da cana-de-açúcar (HARMSSEN *et al.*, 2010).

O pré-tratamento alcalino (*alkaline*) pode ser realizado a temperatura ambiente e tempos variando de segundos a dias. Causa menos degradação do açúcar do que o pré-tratamento com ácido e mostrou-se mais efetivo nos resíduos agrícolas do que nos materiais de madeira (KUMAR *et al.*, 2009).

No caso do pré-tratamento ácido (*acid*), este pode ser realizado com concentração ou diluição ácida, mas a utilização de ácido concentrado é menos atrativa para a produção de etanol devido à formação de compostos de inibição, que podem prejudicar e até mesmo inviabilizar a ação das enzimas na etapa seguinte de hidrólise e fermentação (WYMAN, 1996). O pré-tratamento com ácido diluído é realizado em altas temperaturas e pressão, e com tempo de reação rápida, com o intuito de facilitar o acesso a celulose durante a hidrólise enzimática (HENDRIKS & ZEEMAN, 2009).

Delignificação oxidativa (*oxidative delignification*) trata-se da delignificação da lignocelulose por agentes oxidantes como ozônio ou peróxido de hidrogênio (H₂O₂), sendo esse último o mais utilizado (BENSAH & MENSAH, 2013). Essa técnica de pré-tratamento possui diversas vantagens, tais como: a eficiência na remoção da lignina sem afetar a hemicelulose e a celulose, não apresenta geração de resíduos tóxicos e a reação realizar-se a pressão e temperatura ambiente, o que minimiza os custos de instalação (equipamentos) e de operação do sistema (KUMAR *et al.*, 2009).

De acordo com Sun e Cheng (2002), na ozonólise (*ozonolysis*), o ozônio é tratado como um poderoso oxidante que mostra alta eficiência de delignificação. Esta remoção da lignina promove uma efetiva melhora na eficiência na etapa seguinte de hidrólise enzimática. O pré-tratamento é normalmente realizado a temperatura e pressão ambiente, e não proporciona a formação de compostos inibidores que podem afetar a hidrólise e fermentação, que são as etapas subsequentes, o que impacta positivamente nos custos operacionais (GARCIA-CUBERO *et al.*, 2009).

O método com organosolventes (*organosolvation*) envolve a adição na biomassa de uma mistura de solventes orgânicos (aquoso ou não aquoso) com ou sem catalisadores, que podem

ser um ácido, uma base ou um sal. Esse processo rompe a ligação entre a lignina e a hemicelulose (BENSAH & MENSAH, 2013).

O pré-tratamento com líquidos iônicos (ionic liquids) como soveltes, para a biomassa da celulose da cana-de-açúcar, tem recebido bastante atenção. Trata-se basicamente de sais, tipicamente composto por grandes cátions orgânicos e pequenos ânions inorgânicos, que são adicionados na forma líquida em condições de pressão e temperatura ambiente. As propriedades dos solventes são ajustada,s conforme as necessidades do composto celulósico que se pretende tratar, variando com uma escala de ajuste os ânion e cátion desses sais (HAYES, 2009).

O quarto grupo da *dimension* pré-tratamento é o físico-químico (*physicochemical* ou *mechanical-chemical*) que utiliza métodos que combinam ação mecânica e química. Um dos pré-tratamento dessa categoria é o AFEX (*Ammonia Fiber Explosion*). Nele, ocorre adição da reatividade da fração celulósica, devido ao seu “inchamento”, combinado com hidrólise da hemicelulose e desintegração da fibra. Uma das desvantagens é a baixa solubilização das hemiceluloses e da lignina (FUENTES, 2009).

Outro processo importante que utiliza amônia é o ARP (*Ammonia Recycled Percolation*) indicado para madeira e resíduos agrícolas, porém é menos eficiente para madeira de fibra longa (GALB e ZACCHI, 2010). O ARP pode solubilizar a hemicelulose, mas a celulose permanece intacta. Isso leva a um material celulósico de cadeia curta e com teor de glucano, o que dificulta sua separação e utilização na etapa seguinte (YANG e WYMAN, 2008).

No pré-tratamento de explosão a vapor (*steam explosion*), é definido como auto-hidrólise, pode ser considerado um dos métodos mais empregados nos materiais lignocelulósicos. Suas características são a despressurização rápida e, no final do pré-tratamento, ocorre o resfriamento da biomassa, que origina a explosão da água da biomassa (ORTIZ, 2016).

Pelo fato de trabalhar em altas temperaturas, o processo de explosão a vapor (*steam explosion*) degrada a hemicelulose e a transforma em lignina. Os fatores que podem afetar a sua performance são tempo de residência, tamanho da partícula e teor de umidade (KUMAR *et al.*, 2009).

Outro processo utilizado é o da água quente pressurizada (*liquid hot water - LHW*), definido como um processo hidrotérmico, utiliza água quente pressurizada para solubilizar a hemicelulose, expor a celulose a ação das enzimas e evitar formação de inibidores do processo (ORTIZ, 2016). A pressão é aplicada para manter a água no seu estado líquido em elevadas

temperaturas (160-240 °C) e causar alterações na estrutura do material lignocelulósico (ALVIRA *et al.*, 2010).

Explosão de dióxido de carbono (*carbon dioxide explosion*) é outro processo empregado para o pré-tratamento da biomassa lignocelulósica. Ocorre, de maneira similar, ao processo do AFEX e é baseado na formação de ácido carbônico, a partir da reação do dióxido de carbono com a água. O aumento da pressão, durante a explosão, permite que as moléculas de dióxido de carbono penetrem na estrutura do material lignocelulósico (CANILHA *et al.*, 2012).

O pré-tratamento de micro-ondas (*microwave*) produz ondas eletromagnéticas que são transferidas para moléculas de água, gordura e açúcar. Depois de absorver essa energia, esses compostos vibram, gerando energia que aquece uniformemente toda a biomassa. Assim, o pré-tratamento de microondas tem um efeito semelhante aos pré-tratamentos que usam calor (CHATURVEDI, 2013). O pré-tratamento baseado em micro-ondas pode ser considerado um processo físico-químico, já que os efeitos térmicos e não-térmicos estão envolvidos (ALVIRA *et al.*, 2009).

Conforme descrito os processos do grupo físico-químico, as palavras-chaves selecionadas para identificação desse grupo foram: *pretreatment*, *physicochemical*, *mechanical-chemical*, *steam explosion*, *ammonia fiber explosion* (AFEX), *ammonia recycle percolation* (ARP), *carbon dioxide explosion*, *pressurized hot water* ou *liquid hot water* (LHW) e *microwave*.

A segunda *dimension* refere-se ao processo de hidrólise enzimática (*enzymatic hydrolysis*), que é exatamente a etapa seguinte ao processo de pré-tratamento já descrito. Sem o processo de pré-tratamento, a eficiência da hidrólise é inferior a 20%, com ele, a sua performance fica acima dos 90% (HAMELINK *et al.*, 2005). A hidrólise enzimática tem sido a abordagem de preferência na aplicação industrial em biomassa celulósica de cana-de-açúcar pelo fato de trabalhar em condições amenas (temperatura 50-60°C e pH 4,5-5,5); proporcionar uma alta eficiência de extração; e redução no consumo de utilitários. Além disso, a hidrólise enzimática reduz a formação de inibidores de fermentação e a corrosão de equipamentos, assuntos comuns no processo de hidrólise ácida (EL-ZAWAWY *et al.*, 2011).

Considerando os processos sequenciais hidrólise e fermentação, é relevante o fato de ocorrer inibição de enzimas da hidrólise para a fermentação, o que justifica o desafio tecnológico nas áreas de aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva e moléculas bloqueadoras (DAL POZ & SILVEIRA, 2015).

Sendo assim, para o *shape* referente aos aspectos citotóxicos do metabolismo da célula foram definidas as seguintes palavras-chaves: hidrólise enzimática (*hydrolysis enzymatic*), células (*cell*), genética (*genetic*) e citotóxico (*cytotoxic*).

Referente ao *shape* de moléculas bloqueadoras (*lock or block*) de hidrólise (*hidrólise*), pode-se retratar sobre a formação dos inibidores (*inhibitors*). As altas temperaturas utilizadas no pré-tratamento químico degradam os açúcares gerados e resulta a formação de compostos que podem interferir nas etapas posteriores de fermentação e hidrólise (SANTOS, 2012).

Uma das desvantagens do processo SHF é a inibição das enzimas e a possibilidade de contaminação, pelo fato do tempo de duração da etapa de hidrólise ser considerado longo e, assim, a solução de açúcares torna-se uma fonte ao ataque de microrganismos indesejados. As próprias enzimas podem se tornar um componente de contaminação (TAHERZADEH & KARIMI, 2007).

Por esta razão, para esse *shape*, além das palavras que caracterizam a *dimension* hidrólise enzimática (*enzymatic hydrolysis*), foram definidas as seguintes palavras-chaves: *lock*, *block* e *inhibitor*.

Referente ao *shape* enzimas (*enzymes*), já foi apresentada sua importância no processo de hidrólise enzimática, ficou com as seguintes palavras-chave: *enzymatic hydrolysis*, *enzyme*.

Com o objetivo de reduzir o fator de inibição de enzimas nos processos de hidrólise e fermentação, existe a necessidade de estudo intensivo em ciência, principalmente, genética evolutiva, sendo assim, os agentes fermentadores devem ser desenvolvidos de maneira que a produtividade enzimática seja satisfatória nas circunstâncias descritas (DAL POZ & SILVEIRA, 2015).

Esse fato justifica o quarto *shape* da *dimension* hidrólise enzimática, e nos permite elencar os seguintes termos como palavras-chaves: *hydrolysis*, *vector*, *genetic*, *transformation* e *construct*.

As duas *dimensions* seguintes estão vinculadas a etapa da fermentação (*fermentation*) da hidrólise enzimática. Na fermentação, hexoses e pentoses são convertidas para etanol por intermédio da fermentação de microrganismos. Fermentação de microrganismos são usados para a conversão de açúcar para etanol. Diferentes organismos como bactéria, leveduras (*yeast*) e fungos podem ser usados para a fermentação, entretanto, o organismo utilizado com maior frequência é a levedura (*yeast*) *Saccharomyces cerevisiae* (GALBE e ZACCHI, 2002).

Segundo Dal Poz e Silveira (2015) e Santos (2012), a fermentação dos açúcares C5 (pentose) e C6 (hexose) está fortemente ligada com o processo SHF, portanto, pode-se retratar que também são utilizados açúcares deixados como resíduos na fermentação por agentes tradicionais. Esse tipo de fermentação permite um aumento de 45% nos ganhos de produtividade, em escala laboratorial.

Portanto, na *dimension*, características da fermentação, em cada *shape*, irão aparecer a palavra fermentação (*fermentation*), acrescida da palavra que identifica cada um dos shapes, são eles: hexose (*hexose*), pentose (*pentose*) e levedura (*yeast*).

A próxima *dimension* trata das técnicas que podem ser realizadas na fermentação (*fermentation*) dentro do processo SHF. No Brasil, a maioria dos processos de produção industrial de etanol, a partir da cana-de-açúcar em grande escala, ocorre em processos fermentativos em batelada e contínuos (PACHECO, 2010).

O primeiro *shape* da *dimension* formas da fermentação apresenta a fermentação descontínua (*discontinuous fermentation*) ou também conhecida como batelada (*batch* ou *fed-batch*). O processo descontínuo, normalmente, é utilizado como base para comparações de performance com relação a outros processos, sua baixa eficiência estimulou o desenvolvimento de alternativas (CARVALHO e SANTO, 2001).

Na fermentação semi-contínua (*semicontinuous* ou *semi-continuous*), com exceção do início do processo, não há a necessidade de ter uma dorna separada para o inóculo, e não existe a necessidade de muito controle de lavagem das dornas. Existe um alto risco de contaminação devido as operações manuais e longos períodos de cultivo (NAVES *et al.*, 2010). No processo contínuo (*continuous fermentation*), o volume da reação é mantido, uma vez que a dorna é alimentada continuamente, estabelecendo-se uma velocidade para a atuação das culturas em função de uma vazão pré-estabelecida do caldo (FACCIOTTI, 2001).

Segundo Cysewski e Wilke (1978, apud PALMQVIST *et al.*, 1999), estudos de projeto de processo de fermentação do melaço mostraram que o custo de investimento foi reduzido consideravelmente com a fermentação contínua (*continuous fermentation*), quando comparado com a fermentação descontínua, e que é possível aumentar a produtividade etanólica em mais de 200%.

Portanto, no caso da *dimension*, formas de fermentação, as palavras-chaves de cada *shape* representam cada uma das técnicas de fermentação.

A quinta *dimension* se refere ao processo de destilação (*distillation*), conforme já descrito, trata-se de uma etapa comum na manufatura do etanol de primeira e segunda geração. Segundo Neto (2009), a destilação é considerada um processo de separação da mistura etanol-água, sendo que também pode-se destacar a desidratação (*dehydration*). A configuração mais empregada da destilação, nas usinas brasileiras, utiliza cinco torres de destilação (*distillation towers*) e é empregada para a produção do etanol hidratado (AEHC). Uma das torres é utilizada para enriquecimento e retificação (*rectification*) da flegma (*flegma*).

A desidratação é utilizada para a produção de etanol anidro (AEAC). Na indústria canavieira brasileira, os métodos mais empregados são: destilação azeotrópica com ciclohexano (*cyclohexane*), destilação extrativa e adsorção em peneiras moleculares (*molecular sieves*) (NETO, 2009).

Conforme Meirelles (2006), no início a destilação azeotrópica, ao invés de ciclohexano, utilizava benzeno que, posteriormente, foi proibido devido ao seu potencial cancerígeno. Por essa razão, as palavras-chaves escolhidas foram: *benzeno* e *benzol*, que são utilizadas para caracterizar o *shape* referente à desidratação.

Com as palavras-chaves definidas, foi elaborado a estratégia de busca para encontrar a quantidade de patentes relativas a cada *shape* definido na morfologia da tecnologia. A TABELA 3.4 apresenta, de forma detalhada, as sintaxes de buscas utilizadas para o levantamento dos documentos de patentes relacionados com cada *shape* escolhido previamente.

TABELA 3.4 – Estratégia de busca para a determinação da morfologia da tecnologia SHF

Dimension	Shape	Syntax
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	pretreatment AND (biologic* OR diffusion OR microorganisms OR fungus OR fungi)
	Físico	pretreatment AND (physic* OR mechanic* OR milling OR grind OR crushing OR chipping OR extrusion OR ultrasonic)
	Químico	pretreatment AND (chemic* OR acid OR alkaline OR oxidative OR delignification OR (ionic AND liquid*) OR (organo AND solvent*) OR ozonolysis)
	Físico-Químicos	pretreatment AND (physicochemic* OR (mechanic* AND chemic*) OR (steam AND explosion) OR (ammonia AND fiber AND explosion) OR AFEX OR (ammonia AND recycle AND percolation) OR ARP OR (carbon AND dioxide AND explosion) OR (pressur* AND hot AND water) OR hydrotherm*)
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	hydroly* AND cell AND genetic AND cytotoxic
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	(block OR lock OR inhibitors) AND hydroly*
	Enzimas	hydroly* AND enzyme
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	hydroly* AND vector* AND genetic* AND (transformat* OR construct*)
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	fermentation AND hexoses
	Fermentação das pentoses	fermentation AND pentoses
	Leveduras	fermentation AND yeasts
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	fermentation AND (discontinuous OR batch OR (fed AND batch))
	Semi-continua	fermentation AND (semicontinuous OR semi-continuous)
	Continua	fermentation AND continuous
Destilação	Destilação	distillation AND (flegma OR tower OR continuous OR simple)
	Retificação	rectification AND (impurities OR dross OR aldehydes OR esters OR amines)
	Desidratação	dehydration AND (cyclohexane OR benzol OR benzeno OR (molecular AND sieve))

FONTE: Elaborado pelo autor, (2017).

Assim, como foi feito para a tecnologia, a morfologia do produto foi elaborada com auxílio de um especialista. O produto escolhido, etanol de segunda geração produzido a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática, apresenta características de *commodity* e não possibilita montar a sua estrutura morfológica com diversas *dimensions* e *shapes*. Por isso, a estrutura morfológica do produto ficou estruturada somente com as configurações do produto

disponíveis no mercado. Da mesma maneira que foi feito na morfologia do produto, identificaram-se as palavras-chaves para cada *shape* (TABELA 3.5), assim como a sua estratégia de busca (TABELA 3.6).

TABELA 3.5 – Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico

Dimension	Keywords
Anidro	anhydrous, ethanol, bioethanol
Hidratado	hydrated, hydrous, ethanol, bioethanol
Industrial	industrial, ethanol, bioethanol

FONTE: Elaborado pelo autor, (2017).

A tabela 3.6 apresenta a estratégia de busca para cada *shape* da morfologia do produto.

TABELA 3.6 – Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico – estratégia de busca

Dimension	Keywords	Syntax
Anidro	anhydrous, ethanol, etanol, bioetanol, bioethanol	anhydrous AND (ethanol OR bioethanol)
Hidratado	hydrated, hydrous, ethanol, etanol, bioetanol, bioethanol	(hydrated OR hydrous) AND (ethanol OR bioethanol)
Industrial	industrial, ethanol, etanol, bioetanol, bioethanol	industrial AND (ethanol OR bioethanol)

FONTE: Elaborado pelo autor, (2017).

Somente após essas etapas iniciais, foi possível gerar os primeiros resultados, apresentados na tabela 3.7. Utilizando a estratégia de busca elaborada para cada *shape* na morfologia da tecnologia SHF, encontraram-se a quantidade de documentos de patentes para cada um deles.

TABELA 3.7 – Quantidade de patentes para cada *shape* da tecnologia

Dimension	Shape	Patents
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	176
	Físico	199
	Químico	339
	Físico-Químicos	176
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	89
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	33
	Enzimas	578
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	24
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	71
	Fermentação das pentoses	75
	Leveduras	408
Formas de fermentação	Batelada	12
	Semi-contínua	27
	Contínua	322
Destilação	Destilação	2
	Retificação	7
	Desidratação	7

Fonte: Dados obtidos pelo autor a partir de pesquisa com termos de busca no *Patent Strategist*, (2017).

Nessa etapa, pode-se realizar algumas considerações importantes com relação ao resultado obtido, para cada *dimension*, pode-se destacar os *shapes*, que aparecem com uma quantidade significativa no número de patentes, e pode-se analisar cada um deles separadamente.

Considerando que a análise se refere ao processo de etanol de segunda geração a partir da cana de açúcar e como referência a via tecnológica SHF, sendo que a hidrólise e a fermentação são realizadas separadamente. Para a primeira dimensão que diz respeito a etapa de pré-tratamento, fica evidenciado que o processo com maior maturidade de desenvolvimento é o químico, pelo fato de apresentar uma quantidade de patentes muito significativa quando comparada com os demais tipos (339 documentos de patentes).

Na *dimension* seguinte, que trata especificamente da hidrólise enzimática, destaca-se, de maneira clara, que uma das principais preocupações no seu desenvolvimento tecnológico são os *shapes* relacionados as tecnologias para o desenvolvimento de enzimas. As *dimensions* sobre o processo de fermentação destacam-se os *shapes* referentes a leveduras e ao processo de fermentação contínua.

Com relação a *dimension* destilação, o número pequeno de documentos de patentes em todos os *shapes* foi muito baixo, o que comprova a baixa interação desse processo na tecnologia SHF.

A TABELA 3.8 apresenta o resultado da estratégia de busca de patentes que utiliza as palavras-chaves referentes a morfologia do produto e da tecnologia. Fica evidente que a interação entre os tipos de produto e a morfologia da tecnologia é maior no caso do produto etanol industrial, muito provável pelo fato de sua aplicação ser mais abrangente do que os outros dois tipos, anidro e hidratado. Essa abrangência deve-se ao fato de que são vários os setores produtivos que utilizam etanol (álcoois), de diferentes especificações técnicas, como matéria-prima básica, destacando desde alimentos, bebidas, química entre outras.

TABELA 3.8 – Busca com termos da morfologia do produto e tecnologia

Dimension	Shape	Etanol lignocelulósico		
		Anidro	Hidratado	Industrial
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	4	11	92
	Físico	5	7	98
	Químico	5	13	121
	Físico-Químicos	4	12	73
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	5	4	47
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	5	5	23
	Enzimas	9	19	160
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	2	1	19
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	1	1	25
	Fermentação das pentoses	3	1	34
	Leveduras	14	19	128
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	1	1	2
	Semi-contínua	1	1	3
	Contínua	15	29	107
Destilação	Destilação	0	1	2
	Refiticação	0	2	6
	Desidratação	3	4	7

Fonte: Dados obtidos pelo autor a partir de pesquisa com termos de busca no *Patent Strategiest*, (2017).

Pode-se verificar, de maneira geral, que em todos os casos, o índice de associação é sempre maior quando se refere a *dimension* do produto etanol do tipo industrial. O mesmo pode ser observado, na TABELA 3.8, em que a *dimension* do produto etanol industrial apresenta-se com maior número de documentos de patentes levantados durante a pesquisa, está justamente mais associado com os *shapes* da tecnologia.

A TABELA 3.9 apresenta o resultado do cálculo da EQUAÇÃO 1, referente o índice de associação entre cada *shape* da tecnologia com o tipo de produto. Os resultados apresentados referem a relação de correspondência entre as formas (*shapes*) na tecnologia existente e as três dimensões (*dimension*) da morfologia do produto. Quanto maior o valor o número relacionado

em cada célula, maior é o grau de correspondência e melhor o vínculo de associação entre o *shape* da tecnologia com o produto em análise.

Os resultados apresentados, na TABELA 3.8, indicam uma constatação óbvia, por se tratar de um estudo cujo objeto central de análise é etanol de cana-de-açúcar, a partir da rota hidrolítica enzimática. Era de se esperar de que o levantamento patentográfico indicasse um número considerável de documentos de patentes relacionados a enzimas na busca. Nota-se o *shape* enzima e enzima para celulose na *dimension* hidrólise enzimática da celulose, apresentaram os maiores números de documentos de patentes levantados na busca, principalmente, para a variante do produto (*dimension*) etanol industrial. Outro ponto a se destacar é o *shape* contínua, que está relacionado a tecnologia de fermentação contínua, uma variante da *dimension* formas de fermentação da morfologia de tecnologia. Nota-se um número elevado de documentos de patentes relacionados a esse *shape*: 15, quando associado ao variante do produto etanol anidro; 29 do hidratado; e 107 para o etanol industrial. Esse resultado indica um potencial de desenvolvimento de novas tecnologias na área de fermentação.

Outra análise que pode ser realizada é verificar o grau de associação de cada tipo de produto estudado, qual o *shape* que apresenta maior índice em cada *dimension* da tecnologia. A TABELA 3.9 apresenta, de maneira esquematizada, esses valores, o objetivo é verificar qual o método mais desenvolvido tecnologicamente em cada etapa do processo para cada tipo de produto.

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

TABELA 3.9 – Relação entre as análises da morfologia da tecnologia e do produto

Dimension	Shape	Etanol lignocelulósico		
		Anidro	Hidratado	Industrial
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	0,02273	0,06250	0,52273
	Físico	0,02513	0,03518	0,49246
	Químico	0,01475	0,03835	0,35693
	Físico-Químico	0,02273	0,06818	0,41477
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	0,05618	0,04494	0,52809
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	0,15152	0,15152	0,69697
	Enzimas	0,01571	0,03316	0,27923
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	0,08333	0,04167	0,79167
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	0,01408	0,01408	0,35211
	Fermentação das pentoses	0,04000	0,01333	0,45333
	Leveduras	0,03431	0,04657	0,31373
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	0,08333	0,08333	0,16667
	Semi-contínua	0,03704	0,03704	0,11111
	Contínua	0,04658	0,09006	0,33230
Destilação	Destilação	0,50000	0,00000	1,00000
	Retificação	0,28571	0,0000	0,85714
	Desidratação	0,42857	0,57143	1,00000

Fonte: Dados obtidos pelo autor, (2017).

Analisando cada *dimension* a partir dos seus respectivos *shapes*, em relação a cada um dos três produtos estudados, pode-se apontar qual *shape* apresenta o maior número de documentos de patentes para cada produto. Essa análise pode dar um indicativo dentre as principais linhas de pesquisas e desenvolvimento, quais as que se destacam para cada produto analisado. Analisando a *dimension* pré-tratamento, nota-se que o *shape* físico apresenta uma maior associação, em função de um maior número de documentos de patentes depositados, com o produto etanol anidro. O *shape* físico-químico é uma referência direta ao pré-tratamento físico-químico, apresenta maior associação ao produto etanol hidratado, e o *shape* referente ao processo de pré-tratamento biológico ao produto etanol industrial.

Cruzando as informações da *dimension* hidrólise e dos seus respectivos *shapes*, pode-se concluir que existe uma maior interação tecnológica do *shape* moléculas bloqueadoras de hidrólise, tanto com o produto etanol anidro quanto etanol hidratado. Para o produto etanol industrial, apresentou-se mais associados ao *shape* relacionado a vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores.

Na *dimension* características da fermentação, o *shape* Fermentação das pentoses apresentou maior associação com as *dimension* dos produtos etanol anidro e etanol industrial. O *shape* leveduras apresentou maior interação tecnológica com o etanol hidratado. Quando analisa-se a *dimension* formas de fermentação da morfologia da tecnologia, nota-se que o *shape*,

que representa o método de fermentação contínua, o mais utilizado e desenvolvido tecnologicamente apresenta uma maior associação com as *dimensions* etanol hidratado e industrial da morfologia do produto.

Por fim, a *dimension* destilação, da morfologia da tecnologia, apresentou células na TABELA 3.9 com valor igual a zero quando se mediu o grau de interação entre os *shapes* destilação e retificação, com a *dimension* etanol hidratado da morfologia do produto. Isso deve-se ao fato de que, durante o processo de fabricação de etanol hidratado, a etapa de desidratação e retificação em torres não ocorrem.

Nota-se que a *dimension* destilação, para todas as suas variantes (*shapes*), relaciona-se as 3 *dimension* dos produtos. Apresenta um número pequeno de documentos (Tabela 3.8), isso se deve ao fato de que os termos de busca montados incluem necessariamente o termo SHF em todas as sintaxes, com o objetivo de restringir a busca a documentos relacionados à tecnologia em estudo. O fato é que a destilação é uma etapa a parte da tecnologia utilizada, seja SHF ou outra, e que independe até mesmo da rota escolhida, sendo utilizada inclusive para produção de etanol de primeira geração (1G). Por isso, esse baixo número de documentos que relacionasse diretamente destilação como *dimension* da tecnologia SHF e a baixa capacidade de análise e conclusão, quando calculado o índice de interação entre os *shapes* da *dimension* destilação na morfologia da tecnologia com as *dimensions* da morfologia do produto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicialmente proposto para este trabalho de dissertação foi de identificar qual é a tendência tecnológica da produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar através da rota hidrolítica enzimática. Para tanto, foi proposto um referencial metodológico, com base em um estudo já consolidado e confirmado cientificamente. Porém, devido a divergências estruturais entre o produto definido nesse estudo - etanol de segunda geração produzido a partir da cana-de-açúcar pela hidrólise enzimática – e o originalmente proposto por Yoon *et al.* (2013) na metodologia que serviu como base referencial.

Um dos objetivos parciais deste trabalho foi o de identificar, dentro dos 4 padrões tecnológicos que se utiliza da rota hidrolítica enzimática, qual encontra-se na vanguarda, em termos do seu estágio de desenvolvimento para a produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar. Inicialmente, a escolha do método para a definição de tal objetivo parcial levantou dúvidas, uma vez que alguns métodos de análise não permitiriam identificados de maneira afirmativa qual a tecnologia é “vencedora”.

Assim, a fim de solucionar essa questão, optou por um ferramental metodológico analítico-quantitativo, realização de um estudo de prospecção com a finalidade de identificar quantitativamente qual das 4 tecnologias era mais referenciada em documentos de patentes. A resposta obtida, tecnologia SHF, foi ao encontro da hipótese a princípio levantada, confirmando-se assim, as expectativas dos especialistas consultados e das informações iniciais levantadas na etapa de mineração de texto feita nos artigos científicos pesquisados.

Determinado que a tecnologia em questão, foco deste trabalho seria a SHF, foi realizado um breve estudo analítico com o objetivo de caracterizar, de maneira geral, os documentos de patentes levantados para a tecnologia escolhida. É importante destacar que o processo de P&D de etanol de segunda geração é uma trajetória tecnológica emergente, no entanto, já é possível observar a presença de grandes empresas de biotecnologia atuando como *players* importantes no mercado. Isso pode ser constatado na análise de prospecção dos documentos de patentes realizada. Dentre essas firmas, destacaram as de capital originado, no Norte da Europa, nos EUA e uma do Brasil.

De maneira geral, as firmas do Norte da Europa que se destacaram na busca de documentos de patentes como importantes desenvolvedoras de tecnologias para a produção de

etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar, podem ser caracterizadas como centros de pesquisa ligados a mais de um conglomerado produtivo. Essas firmas iniciaram originalmente seus estudos, e conquistaram conhecimento científico de ponta para a produção de etanol, a partir de biomassa resultante da indústria madeireira, e migraram mais recentemente suas pesquisas para biomassa de gramíneas e cana-de-açúcar. Suas pesquisas, na atualidade, focam substancialmente área de bioquímica e genética, concentrando recursos no desenvolvimento da capacidade de reprodução de diferentes cepas de enzimas capazes de realizar hidrólise (digerirem celulose) de origem e com características estruturais diferenciadas, em ambientes com condições adversas.

As firmas dos EUA identificadas na pesquisa como desenvolvedoras de tecnologia na área em questão podem ser classificadas em dois grandes grupos: i) indústria de petróleo, gás e energia; ii) e os conglomerados industriais multi-setoriais. O segundo grupo, tratam-se de firmas que originalmente atuavam exclusivamente na produção, transporte e comercialização de *commodities*, basicamente, grãos, depois se tornaram grande processadores de alimentos e proteínas e, na sequência, desenvolvedores de tecnologia, principalmente, insumos de alto valor agregado, para a indústria de alimentos, cosméticos, química etc. Dentre esses insumos, destacam-se produtos desenvolvidos nas área de compostos funcionais para a indústria de alimentos; concentradores proteicos e aditivos para a produção de ração animal; e enzimas para as mais diversificadas aplicações, inclusive hidrólise de biomassa de milho e cana-de-açúcar para produção de etanol combustível.

Por fim, a principal firma desenvolvedora de tecnologia para produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática listada na busca e com origem brasileira foi o Centro de Tecnologia Canavieiro (CTC). O CTC iniciou suas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias para o setor sucroalcooleiro nacional, na década de 1970, e foi originalmente criado em um ambiente produtivo desfocado do mercado. O setor sucroalcooleiro nacional, naquela época, e até meados de 1990, apresentava-se em um ambiente fortemente regulado pelo Estado (através do IAA), com eficiência produtiva e competitividade não sendo prioridades entre fabricantes de açúcar e etanol, que se aproveitaram de um mercado regulado por cotas de produção e com preços controlados.

Assim, entre os anos de 1970 e 1990, pode-se afirmar que existiam um número pequeno de fabricantes nacionais de bens de capital para o setor sucroalcooleiro e estes concentravam suas produções em produtos com baixo desenvolvimento tecnológico, empregando largamente engenharia reversa e replicando tecnologia de domínio público. Nesse ambiente, o CTC era

praticamente o único desenvolvedor de tecnologia, e concentrou seus esforços basicamente em duas áreas: i) na melhoria e desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar mais aplicadas as condições do país; ii) e na “adaptação” equipamentos de origem internacionais para as especificidades do parque fabril sucroalcooleiro nacional.

O objetivo aqui não é analisar as decisões estratégicas adotadas pelo CTC, ao longo de sua história, nem avaliar os erros e acertos da sua política tecnológica. O importante é contextualizar que, durante o período analisado, e, até meados da 2014, a produção de etanol, no Brasil, era exclusivamente realizado pela rota tecnológica de primeira geração (1G). Essa rota apresenta base tecnológica focada nas áreas de metalurgia e química básica e encontra-se praticamente esgotada em termos de possibilidade de melhoria na sua eficiência e é nessa rota que o CTC investiu, até meados da década de 2000, seus esforços de conhecimento acumulado e no desenvolvimento tecnológico.

A produção de etanol celulósico (rota de segunda geração 2G), independente da biomassa (cana-de-açúcar, gramíneas, cereais ou madeira), foca seu desenvolvimento tecnológico nas áreas de apoio, tais como: bioquímica, engenharia genética e química orgânica. Uma matriz básica de conhecimento científico totalmente diferente do etanol de primeira geração (1G), e que o CTC começou a se aproximar, a partir da década de 2000, diferentemente, dos desenvolvedores do Norte da Europa. Isso, em parte, explica o reduzido número de documentos de patentes, especificamente relacionado, à produção de etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar, depositado pelo CTC, mais recentemente.

Na etapa final, foi aplicada a metodologia com o objetivo de verificar qual a tendência tecnológica SHF para a produção de etanol de segunda geração de cana-de-açúcar pela rota hidrolítica enzimática. A metodologia utilizada, como já descrito anteriormente, foi adaptada de Yoon *et al.* (2013) e, em diversas etapas, necessitou de auxílio de um especialista que, de fato, auxiliou no andamento do processo e orientação da pesquisa em elaboração. Em alguns casos, a dependência de especialistas pode dificultar o andamento da pesquisa, elevar o seu custo ou até mesmo inviabilizar o seu prosseguimento. Finalizada a pesquisa, concluiu-se que esforços deverão ser empenhados, para que se modifique a metodologia utilizada, de maneira que diminua a dependência de especialistas, ao longo de sua operacionalização. Pode-se chegar a essa conclusão, a partir de um estudo de fluxo e tempo realizado ao final desse trabalho. O estudo analisou cada etapa descrita e operacionalizada na metodologia, determinando todos os atores fundamentais envolvidos e o tempo estimado para realização de cada etapa do processo, conforme apresentado na TABELA 4.1.

TABELA 4.1 – Fluxograma da metodologia empregada

Etapa	Descrição	Atores	Tempo (dias)	Ferramentas
1	Seleção do produto	Pesquisador e especialista	1	
2	Seleção da tecnologia	Pesquisador e especialista	1	
3	Análise morfológica do produto	Pesquisador e especialista	14	
4	Análise morfológica da tecnologia	Pesquisador e especialista	14	
5	Mineração de texto	Pesquisador	1	Text-cluster
6	Seleção das palavras-chave	Pesquisador e especialista	14	
7	Elaboração da estratégia de busca	Pesquisador	2	Lógica de busca de patentes (AND, OR)
8	Busca de documentos no banco de patentes	Pesquisador	2	Patent Strategies
9	Análise dos resultados obtidos para morfologia da tecnologia	Pesquisador e especialista	14	
10	Busca de patentes para cada interação entre tecnologia e produto	Pesquisador	2	Patent Strategies
11	Calculo do índice de associação entre tecnologia e produto	Pesquisador	2	Planilha elaborada no excel
12	Análise dos resultados obtidos	Pesquisador e especialista	14	

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

As informações de patentes, mineração de texto e análise de morfologia do produto e da tecnologia foram utilizadas para determinar qual é a tendência tecnológica da produção de etanol de segunda geração, a partir do processamento de cana-de-açúcar através da rota hidrolítica enzimática.

Pode-se concluir, de maneira geral, que o método utilizado apontou, com certo grau de assertividade, aquilo que se esperava e que foi, inicialmente, proposto como objetivo desse trabalho. Os dados apresentados evidenciaram que a interação entre os tipos de produto e a morfologia da tecnologia é maior no caso do produto etanol industrial, muito provável pelo fato de sua aplicação ser mais abrangente do que os outros dois tipos, anidro e hidratado.

Quando analisado a partir dos resultados da morfologia da tecnologia e *dimension* hidrólise enzimática da celulose, ficou evidente que o *shape* enzima e enzima para celulose apresentaram os maiores números de documentos de patentes levantados na busca, principalmente, para a variante do produto (*dimension*) etanol industrial. Uma constatação direta, uma função do objeto de estudo do trabalho ser uma tecnologia relacionada a uma rota enzimática de produção de etanol.

Pode-se concluir, quando analisado na morfologia da tecnologia *dimension* pré-tratamento, que o *shape* físico apresentou uma maior associação com o produto etanol anidro. O *shape* físico-químico uma referência direta ao pré-tratamento físico-químico, apresentou maior associação ao produto etanol hidratado, e o *shape* referente ao processo de pré-tratamento biológico ao produto etanol industrial.

Cruzando as informações da *dimension* hidrólise e dos seus respectivos *shapes*, pode-se concluir que existe uma maior interação tecnológica do *shape* moléculas bloqueadoras de hidrólise tanto com o produto etanol anidro, quando etanol hidratado. Para o produto etanol industrial, apresentou-se mais associações com o *shape* ligado aos vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores.

Por fim, em todos os processos analisados, identificou-se a presença de patentes relacionadas a enzimas, fato que revela a importância que o desenvolvimento tecnológico na busca por novas cepas mais eficientes têm para a viabilidade comercial do etanol de segunda geração, a partir da rota hidrolítica enzimática. O desenvolvimento tecnológico na área de bioquímica e de engenharia genética apresentam-se como alternativa para essa melhoria de eficiência. Tanto para o desenvolvimento de microrganismos capazes de fermentar as pentoses e hexoses simultaneamente, quanto na obtenção de variedades de plantas mais suscetíveis à ação desses microrganismos.

A diversidade de temas está relacionada ao fato de que ainda não se encontrou definitivamente uma tecnologia dominante, vencedora, e que possa ser amplamente aplicada em escala industrial com viabilidade econômica e eficiência operacional para se obter o melhor processo de conversão de biomassa e cana-de-açúcar em etanol. As frentes de pesquisa são múltiplas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. C. Informação e atividades de desenvolvimento científico, tecnológico e industrial: tipologia proposta com base em análise funcional. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 20, n. 1, p.7-15, jan./jun. 1991.
- ALENCAR, M. S. M.; ANTUNES, A. M. S. Nanotechnology as innovation source to improve human being needs. In: AMORÓS, E. B. **Foresight and Social Innovation**. Mexico: Plaza&Valdés,2008.
- ALFANI, F.; GALLIFUOCO, A.; SAPOROSI, A.; SPERA, A.; CANTARELLA, M.. Comparison of SHF and SSF processes for the bioconversion of steam-exploded wheat straw. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.25, p.184-192, 2000.
- ALVIRA, P.; TOMÁS-PEJÓ, E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M. J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4851-4861, 2010.
- AMPARO, K. S.; RIBEIRO, M. C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.17, n.4, p.195-209, 2012.
- ANTONINI, S.R.C. **Métodos de análises e monitoramento microbiológico em laboratório de destilaria**. Universidade Federal de São Carlos, Depto. Tecnologia Agroindustrial e Sócio-Econômica Rural, Centro de Ciências Agrárias, São Carlos, SP, Brasil, 2004.
- ARIAS, M. S. et. al. Álcool. IN: TAUPIER, L. O. G. (ed.). **Manual dos derivados da cana de açúcar: diversificação, matérias primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, ICIDCA: Inst. Cubano de Derivados da Cana de açúcar. p. 229-236, 1999.
- ARISTIDOU, A.; PENTTILÄ, M. Metabolic engineering applications to renewable resource utilization. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 11, p. 187-98, 2010.
- AXELSSON, J. **Separate Hydrolysis and Fermentation of Pretreated Spruce**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Física, Química e Biologia, Linköping University, Suécia, 2011.
- BAIN, Joe S. **Barriers to new competition**. Harvard: Harvard University, 1956.
- BAHRUTH, Eliane de Britto. Prospecção tecnológica na priorização de atividades de C&T: caso QTROP-TB. **Prospecção Tecnológica**, p. 21-58, 2004.
- BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 25, p. 551-553, 2008.
- BALAT, M.; Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: **A review**. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 858-875, 2011.

- BASTOS, V. D. Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento. **Revista do BNDES**, n. 38, p. 85-138. BNDES, Rio de Janeiro, dez. 2012.
- BELL, M.; PAVITT, K. (1992). National capacities for technological accumulation: evidence and implications for developing countries. **World Bank's Annual Conference on Development Economics**, Washington, D.C., USA, 30 April & 1 May 1992.
- BENSAH, E. C.; MENSAH, M. Chemical Pretreatment Methods for the Production of Cellulosic Ethanol: **Technologies and Innovations. International Journal of Chemical Engineering**, v. 2013, p. 1–21, 2013.
- BETANCUR, G. J. V & Pereira, Jr. N. Sugarcane bagasse as feedstock for second-generation ethanol production. Part I: diluted acid pre-treatment optimization. **Electronic Journal of Biotechnology**, 2010.
- BINOD, P.; SINDHU, R.; SINGHANIA, R. R.; VIKRAM, S.; DEVI, L.; NAGALAKSHMI, S.; KURIEN, N.; SUKUMARAN, R. K.; PANDEY, A.; Bioethanol production from rice straw: An overview. **Bioresource Technology**, v. 101, p.4767-4774, 2010.
- BORSCHIVER, Suzana *et al.* **Roadmap Tecnológico Sisal**. Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica. Aracaju, 2014.
- CANILHA, L.; CHANDEL, A. K.; SUZANE DOS SANTOS MILESSI, T.; ANTUNES, F. A. F.; LUIZ DA COSTA FREITAS, W.; DAS GRAÇAS ALMEIDA FELIPE, M.; DA SILVA, S. S. Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: An overview about composition, pretreatment methods, detoxification of hydrolysates, enzymatic saccharification, and ethanol fermentation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2012, p. 15, 2012.
- CANONGIA, Claudia *et al.* **Foresight, inteligência competitiva e gestão do conhecimento: instrumentos para a gestão da inovação**. *Gestão & Produção*, v. 11, n. 2, p. 231-238, 2004.
- CARDONA, C. A.; SANCHEZ, O. J. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. **Bioresource Technology**, n. 98, p. 2415 – 2457, 2007.
- CHATURVEDI, V., VERNA, P. An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. **Biotech**, v. 3, p. 415-431. 2013.
- COELHO, G. M. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais**. Rio de Janeiro: INT, 2003.
- COATES, Joseph F. Technology Assessment as Guidance to Governmental Management of New Technologies in **Developing Countries. Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 58, p.35-47, 1998
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perfil do Setor de Açúcar e Alcool no Brasil**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: CONAB, 2008.

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília: CONAB. v. 23, n. 2, fev de 2014.
- DAL POZ, M.E.; SILVEIRA, J.M.F.J.; MASAGO, F. Technology frontier on bioenergy: analysis of two networks of innovation. **Anais do XL Encontro Nacional de Economia, ANPEC**. 2012 Disponível em <
http://www.anpec.org.br/encontro/2012/inscricao/files_I/i8-782b43e603978a6df53dcb1cb92350ad.doc>. Acesso em 30 de abr de 2017.
- DAL POZ, M.E.; SILVEIRA, J.M.F.J.; **Futuros do Bioetanol: o Brasil na liderança?**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- DAMASCENO, C.M.B.; SOUSA, S.M. de; NODA, R.W.; PARRELLA, R.A.C.; SCHAFFERT, R.E.; MAGALHÃES, J.V. **A importância da lignina para a produção de etanol de segunda geração**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- DAS, P.; GANESH, A.; WANGIKAR, P., Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products, **Biomass Bioenergy**, v. 27, p. 445-457, 2004.
- DATAGRO. Plínio N. **Oportunidades para o mercado de açúcar e etanol**. Canacentro, 2014.
- DE CARLI, G.. **O açúcar na formação econômica do Brasil**. Anuário Açucareiro, Rio de Janeiro: Editora do IAA, 1936.
- DE CASTRO, Antônio Maria Gomes; LIMA, Suzana Maria Valle. **Cadeia Produtiva e Prospecção Tecnológica Como Ferramentas Para a Formulação de Estratégia**. Embrapa, 2005.
- DIAS, M. O. S. *et al.* Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. **Bioresource Technology**, 103(1), 152-161, 2012.
- DIAS, M. O. S. *et al.* Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane. **Applied Energy**, 109, 72-78, 2013.
- DOS SANTOS, Keize Katiane; RIBEIRO, Maria do Carmo Oliveira; GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani. **Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica**. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 17, n. 4, p. 195-209, 2012.
- DOSI, G. (1988). The nature of the innovative process. In: DOSI *et al.* **Technological change and economic theory**. Pinter Publishers, London, 1988.
- DOSI, G. (2006) **Mudanças técnicas e transformação industrial**. Tradutor: Carlos D. Szlak. – Campinas, SP: Editora de UNICAMP, 2006.
- DUQUE VIEIRA LUNA MAYERHOFF, Zea. **Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica**. *Cadernos de Prospecção*, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2009.
- EISENBERG, P. L.. **Modernização sem mudança: a indústria açucareira em Pernambuco 1840-1910**. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1977

- EL-ZAWAWY, W. K.; IBRAHIM, M. M.; ABDEL-FATTAH, Y. R.; SOLIMAN, N. A.; MAHMOUD, M. M. Acid and enzyme hydrolysis to convert pretreated lignocellulosic materials into glucose for ethanol production. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, p. 865–871, 2011.
- ENSINAS, A.V., NEBRA, S.A.; LOZANO, M.A.; SERRA, L.M.; Analysis of process steam demand reduction and electricity generation in sugar and ethanol production from sugarcane. **Energy Conversion and Management**, v.48, p.2978– 2987, 2007.
- FACCIOTTI, M.C.R. Fermentação Contínua. In: Schmidell *et al.* **Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica**. São Paulo: Edgar Blücher, p. 223-246, 2001.
- FAN, L. T.; GHARPURAY, M. M.; LEE, Y. H. **Cellulose hydrolysis**. SpringerVerlag, New York, p. 5-120, 1987.
- FAVA NEVES, et. al. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP 2014.
- FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultrastruture, Reactions**, Walter de Gruyter: Berlin, 1989.
- FRANCA, Marcos Pini; BARROSO, Antonio C.; POLITANO, Rodolfo. Mapeamento de propriedade intelectual como ferramenta para planejamento estratégico. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 29-54, apr. 2014.
- FUENTES, LAURA LILIANA GARZÓN. **Determinação de dados cinéticos da deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar e da hidrólise enzimática no pré-tratamento com hidróxido de cálcio**. Dissertação (Mestrado). Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- FUJITA, Y.; ITO, J.; UEDA, M.; FUKUDA, H.; KONDO, A. Synergistic Saccharification and direct fermentation to ethanol of amorphous cellulose by use of an engineered yeast strain codisplaying three types of cellulolytic enzyme. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 70, n. 2, p. 1207-1212, 2004.
- GALBE, M.; ZACCHI, G. A review of the production of ethanol from softwood. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 59, p. 618-628, 2002.
- GALLOWAY, J. H. **The sugar cane industry: an historical geography from its origins to 1914**. Cambridge University Press, 1989.
- GARCÍA-CUBERO, M. A T. *et al.* Effect of ozonolysis pretreatment on enzymatic digestibility of wheat and rye straw. **Bioresource technology**, v. 100, n. 4, p. 1608–13, fev. 2009.
- GODET, M. The art of scenarios and strategic planning: Tools and pitfalls. **Technological Forecasting and Social Changes**. v. 65, n.1, p. 3-22, sept. 2000.
- GORDON, Theodore J., Technology Sequence Analysis. In: **Futures Research Methodology - The Millennium Project** (version 2.0). Disponível em <<http://www.millennium-project.org/millennium/FRM-V3.html>>. Acesso em 15 out 2015.

- GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**. v. 315: p.808-810, 2007.
- GONÇALVEZ, V. M. F. **Caracterização de Heteropolissacarídeos por Espectrometria de Massa**. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Química dos Alimentos). Departamento de Química da Universidade de Aveiro, 2007.
- GUZMAN S. M.V. **Patentometria: herramienta para el análisis de oportunidades tecnológicas**. 130f. Tesis (Doutorado em Gerência de Informação Tecnológica) – Facultad de Economía, Universidad de La Habana, Cuba, 1999.
- HAHN-HÄGERDAL, B.; KARHUMAA, K.; FONSECA, C.; SPENCER-MARTINS, I.; GORWA-GRAUSLUND, M. F. Towards industrial pentose-fermenting yeast strains. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 74, n. 5, p. 937–53, 2007.
- HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. VAN; FAAIJ, A. P. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v.28, n.4, p. 384-410, 2005.
- HARMSSEN, P.; HUIJGEN, W.; LÓPEZ, L.; BAKKER, R. Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. In: Report ECN-E--10-013. Wageningen University & Research centre - Food & Biobased Research, Energy Research Centre of the Netherlands e Abengoa Bioenergía Nuevas Tecnologías, pp. 1–49, 2010. Disponível em: <<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10013.pdf>>.
- HAYES, D. J. An examination of biorefining processes, catalysts and challenges. **Catalysis Today**, v.145, p. 138-151, 2009.
- HENDRIKS, A.T.W.M., ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**. v.100, pp. 10–18, 2009.
- HOFF, D. N. **A construção do desenvolvimento sustentável através das relações entre as organizações e seus stakeholders: a proposição de uma estrutura analítica**. 2008. Tese (Doutorado em Agronegócios) – Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- HOGSETT, D.A.; AHN, H.J.; BERNARDEZ, T.D.; SOUTH, C.R.; LYND, LR. Direct microbial conversion - Prospects, progress, and obstacles. **Appl. Biochem. Biotechnol.** v.34, p.527 541, 1992.
- HOUGHTON J. S.; WEATHERWAX, J.; FERRELL, J. **Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: A Joint Research Agenda**, in A Research Roadmap Resulting from the Biomass to Biofuels Workshop Sponsored by the U.S. Department of Energy., US Department of Energy. p. 28, 2006.
- INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. (2009). **O que é patente?** Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menuesquerdo/patente/pasta_oquee>. Acesso em: 04 maio. 2013.
- INPI – INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL (2009). **Código da Propriedade Industrial**. Rio de Janeiro: Editora do INPI, 2ª ed., Abril de 2009, 246 p.

- INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Manual para o depositante de patentes**. Rio de Janeiro, 2015.
- INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Introdução à classificação internacional de patentes**. São Paulo, 2015.
- INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Classificação Internacional de Patentes**. Disponível em: <[http:// ipc.inpi.gov.br](http://ipc.inpi.gov.br)>. Acesso em: 14 janeiro. 2017.
- JOHNSTON, R. A importância do olhar no futuro: Reflexões sobre as experiências australianas. **Revista Inteligência Empresarial**, n.5, p.3-15, out. 2000.
- JUNQUEIRA, T. L. **Simulação de colunas de destilação convencional, extrativa e azeotrópica no processo de produção de bioetanol através da modelagem de não equilíbrio e da modelagem de estágios de equilíbrio com eficiência**. Tese (mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2010.
- KAYLEN, M. VAN DYNE, D.L., CHOI, M., BLASÉ, M. Economic feasibility of producing ethanol from lignocellulosic feedstocks. **Bioresource Technology**. v.14: p.19-32, 2010.
- KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estud. av., São Paulo, v.24, n.68, 2010.
- KOSTOFF, R.N., 2008. Literature-Related Discovery (LDR): Introduction and background. **Technological Forecasting & Social Change**, Volume 75, pg 165-185, 2008.
- KUMAR,P.,BARRETT,D.M.,DELWICHE,M.J.,STROEVE,P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v.48, p.3713–3729, 2009.
- KUPFER, D.; TIGRE, P. B. **Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico. Capítulo 2: prospecção tecnológica**. OIT/CINTERFOR, Organizacion Internacional Del Trabajo CINTERFOR. Montevideo: OIT/CINTERFOR, 2004.
- LABINI, P. S. (1980). **Oligopólios e progresso técnico**. São Paulo: Forense, 1980.
- LEE, J. (1997). Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. **Journal of Biotechnology**, v. 56, p. 1-24.
- LEE, P.C., SU, H.N., WU, F.S., 2010. Quantitative mapping of patented technology -The case of electrical conducting polymer nanocomposite; **Technological Forecasting & Social Change**, Volume 77, pg 466-478.
- LEE, S.; BYUNGUN, B.; PARK, Y. An approach to discovering new technology opportunities: Keyword-based patent map approach. **Technovation**, v.29, p.481-497, 2009.
- LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos**, São Paulo, Cebrap, n. 78, jul. 2007.

- LEWIN, M. & GOLDSTEIN, I. S. **Wood structure and composition**. New York, Marcel Dekker, 488 p, 1991.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method: Techniques and Applications**, Boston: Addison Wesley Company, 2002.
- LU, Y.; YANG, B.; GREGG, D.; SADDLER, J. N.; MANSFIELD, S. D.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* v.98, 641p, 2002.
- LYND, L. R. **Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass**. Technology, Economics, the Environment, and Policy. *Energy and Environment Management*, v.21, p.403-465, 1996.
- MACEDO, I. C. (Org). **A Energia da cana-de-açúcar: Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua Sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: ÚNICA, 2007.
- MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The averages and a prediction for 2020. ***Biomass & Bioenergy***, Oxford, v. 9, n. 45, p. 582-595, 2008.
- MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciomertria e sua perspectiva nacional e internacional. ***Ciência da Informação***, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, maio/ago. 1998.
- MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
- MARQUES, F. (2009). **O bagaço é o alvo**. Pesquisa FAPESP, nº 163, setembro de 2009.
- MAYERHOFF, Z. D. V. L. 2009. Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica. ***Cadernos de Prospecção***, v. 1, n. 1, p. 7-9.
- MCMILLAN, J. D.; NEWMAN, M. M.; TEMPLETON, D. W.; MOHAGHEGHI, A. Simultaneous saccharification and cofermentation of dilute-acid pretreated yellow poplar hardwood to ethanol using xylose-fermenting *Zymomonas mobilis*. ***Applied Biochemistry and Biotechnology***, v. 77-79, p. 649-665, 1999
- MILES, I, (2002), **Appraisal of Alternative Methods and Procedures for Producing Regional Foresight**. Report prepared by CRIC for the European Commission's DG Research funded STRATA – ETAN Expert Group Action, Manchester, 2002.
- MOSIER, N., C. WYMAN, *et al.* Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. ***Bioresource Technology*** 96(6): 673-686, 2005
- MUKTHAM, Radhakumari *et al.* A Review on 1st and 2nd Generation Bioethanol Production-Recent Progress. ***Journal of Sustainable Bioenergy Systems***, v. 6, n. 03, p. 72, 2016.
- NELSON, R. R. & WINTER, S. G. (1977). In search of useful theory innovation. ***Research Policy***, v. 6, p. 36-76, 1977.

- NELSON, R. R. & WINTER, S. G. (2005). **Uma teoria evolucionária**. Tradutor: Cláudia Heller. – Campinas, SP: Editora de UNICAMP, 2005.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. Energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES e CGEE (orgs.), 2008.
- NORILER, D. **Modelagem matemática e simulação numérica do escoamento líquido-vapor num prato de destilação**. Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas - SP, 2003.
- NYKO, D. *et al.* A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. **BNDES Setorial**, n. 32, p. 5-48. BNDES, Rio de Janeiro, set. 2010.
- OCDE. **Competition policy and intellectual property rights**. Paris: OCDE, 1989.
- OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.
- OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, Vol. 33, No. 7, 1549-1558, 2010
- OHGREN, K.; BURA, R.; LESNICKI, G.; SADDLER, J.; ZACCHI, G. A comparison between simultaneous saccharification and fermentation and separate hydrolysis and fermentation using steam-pretreated corn stover. **Process Biochem.**,v.42, p.834-839, 2007.
- OLOFSSON, K.; BERTILSSON, M.; LIDÉN, G. **A short review on SSF** – an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuels*, v.1, p.1-7, 2008.
- OLSON, D. G.; MCBRIDE, J. E.; SHAW, J.; LYND L. R. Recent progress in consolidated bioprocessing. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p.396–405, 2012.
- OLUJIC. Z.; JODECKE, M.; SHILKIN, A.; SCHUCH, G.;KAIBEL, B. Equipments improvement trends in distillation. **Chemical Engineering and Processing**, v.48, p.1089-1104, 2009.
- ORTIZ, PABLO ANDRÉS SILVA. **Hierarquização exérgica e ambiental de rotas de produção de bioetanol**. Dissertação (Doutorado). São Paulo: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, 2016.
- PACHECO, T. F. **Fermentação Alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, MG, Brasil, 2010.
- PALMQVIST, E.; GRAGE, H.; MEINANDER, N. Q.; HAHN-HÄGERDAL, B. Main and interaction effects of acetic acid, furfural, and p-hydroxybenzoic acid on growth and ethanol productivity of yeasts. **Biotechnology and Bioenergy**, v. 63, p. 46–55, 1999.

- PARREIRAS, V. M. Antunes. (2014). **Proposta de observatório de tendências em centro de P&D empresarial** – caso da nanotecnologia no CENPES. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.
- PEREIRA, F. S. **Comparação internacional de programas de subvenção a atividades de PD&I em Biocombustíveis**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.
- PIACENTE, F. J. **Inovação e Trajetórias Tecnológicas: O caso dos dois sistemas de extração de sacarose no Brasil**. Tese de Doutorado – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, 2010.
- PIACENTE, F. J. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental; O caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Campinas: IE/Unicamp. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico Espaço e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- PIACENTE, F. J.; SILVA, V. de C.; BIAGGI, D. E. ;. Produção de bioetanol a partir do milho: estudo de prospecção tecnológica a partir de bases de patentes, p. 1211-1225 . In: **Anais do 1º Encontro da Nacional de Economia Industrial e Inovação [Blucher Engineering Proceedings, v.3 n.4]**. São Paulo: Blucher, 2016
- POPPER, Rafael. Foresight methodology. In: GEORGHIOU, L. *et al.* (Ed.). **The handbook of technology foresight: concepts and practice**. Cheltenham Glos: Edward Elgar Publishing, 2008-a.
- POPPER, Rafael. How are foresight methods selected?. **Foresight**, v. 10, n. 6, p. 62-89, 2008-b.
- PORTER, Alan L., Depth perception. **Technological Forecasting and Social Change**. New York, v.62, p. 143-145, 1999.
- PORTER, Alan L., Tech forecasting - An empirical perspective. **Technological Forecasting and Social Change**. New York, v. 62, n.1-2, aug-sep 1999.
- QUINTELLA, Cristina M. *et al.* **Prospecção tecnológica como uma ferramenta aplicada em ciência e tecnologia para se chegar à inovação**. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, p. 406-415, 2011.
- RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2010.
- RABELO, S. C. *et al.* Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 17, p. 7887–7895, 2011.
- RAMOS, P, (1999). **Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil**. São Paulo: Editora. Hucitec, 1999.

- RAELE, R. *et al.* Scenarios for the second generation ethanol in Brazil. **Technological Forecasting & Social Change**, n. 87, p. 205-223. [S.I.]: Elsevier, jan. 2014.
- RENOVABIO: Biocombustíveis 2030. Barroso, L. A. N., Coelho, J. M. F., Gorini, R., de Energia Elétrica, D. D. E., Guerreiro, A. G., Pereira, Á. H. M., ... & do Nascimento, J. R. (2016). GOVERNO FEDERAL.
- ROGERS, E. M. (1983). **Diffusion of innovations**. Third edition., New York, Free Press, 1983.
- ROSEMBERG, N. (1969). The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices. **Economic Development and Cultural Change**, v.18, p.1-24, 1969.
- SAHA, B. C.; NICHOLS, N. N.; QURESHI, N.; COTTA, M. A. Comparison of separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation processes for ethanol production from wheat straw by recombinant *Escherichia coli* strain FBR5. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.92, p.865-74, 2011.
- SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v.27, p.185-194, 2009.
- SANDERSON, K. Lignocellulose A chewy problem. Nature, vol. 474, p. 12-14. 23 jun. 2011.
- SANTANA, M. A. E.; TEIXEIRA, D. E. **Uso do bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas de aglomerados**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. Curitiba. Anais...São Paulo: SBS/SBEF, p. 667-672, 1993.
- SANTOS, D.S., **Produção de etanol de segunda geração por *Zymomonas mobilis* naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica**. Tese de Doutorado, UFRJ, 218 p, 2012.
- SANTOS, F.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J.; SOUZA, C. J. **Produção de etanol celulósico a partir da cana-de-açúcar**. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Eds). Bioenergia e Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais -. Viçosa: p. 129-164, 2013.
- SARKAR, N.; GHOSH, S. K.; BANNERIEE, S.; AIKAT, K. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. **Renewable Energy**, v. 37, p.19-27, 2012.
- SHAPOURI, H.; Duffield, J. A.; Wang, M. **The energy balance of corn ethanol: an update**. Washington: US Department of Agriculture, 19p, 2002.
- SCHUMPETER, J. A. (1982). **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SCHUMPETER, J. A. (1961). **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.
- SCHERER, F.(1970). **Industrial market structure and economic performance**. Chicago: Rand McNally, 1970.

- SHIBATA, N., KAJIKAWA, Y., TAKEDA, Y., MATSUSHIMA, K.; Detecting emerging research fronts based on topological measures in citation networks of scientific publications. *Technometrics*, Volume 28, pg 758-775, 2008.
- SILVA ORTIZ, P. A. **Hierarquização Exergética e Ambiental de Rotas de Produção de Bioetanol**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- SILVEIRA, Newton. **A propriedade intelectual e as novas leis autorais**. São Paulo: Saraiva, 1998.
- SOUZA, A. P. et al.(2013). Sugarcane as a bioenergy source: history, performance, and perspectives for second-generation bioethanol. *BioEnergy Research*, v. online, p. online, 2013.
- SPENDOLINI, M. J. (1992). ‘The benchmarking process’, *Compensation & Benefits Review*, Vol. 24, No. 5, pp.21–29.
- STUPIELLO, J. P. (1987). A cana de açúcar como matéria prima. IN: **Cana de Açúcar Cultivo e Utilização**, Fundação Cargil, Campinas-SP, Volume 2, 1987.
- SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review, *Bioresource Technology*, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.
- SZMRECSÁNYI, T. (1979). **O Planejamento da Agroindústria Canavieira do Brasil (19360-1975)**, São Paulo, Editora Hucitec, 1979.
- SZENGYEL, Z. **Ethanol from wood: Cellulase enzyme production**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Química, Lund University, Suécia, 2000.
- TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *Bioresources*, v. 2, p. 707-738, 2007.
- TAHERZADEH, M.J.; KARIMI, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *BioResources*, v. 2, p. 472-499, 2007.
- TENGBORG, C. **Bioethanol production: Pretreatment and enzymatic hydrolysis of softwood**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Química, Lund University, Suécia, 2000.
- THIRTLE, C. G.; RUTTAN, V. W. **The role of demand and supply in the generation and diffusion of technical change**, London, Harwood Academic Publishers, 1987.
- TSENG, Y. H.; LIN, C. J.; LIN, Y. I. Text mining techniques for patent analysis. *Information Processing and Management*, *Patent Processing*, 43(5):1216 – 1247, 2007.
- UNICA. União da indústria de Cana-de-Açúcar. **Agroindústria Balanço de Atividades de 2014**. São Paulo: Unica, 2014.

- UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Relatório final da safra 2013/14: região Centro-Sul**. Departamento de Economia e Estatística. São Paulo: UNICA, 2015
- USDA. World Agricultural Supply and Demand Estimates and National Agricultural Statistics Service. **U.S. Bioenergy Statistics 2015**. Disponível em: <http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_sum_snd_d_nus_mbbbl_m_cur.htm; Bureau of Census, export data for Harmonized Tariff codes 2207106000 and 2207200000>. Acesso em: 07 fev 2016.
- US DOE – United States Department of Energy. **Lignocellulosic Biomass for Advanced Biofuels and Bioproducts Workshop Report**. 2015. Disponível em: <<http://www.genomicscience.energy.gov/biofuels/lignocellulose/BioenergyReport-February-20-2015LR.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2017.
- WILLAMSON, K. The biofuel generation gap. **Renewable Energy Focus**, mai.-jun. 2011. Disponível em: <<http://www.renewableenergyfocususa.com/view/19291/the-biofuel-generation-gap/>>. Acesso em: 25 abr. 2012.
- WYMAN, C. **Handbook on bioethanol: production and utilization**. CRC press, 1996. ISBN 1560325534
- YAMASHITA, Y. et al. Ethanol production from paper sludge by immobilized *Zymomonas mobilis*. **Biochem. Eng. J.**, v. 42, n. 3, p. 314-319, 2008.
- YANG, B. E; WYMAN, C. E. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. **Biofuels Bioprod.** Bioref., v. 2, p. 26-40, 2008.
- YOON, B.; PARK, I.; COH, B. Exploring technological opportunities by linking technology and products: Application of morphology analysis and text mining. **Technological Forecasting & Social Change**. SEUL, n.86, p. 287-303, 2013.
- ZWICKY, F. **Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach**, New York: Macmillan Publisher, 1969.

ANEXO A

Tradução livre dos termos em inglês das tabelas apresentadas.

TABELA 1.1: Métodos de prospecção por tipo de técnica

Qualitativos	Quantitativos	Semiquantitativos
Backcasting	Avaliação comparativa	Impacto transversal / estrutural
Debate	Bibliometria	Análise
Painéis de cidadãos	Análise de indicadores / séries temporais	Delphi
Conferências / workshops	Modelagem	Tecnologias chave / críticas
Ensaio / redação de cenários	Análise de patentes	Análise multicritérios
Painéis de especialistas	Extrapolação de tendência / análise de impacto	Polling / Votação
Previsão Genius		Cenários quantitativos
Entrevistas		Roadmapping
Revisão da literatura		Análise das partes interessadas
Análise morfológica		
Relevância árvores / gráficos de lógica		
Role play / Acting		
Digitalização		
Workshops Cenário / Cenário		
Ficção científica (SF)		
Jogos de simulação		
Pesquisas		
Análise SWOT		
Sinais fracos / curingas		

Fonte: Adaptado de Popper (2008-a).

TABELA 3.1: Matriz de palavras-chave e estratégia de busca para definir a tecnologia objeto do estudo proposto.

Processo	Palavras-chave	Estratégia de busca	Número de patentes
SSF	SSF, sacarificação simultânea, fermentação, etanol, bioetanol, cana-de-açúcar	(SSF OR (simultaneous AND saccharification AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	339
CBP	CBP, bioprocessos, fermentação, etanol, bioetanol, cana-de-açúcar	(CBP OR (consolidated AND bioprocessing)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	38
DMC	DMC, conversão microbiana direta, fermentação, etanol, bioetanol, cana-de-açúcar	(DMC OR (direct AND microbial AND conversion)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	99
SHF	SHF, hidrólise e fermentação em separado, etanol, bioetanol, cana-de-açúcar	(SHF OR (separate AND hydrolysis AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR (sugar AND cane) OR (energy AND cane))	585

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.2 – Morfologia da tecnologia SHF

Dimensão	Forma
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico
	Físico
	Químico
	Físico-Químicos
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise
	Enzimas
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses
	Fermentação das pentoses
	Leveduras
Formas de fermentação	Batelada
	Semi-continua
	Continua
Destilação	Destilação
	Retificação
	Desidratação

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.3 – Morfologia da tecnologia SHF com as palavras-chave

Dimensions	Shapes	Keywords
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	pretreatment, biological, diffusion, microorganisms, fungus, fungi
	Físico	pretreatment, physical, mechanical, milling, grind, crushing, chipping, extrusion, ultrasonic
	Químico	pretreatment, chemical, acid, alkaline, oxidative delignification, ionic liquids, organo solvents, ozonolysis
	Físico-Químico	pretreatment, physicochemical, mechanical-chemical, steam explosion, ammonia fiber explosion (AFEX), ammonia recycle percolation (ARP), carbon dioxide explosion, pressurized hot water (hydrothermal), liquid hot water (LHW), microwave
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	enzymatic hydrolysis, cell, genetic, cytotoxic
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	block, lock, inhibitors, enzymatic hydrolysis
	Enzimas	enzymatic hydrolysis, enzyme
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	enzymatic hydrolysis, vector, genetic, transformation, construct
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	fermentation, hexoses
	Fermentação das pentoses	fermentation, pentoses
	Leveduras	fermentation, yeasts
Formas de fermentação	Batelada	fermentation, discontinuous, batch, fed-batch
	Semi-contínua	fermentation, semicontinuous
	Contínua	fermentation, continuous
Destilação	Destilação	distillation, flegma, tower, continuous, simple
	Retificação	rectification, impurities, dross, aldehydes, esters, amines
	Desidratação	dehydration, cyclohexane, benzol, benzeno, molecular sieve

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.4 – Morfologia da tecnologia SHF - estratégia de busca

Dimensão	Forma	Sintaxe
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	pretreatment AND (biologic* OR diffusion OR microorganisms OR fungus OR fungi)
	Físico	pretreatment AND (physic* OR mechanic* OR milling OR grind OR crushing OR chopping OR extrusion OR ultrasonic)
	Químico	pretreatment AND (chemic* OR acid OR alkaline OR oxidative OR delignification OR (ionic AND liquid*) OR (organo AND solvent*) OR ozonolysis)
	Físico-Químicos	pretreatment AND (physicochemic* OR (mechanic* AND chemic*) OR (steam AND explosion) OR (ammonia AND fiber AND explosion) OR AFEX OR (ammonia AND recycle AND percolation) OR ARP OR (carbon AND dioxide AND explosion) OR (pressur* AND hot AND water) OR hydrotherm*)
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	hydroly* AND cell AND genetic AND cytotoxic
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	(block OR lock OR inhibitors) AND hydroly*
	Enzimas	hydroly* AND enzyme
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	hydroly* AND vector* AND genetic* AND (transformat* OR construct*)
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	fermentation AND hexoses
	Fermentação das pentoses	fermentation AND pentoses
	Leveduras	fermentation AND yeasts
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	fermentation AND discontinuous
	Semi-contínua	fermentation AND (semicontinuous OR semi-continuous)
	Contínua	fermentation AND continuous
Destilação	Destilação	distillation AND (flegma OR tower OR continuous OR simple)
	Retificação	rectification AND (impurities OR dross OR aldehydes OR esters OR amines)
	Desidratação	dehydration AND (cyclohexane OR benzol OR benzeno OR (molecular AND sieve))

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.5 – Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico

Dimensão/Forma	Palavras-chave
Anidro	anidro, etanol, bioetanol
Hidratado	hidratado, etanol, bioetanol
Industrial	industrial, etanol, bioetanol

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.6 – Morfologia do produto Etanol Lignocelulósico – estratégia de busca

Dimensão/Forma	Palavras-chave	Syntaxe
Anidro	anidro, etanol, bioetanol	anhydrous AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol)
Hidratado	hidratado, etanol, bioethanol	(hydrated OR hydrous) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol)
Industrial	industrial, etanol, bioetanol	industrial AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol)

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.7 – Quantidade de patentes para cada *shape* da tecnologia

Dimensão	Forma	Patentes
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	176
	Físico	199
	Químico	339
	Físico-Químicos	176
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	89
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	33
	Enzimas	578
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	24
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	71
	Fermentação das pentoses	75
	Leveduras	408
Formas de fermentação	Batelada	12
	Semi-continua	27
	Contínua	322
Destilação	Destilação	2
	Retificação	7
	Desidratação	7

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.8 – Busca com termos da morfologia do produto e tecnologia

Dimensão	Forma	Etanol lignocelulósico		
		Anidro	Hidratado	Industrial
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	4	11	92
	Físico	5	7	98
	Químico	5	13	121
	Físico-Químicos	4	12	73
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	5	4	47
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	5	5	23
	Enzimas	9	19	160
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	2	1	19
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	1	1	25
	Fermentação das pentoses	3	1	34
	Leveduras	14	19	128
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	1	1	2
	Semi-contínua	1	1	3
	Contínua	15	29	107
Destilação	Destilação	0	1	2
	Refiticação	0	2	6
	Desidratação	3	4	7

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017

TABELA 3.9 – Link tecnologia e produto

Dimensão	Forma	Etanol lignocelulósico		
		Anidro	Hidratado	Industrial
Pré-tratamento industrial de materiais, para processo SHF	Biológico	0,02273	0,06250	0,52273
	Físico	0,02513	0,03518	0,49246
	Químico	0,01475	0,03835	0,35693
	Físico-Químicos	0,02273	0,06818	0,41477
Hidrólise enzimática da celulose	Aspectos citotóxicos do metabolismo da célula, relacionados à genética evolutiva	0,05618	0,04494	0,52809
	Moléculas bloqueadoras de hidrólise	0,15152	0,15152	0,69697
	Enzimas	0,01571	0,03316	0,27923
	Vetores genéticos para transformação de agentes fermentadores	0,08333	0,04167	0,79167
Características da Fermentação	Fermentação das hexoses	0,01408	0,01408	0,35211
	Fermentação das pentoses	0,04000	0,01333	0,45333
	Leveduras	0,03431	0,04657	0,31373
Formas de fermentação	Batelada (Descontínua)	0,08333	0,08333	0,16667
	Semi-contínua	0,03704	0,03704	0,11111
	Contínua	0,04658	0,09006	0,33230
Destilação	Destilação	0,50000	0,00000	1,00000
	Refiticação	0,28571	0,0000	0,85714
	Desidratação	0,42857	0,57143	1,00000

FONTE: Elaborado pelo autor, 2017