

---

**Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani**

**Trabalho de Graduação**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEL**

**TRATAMENTO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA OBTENÇÃO DE  
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

**LEONARDO CAMARGO BALIEIRO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO HENRIQUE ARMOA**

**JABOTICABAL, S.P.**

**2021**

**LEONARDO CAMARGO BALIEIRO**

**TRATAMENTO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA OBTENÇÃO DE  
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Trabalho de graduação (TG) apresentado à Faculdade de  
Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como  
parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo  
em **Biocombustíveis**

Orientador Prof. Dr. **Marcelo Henrique Armoa**

**JABOTICABAL, S.P.**

**2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

BALIEIRO, L. C.

Tratamento de Materiais Lignocelulósicos para obtenção de Etanol de Segunda Geração / Leonardo Camargo Balieiro — Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, Ano. 2021

Orientador: Marcelo Henrique Armoa

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustível, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani-Jaboticabal, 2.021

1. Palavra-Chave. Biorrefinaria. Etanol Segunda Geração. Material Lignocelulósico, Resíduo Agroindustrial. BAIEIRO, L.C., ARMOA, M. H. Tratamento de Materiais Lignocelulósicos para obtenção de Etanol de Segunda Geração

LEONARDO CAMARGO BALIEIRO

**TRATAMENTO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA OBTENÇÃO DE  
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia  
Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos  
para a obtenção do título de **Tecnólogo em Biocombustíveis**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Armoa**

**Data da apresentação e aprovação: 17/11/2021.**

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA**

**Presidente e Orientador: Professor Doutor Marcelo Henrique Armoa**

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)**

**Segundo membro da banca examinadora: Professora Doutora Fernanda de Freitas  
Borges**

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)**

**Terceiro membro da banca examinadora: Professora Mestre Rita de Cássia Vieira**

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)**

**Local: Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)**

**Jaboticabal – SP – Brasil**

Agradeço a Deus pela minha vida e por me guiar e ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso. Aos meus pais, irmãos, filho, filha e esposa que me incentivaram nos momentos mais difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos meus queridos e atenciosos professores, que se tornaram grandes amigos, durante as correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, esposa, filhos e ao orientador.

Agradeço a Deus por sempre me mostrar o caminho certo.

À Fatec-JB e ao Centro Paula Souza que me proporcionaram o aprendizado de qualidade e a obtenção de uma formação profissional muito promissora e valiosa, do qual sinto orgulho.

Aos docentes pelo carinho, participação, dedicação incondicional e motivacional, que foi de fundamental importância para percorrer o caminho do conhecimento e das pesquisas tecnológicas e científicas.

Sou grato pela confiança depositada em mim pelo meu orientador, que dedicou inúmeras horas para sanar as minhas questões e por me colocarem na correta direção.

Agradeço minha esposa Thais F. Saglio Balieiro por estar ao meu lado em todos os momentos e aos meus queridos filhos Olavo e Rafaela.

Por fim, aos meus irmãos que me corrigiram e educaram todas as vezes que necessário, que contribuíram fortemente para uma melhor formação pessoal e profissional.

**BALIEIRO, Leonardo Camargo. Tratamento de Materiais Lignocelulósicos para obtenção de etanol de segunda geração. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. Número total de páginas p.27 Ano 2021.**

## **RESUMO**

O presente trabalho de pesquisa de revisão bibliográfica abordou a produção de etanol segunda geração a partir de materiais lignocelulósicos, no âmbito de plataforma de biorrefinarias. Os desafios enfrentados pelo setor relacionados ao pré-tratamentos da biomassa, o aumento de produção bioenergética utilizando resíduo agroindustrial como fonte de matéria prima, a minimização dos impactos ambientais gerados pelo setor, com os objetivos de aprofundar conhecimentos e promover a pesquisa científica e tecnológica baseado no tema. Atualmente o Brasil ocupa 30% das terras com agropecuária, contra 74% dos EUA e 64% Japão. Nós temos mais áreas de vegetação nativa, do que os Estados Unidos e União Européia juntos. O clima do mundo esta mudando e a nossa agricultura é parte da solução, o Brasil é signatário do Acordo de Paris e tem como metas reduzir as emissões de gases do efeito. As áreas brasileiras de vegetação nativa preservada nas propriedades rurais correspondem a dez países da Europa, demonstrando o comprometimento do Brasil, com a sustentabilidade ambiental mundial. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a safra de 2021-2022 a produção de cana foi estimada em aproximadamente 592 mil toneladas, gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos, que são queimados na cogeração de energia elétrica, emitindo gases nocivos na atmosfera e dificultando o atendimento da meta de descarbonização mundial. Quando não, são incorporados ao solo como fonte de matéria orgânica, liberando dióxido de carbono através da decomposição natural das fibras. Além disso, o desmatamento descarte de lixo e o mau uso do solo também emite grandes quantidades de gases nocivos na atmosfera causando desequilíbrio ambiental. Surge-se então o conceito de biorrefinaria, que por definição é uma unidade industrial destinada à conversão de biomassa lignocelulósica em biocombustíveis e outros bens de interesse, promovendo uma solução parcial e sustentável para a substituição do uso do petróleo, como também pelos problemas causados na combustão da biomassa para a produção de energia. A utilização de bioetanol celulósico deixa de emitir até 95% dos gases do efeito estufa na atmosfera e contribui para a manutenção das áreas de vegetação, corroborando com a matriz energética, com o meio ambiente e o conceito de economia verde. As biomassas agroindustriais formadas por celulose, hemicelulose e lignina (Materiais Lignocelulósicos) são a maior fonte de carboidratos encontrados na natureza, além de renováveis, são as matérias primas para as Biorrefinarias. O grande desafio esta no pré-tratamento dessas matérias-primas, pois essa etapa é de grande importância para se obter bons rendimentos industriais, além de políticas de incentivos e investimentos por parte dos governantes do Brasil.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis. Biorrefinaria. Energia Limpa. Etanol Segunda Geração. Material Lignocelulósico, Resíduo Agroindustrial.

**BALIEIRO, Leonardo Camargo. Tratamento de Materiais Lignocelulósicos para obtenção de etanol de segunda geração. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. Número total de páginas p.27 Ano 2021.**

### **ABSTRACT**

The present work of bibliographic review research addressed the production of second generation ethanol from lignocellulosic materials, in the scope of a biorefinery platform. The challenges faced by the sector related to biomass pre-treatments, the increase in bioenergy production using agro-industrial waste as a source of raw material, the minimization of environmental impacts generated by the sector, with the objectives of deepening knowledge and promoting scientific and technological research based in the theme. Currently, Brazil occupies 30% of the land under agriculture, against 74% in the United States and 64% in Japan. We have more areas of native vegetation than the United States and the European Union combined. The world's climate is changing and our agriculture is part of the solution, Brazil is a signatory to the Paris Agreement and its goals are to reduce gas emissions. The Brazilian areas of preserved native vegetation on rural properties correspond to ten countries in Europe, demonstrating Brazil's commitment to global environmental sustainability. According to the National Supply Company (CONAB), the 2021-2022 harvest of sugarcane production was estimated at approximately 592,000 tons, generating a large amount of solid waste, which is burned in the cogeneration of electricity, emitting harmful gases into the atmosphere and making it difficult to meet the global decarbonization target. When not, they are incorporated into the soil as a source of organic matter, releasing carbon dioxide through the natural decomposition of fibers. In addition, deforestation, waste disposal and poor land use also emit large amounts of harmful gases into the atmosphere causing environmental imbalance. Then comes the concept of biorefinery, which by definition is an industrial unit destined to the conversion of lignocellulosic biomass into biofuels and other goods of interest, promoting a partial and sustainable solution for the replacement of the use of oil, as well as the problems caused in combustion of biomass for energy production. The use of cellulosic bioethanol does not emit up to 95% of greenhouse gases into the atmosphere and contributes to the maintenance of vegetation areas, supporting the energy matrix, the environment and the concept of green economy. Agroindustrial biomass formed by cellulose, hemicellulose and lignin (Lignocellulosic Materials) are the largest source of carbohydrates found in nature, in addition to being renewable, they are the raw materials for Biorefineries. The great challenge lies in the pre-treatment of these raw materials, as this stage is of great importance to obtain good industrial yields, in addition to incentive and investment policies by the government of Brazil.

**Keywords:** Biofuels. Biorefineries. Clean Energy. Second Generation Ethanol. Lignocellulosic Material. Agro-Industrials Waste.

## SUMÁRIO

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                          | <b>9</b>  |
| <b>OBJETIVO GERAL.....</b>                       | <b>10</b> |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>                | <b>10</b> |
| <b>JUSTIFICATIVA.....</b>                        | <b>10</b> |
| <b>HIPÓTESE.....</b>                             | <b>11</b> |
| <b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>              | <b>12</b> |
| <b>1.1 Biorrefinaria .....</b>                   | <b>12</b> |
| <b>1.2 Material Lignocelulósico.....</b>         | <b>13</b> |
| <b>1.3 Pré-Tratamentos .....</b>                 | <b>16</b> |
| <b>2.3 Etanol Lignocelulósico .....</b>          | <b>19</b> |
| <b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>            | <b>20</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>            | <b>21</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>               | <b>22</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                         | <b>23</b> |
| <b>APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE .....</b> | <b>26</b> |

## INTRODUÇÃO

O Brasil como maior produtor mundial de cana e de bioetanol proveniente da cana, gera anualmente grandes quantidades de resíduos como bagaço e palha. Esse estudo delimitou-se em colher informações sobre como reaproveitar esses resíduos e qual a melhor forma de realizar o pré-tratamento positivamente para a recuperação das frações polissacarídicas fermentescíveis e conseqüentemente a produção de etanol segunda geração e outros produtos de interesse, no âmbito do conceito de Biorrefinaria (unidade industrial destinada à conversão da biomassa em biocombustíveis e outros produtos com valor agregado), tendo como referência a revisão bibliográfica de artigos científicos relevantes e atuais sobre o tema (BRANDT-TALBOT, *et. al*, 2017).

Os materiais lignocelulósicos (materiais basicamente formados por celulose, hemicelulose e lignina nos vegetais) resultantes de processos agroindustriais são considerados como potencial fonte de energia renovável, contribuindo fortemente com a matriz energética nacional, que além do uso eficiente em biorecursos promove atenuação do problema causado pelas emissões de gases de efeito estufa e das mudanças climáticas (NEMANOVA *et. al*, 2014).

De acordo com Fang *et. al*, (2018), os materiais lignocelulósicos representam uma fonte de matéria prima pouco explorada no contexto da biorrefinaria e seu uso está baseado principalmente na oxidação da biomassa para cogeração de energia. Ainda de acordo com Fang *et. al*, (2018), com o grande volume gerado destes subprodutos agroindustriais, há recentemente um forte interesse dos setores de biotecnologia em proporcionar um melhor aproveitamento dos mesmos, transformando-os em outros produtos de com maior valor agregado.

Tratando-se de biorrefinaria, a biomassa lignocelulósica resulta em muitos produtos similares aos do refino do petróleo, incluindo biocombustíveis, no entanto é necessário realizar um pré-tratamento destas matérias-primas, que possui característica recalcitrante, para viabilizar economicamente o reaproveitamento desses resíduos.

É de fundamental importância fracionar as macromoléculas que formam a biomassa em celulose, hemicelulose e lignina, ou seja, em moléculas menores tornando os açúcares fermentescíveis, permitindo o acesso por microrganismos nessa abundante fonte de carboidratos de origem vegetal (TIAN, D *et. al*, 2017).

Atualmente estudos estão explorando novas maneiras para desestruturar os materiais lignocelulósicos buscando um melhor aproveitamento da biomassa na obtenção de outros produtos de interesse e não somente o etanol 2G, colaborando com o conceito de biorrefinaria.

Nesse contexto, destacam-se os líquidos iônicos (LI), que se assemelham aos solventes eutéticos extremos (DES) como uma alternativa ao fracionamento dos materiais lignocelulósicos, tendo essa tecnologia demonstrada boa capacidade na desestruturação de diferentes materiais lignocelulósicos, com bons rendimentos e principalmente pela seletividade das frações de hemicelulose e lignina. (EMINOV, *et. al*, 2014).

## **OBJETIVO GERAL**

Identificar novos métodos de tratamentos utilizados nos resíduos agroindustriais lignocelulósicos para a produção de etanol segunda geração (E2G)

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender quais são os métodos utilizados no tratamento da biomassa;
- Estudar a utilização desses métodos na estrutura industrial atual;
- Identificar as dificuldades encontradas na etapa do tratamento dos materiais lignocelulósicos.

## **JUSTIFICATIVA**

Devido à necessidade de realizar um pré-tratamento do resíduo agroindustrial lignocelulósico objetivando o máximo aproveitamento, na obtenção de produtos de interesse no âmbito do conceito de biorefinaria, essa pesquisa se justifica, pois contribui com o aumento do entendimento das técnicas e metodologias utilizadas nessa importante etapa do processo, fortalecendo o aumento da produção energética de maneira sustentável e contribuindo com a diminuição do impacto ambiental gerado pela oxidação dos resíduos lignocelulósicos na agroindústria.

## **HIPÓTESE**

Se aperfeiçoar a etapa do pré-tratamento do resíduo lignocelulósico, aumenta a produção de bioetanol e contribui com equilíbrio ambiental.

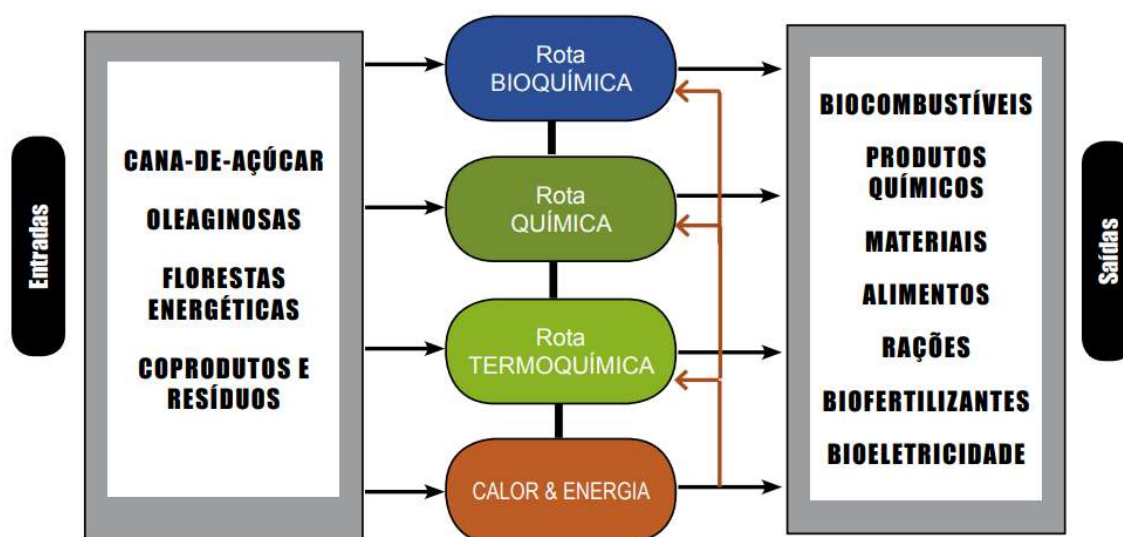
## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 Biorrefinaria

Biorrefinaria tem por conceito uma estrutura industrial semelhante à de uma refinaria de petróleo na qual se utiliza a biomassa como matéria-prima, integrando os processos bioquímicos, microbianos, físico-químicos para conversão e fracionamento dos materiais lignocelulósicos, objetivando a produção de biocombustíveis, produtos químicos, alimentícios, farmacológicos e energia a partir de resíduos agroindustriais além de seu melhor aproveitamento que apenas combustão para obtenção de energia térmica e elétrica. (EMBRAPA AGROENERGIA, 2011).

Segundo a Embrapa Agroenergia (2011), esse conceito ainda está em desenvolvimento e não há um modelo ideal pré-definido, quando as variáveis determinantes na implantação de unidades indústrias estão correlacionadas à disponibilidade da matéria-prima e de suas características físicas, pois cada tipo de material lignocelulósico deriva diferentes produtos de interesse, conforme Figura 1.

Figura 1 – Conceito de Biorrefinaria no cenário brasileiro



Fonte: Embrapa Agronergia (2011)

Segundo o membro-fundador da Sociedade Ibero-Americana para o Desenvolvimento de Biorrefinarias (SIADÉB), criada em 2011 em Portugal, o Dr. Silvio Vaz Junior, ressalta-se que o cenário energético industrial é muito dependente do petróleo, onde ações de desenvolvimento científico-tecnológico devem ser tomadas para a diminuição dos impactos

ambientais gerados por combustíveis fósseis e seus derivados, através do desenvolvimento de sistemas e processos sustentáveis baseados no princípio da “economia verde” e da formação de uma comunidade de especialistas das áreas relevantes desde a agricultura, logística, processos, químicos, biotecnológicas entre outros, formalizando metas contra o aquecimento global.

As biorrefinarias são classificadas por suas características de plataforma, matéria-prima, tipos de processos e por produtos, abrangendo várias formas de configurações e que a partir dessa classificação é possível mensurar o grau de dificuldade empregado no processo industrial. (CHERUBINI *et. al*, 2009).

A classificação por plataforma é semelhante ao conceito de refinaria de petróleo, onde a matéria-prima é fracionada em vários produtos intermediários que serão reprocessados posteriormente para a utilização, essa classificação é considerada a base do conceito de biorrefinaria, pois se podem utilizar diferentes processos em várias matérias-primas.

Já o entendimento de Cherubini *et. al*, (2009) com relação a classificação por produtos, os sistemas produtivos têm foco na obtenção de bioprodutos como biomateriais, lubrificantes, alimentos, rações entre outros e seus respectivos resíduos são reaproveitados e transformados em outros produtos ou queimados para a cogeração de energia.

A biomassa como fonte de matéria-prima renovável é convertida em produtos comercializáveis em uma biorrefinaria, quando essa matéria-prima pode ser subdividida em primária (quando produzem a cultura, como por exemplo, a cultura de cana-de-açúcar, grãos, forragens, madeiras entre outros), a secundária (são resíduos de processos, como por exemplo, serragem ou licor negro gerados pela indústria madeireira) e pôr fim a terciária (são resíduos pós-consumo, como por exemplo, resíduos sólidos ou águas residuárias) (CHERUBINI *et. al*, 2009).

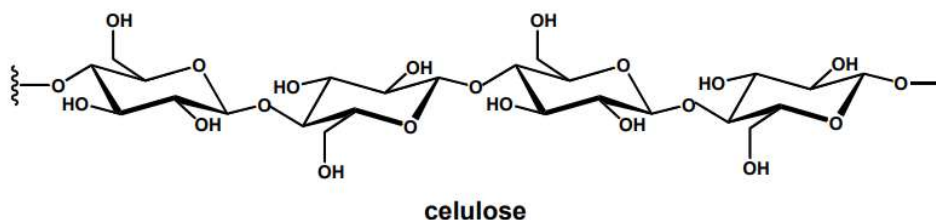
## 1.2 Material Lignocelulósico

Como um dos maiores produtores agrícolas do mundo o Brasil, gera anualmente grandes quantidades de resíduos sólidos de biomassa, como por exemplos o bagaço e palha da cana-de-açúcar, palha e sabugo de milho, casca da soja e amendoim, cavaco e serragem de madeiras provenientes de reflorestamentos, bagaço de laranja entre outros, tanto na colheita como na industrialização e processamento dessas *commodities* (Pelegrini e Oliveira Junior, 2011).

Para Lee *et al.*, (1997), os materiais lignocelulósicos são compostos majoritariamente por polissacarídeos, como a celulose e a hemicelulose que juntas representam aproximadamente setenta por cento (70%) da massa seca do material, entretanto são interligados pela lignina, uma macromolécula de cadeia altamente ramificada e recalcitrante, através de ligações covalentes e de hidrogênio. Segundo o autor (LEE, *et. al*, 1997), para que haja a fermentação dos açúcares existentes na biomassa, como as pentoses e hexoses por exemplo, deve-se promover a deslignificação das moléculas para acessar esses açúcares nela presente e assim disponibilizá-los para a fermentação biológica e consequentemente a produção de etanol de segunda geração.

De acordo com Domínguez (2003) a celulose é o maior componente individual do material lignocelulósico e o percentual pode variar conforme a biomassa, mas normalmente está entre 35-50% em peso base seca. É um polímero linear que consiste apenas de unidades de glicose  $\beta$ -1-4, formando cadeias planas ligadas por ligações de hidrogênio, de fórmula geral  $C_6H_{10}O_5$ , demonstrada na Figura 2.

**Figura 2 – Estrutura Primária da Celulose**

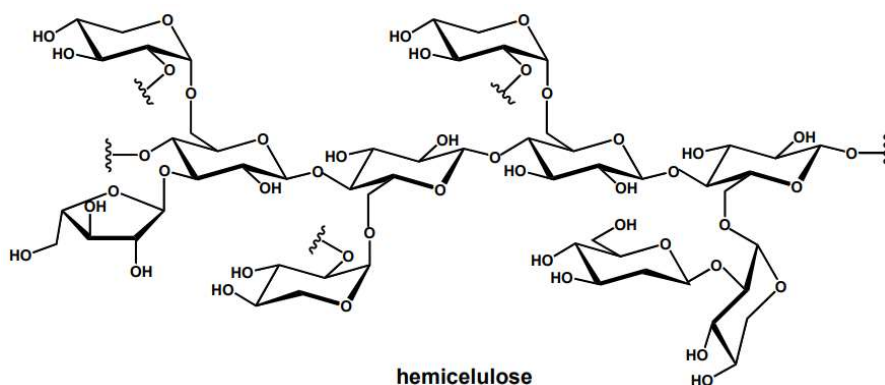


**Fonte: DOMÍNGUEZ (2003)**

A molécula de celulose assume a forma de fita achatada, com os grupos de hidroxila (-OH) livres, podendo formar ligações de hidrogênio, umas com as outras (DOMÍNGUEZ, 2003).

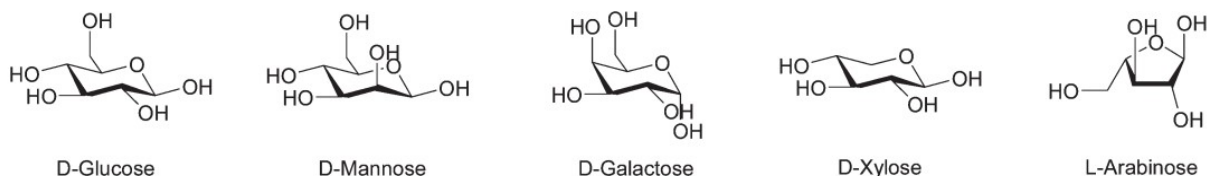
Silva (2009) descreve que hemiceluloses (Figura 3) estão presentes nas paredes celular dos vegetais. São polímeros compostos principalmente por pentoses, moléculas formadas por cinco carbonos (xilose e arabinose) e em menor quantidade por hexoses, moléculas formadas por seis carbonos (glicose, galactose e manose), além de ácidos urônicos. Esse polímero funciona como uma fase de adesão entre a celulose e a lignina e a sua degradação ocorre mais facilmente do que a celulose.

**Figura 3 – Estrutura Primária da Hemicelulose**



Fonte: DOMÍNGUEZ (2003)

**Figura 4 – Hexoses e Pentoses encontradas em hemiceluloses**

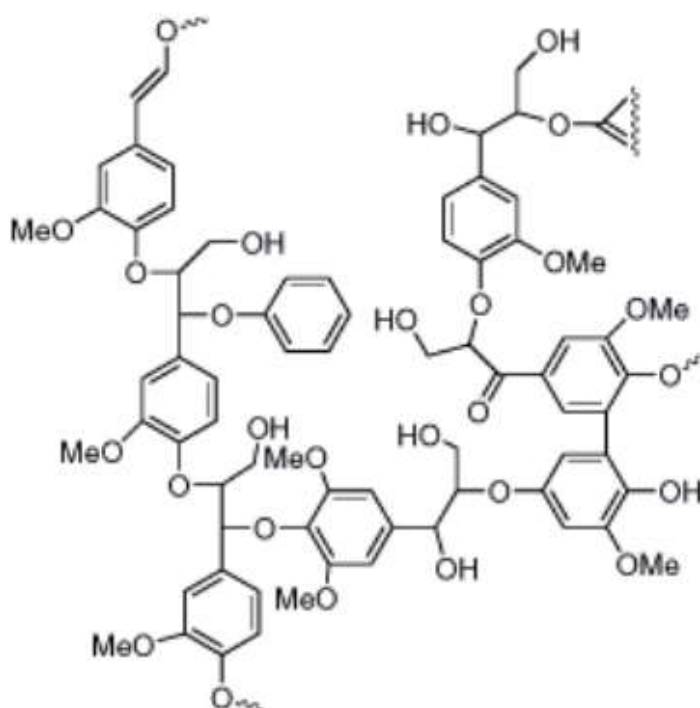


Fonte: BRANDT-T. et al., (2013)

Ainda com Brandt *et al.*, (2013), a lignina é um polímero aromático de cadeia altamente ramificada, insolúvel e resistente a água, sendo considerada a responsável pelo reforço estrutural dos vegetais e contra o ataque biológico e físico aos vegetais. A composição da lignina difere de acordo com a biomassa em estudo e isso dificulta o processo de deslignificação, tornando o acesso aos açúcares presentes mais difíceis para serem transformados em produtos de interesse graças a essa característica recalcitrante.

A fração de lignina (Figura 5) que corresponde a 10-25% (dependendo do tipo de biomassa) e não está relacionada como moléculas de açúcares simples, sendo está indesejável para a produção de bioetanol através de processos fermentativos. A separação da fração lignina das polioses determina o sucesso ou não da produção do etanol celulósico. Contudo, produtos à base de lignina tem sido alvo de várias pesquisas pelas suas características peculiares e também pela amplitude nas aplicações nos mais diferentes setores industriais. Porém, em grande parte essa molécula é oxidada para a cogeração de energia termoelétrica, pois possui alto poder calorífico. (NOGUEIRA, 2008).

Figura 5 – Estrutura molecular da lignina

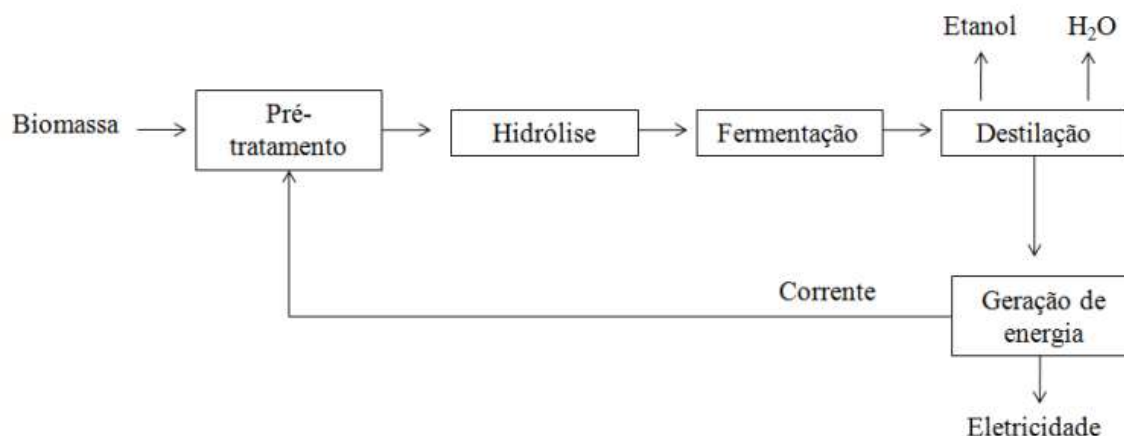


Fonte: Ferreira et al., (2009)

### 1.3 Pré-Tratamentos

Para se produzir bioetanol a partir de biomassas lignocelulósicas são necessárias quatro etapas (Figura 6) como o pré-tratamento (etapa do processo industrial onde os polímeros presentes no material lignocelulósicos são transformados em unidades monoméricas) que consiste em quebrar a estrutura cristalina da celulose, a hidrólise (física, química, enzimática, biológica e ou através do somatório dos métodos) para transformar os polissacarídeos em moléculas simples de açúcares, a fermentação (processo de conversão dos açúcares em etanol mais água através de ações de microbianas) para a conversão dos açúcares em bioetanol e por fim, a destilação (processo de separação de líquidos com pontos de ebulição distintos) para a separação de componentes e obtenção do etanol purificado (SANTOS *et. al.*, 2013).

**Figura 6 – Esquema de produção do etanol segunda geração**



**Fonte:** Adaptado de (Hamelinck et al., 2005)

Com interesse em acelerar o processo de hidrólise, que é muito lento em função da natureza recalcitrante da biomassa, e com o propósito de obter maiores rendimentos no processo industrial, faz a etapa de pré-tratamento a mais importante dentre as outras, pois seu resultado positivo ou não, interfere diretamente na digestibilidade dos açúcares, como também a produção de compostos inibidores ao bom funcionamento dos microrganismos responsáveis pela fermentação (GALBE; ZACCHI, 2007).

O principal objetivo da etapa de pré-tratamento é remover a lignina, aumentar a porosidade da biomassa, separar as frações de hemicelulose e celulose, além de reduzir a cristalinidade da celulose. Esse procedimento é muito importante para a formação das polioses, corroborando com a viabilidade econômica do processo (SAHA et al. 2005).

Muitos fatores podem afetar a hidrólise da celulose, esses fatores são a concentração do substrato, a temperatura, pH, entre outros parâmetros, para melhorar o rendimento e a taxa de hidrólise uma otimização do processo se faz necessário (Quadro 1). A combinação entre pré-tratamento com rotas de hidrólise enzimática (Celulases) é muito utilizada na atualidade, pois apresentam maior eficiência na degradação da estrutura da parede celular vegetal e quebram moléculas grandes de açúcares em pentoses e hexoses (SUN; CHENG, 2002).

Contudo, nem todos os microrganismos são capazes de transformar as pentoses em etanol, para isso devem-se utilizar cepas capazes de realizar essa conversão para aumentar o rendimento na produtividade e tornar o processo economicamente viável (HAHN-HARGERDAL et al, 2007).

**Quadro 1–Processos de pré-tratamento da biomassa para posterior hidrólise**

| <b>PRÉ-TRATAMENTO</b>              | <b>DESCRIÇÃO</b>                                                                                                                         |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Explosão a Vapor e ou (Catalisada) | Físico/Vapor ou [Combinada] (Catalisada com ácido sulfúrico) para diminuir a produção de inibidores e aumentar a remoção da hemicelulose |
| Termoidrólise                      | Físico/Água quente + pressão                                                                                                             |
| Hidrólise Ácida                    | Químico/Meio Aquoso (ácidos sulfúrico, clorídrico, ou nítrico)                                                                           |
| Hidrólise Alcalina                 | Químico/Meio Aquoso (hidróxidos de sódio ou cálcio)                                                                                      |
| Organosolv                         | Químico/Meio aquoso (mistura etanol, água e ácido sulfúrico ou clorídrico)                                                               |
| Líquidos Iônicos                   | Químico/Meio aquoso (mistura de reagentes orgânicos (aminoácidos), com baixo ponto de fusão, baixa toxicidade.                           |
| Biológicos                         | Fungos geralmente combinados com outros processos citados anteriormente nesta tabela                                                     |
| AFEX (ammonia fiber explosion)     | Físico/Vapor + Descompressão (Amônio)                                                                                                    |
| Explosão de CO <sub>2</sub>        |                                                                                                                                          |

**Fonte: adaptado de Hamelinck (2005)**

Para hidrolisar o material celulósico é comum quebrar ou moer mecanicamente antes, a fim de aumentar a área superficial do mesmo, onde geralmente duas rotas são empregadas na etapa do processo. A primeira geralmente a hidrólise ácida, a segunda é a hidrólise enzimática do material pré-tratado. Em ambos os casos, pode-se utilizar vários modos de operação, a escolha deve ser baseada em qual matéria-prima que será usado, o microrganismo usado durante a fermentação, o custo do processamento entre vários (Ogeda; Petri, 2010).

## 1.4 Etanol Lignocelulósico

O etanol de segunda geração, ou etanol celulósico, é gerado a partir dos co-produtos da cana-de-açúcar (palha, bagaço entre outros) e possibilita um incremento da produção do biocombustível, sem aumento da área cultivada (UNICA). Ainda informa que o avanço da tecnologia é a bioeletrificação dos carros, movidos com células combustíveis, que poderão gerar energia elétrica a bordo a partir do hidrogênio contido no etanol. E que os veículos híbridos flex, combinação de motores elétricos e a combustão, quando abastecidos com etanol se transformam nos carros mais limpos do mundo.

Contudo, Nyko et al., 2010, afirma que a produção de etanol lignocelulósico ainda não é economicamente viável e que a busca pela competitividade desse produto demanda muitos esforços de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). E que o Brasil apresenta vantagens importantes, como a biomassa da cana-de-açúcar, contudo, outros países também empreendem esforços para viabilizar a produção do etanol de segunda geração, o que pode colocar em xeque a liderança tecnológica brasileira conquistada na produção de etanol de primeira geração.

Segundo matéria publicada pelo jornalista Elton Alisson da Agência FAPESP (2017), em entrevista ao pesquisador Antonio Bonomi, coordenador da divisão de inteligência de processos do Laboratório Nacional de Ciências e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), do Centro Nacional de Pesquisa em Engenharia e Materiais (CNPEM) e membro da coordenação do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN), é que por volta do ano 2025, futuro muito próximo, o custo de produção do etanol celulósico empata com o de primeira geração e ainda afirma que em 2030 esse custo tende a ser menor do que o de primeira geração, desde que superados os atuais obstáculos agrícolas, industriais e tecnológicos.

## **2 METODOLOGIA DA PESQUISA**

Para um melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória de natureza básica, onde se detectou a necessidade de pesquisar bibliograficamente utilizando materiais já elaborados: como livros, artigos científicos e revistas, entre outros conteúdos, em banco de dados confiáveis como Scielo, Google Acadêmico e ISI Web of Science, na busca e alocação de conhecimento sobre as formas de tratamento de material lignocelulósico (resíduo agroindustrial) para a produção de etanol de segunda geração, correlacionando os conhecimentos descritos por outros pesquisadores. No futuro essa problemática será convertida em pesquisa experimental em laboratório, em função ao isolamento populacional promovido pela pandemia Covid-19, a mesma não pode ser realizada no momento de forma prática.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados coletados nessa pesquisa, observou-se um grande potencial em aumentar consideravelmente a produtividade brasileira de bioetanol até 2025, sem aumentar as áreas cultivadas, reaproveitando resíduos agroindustriais de origem lignocelulósicos.

Contudo, investimentos e pesquisas dedicadas serão fundamentais para o estabelecimento desse ciclo produtivo, pois o mercado ainda está em desenvolvimento e formação e o etanol celulósico ainda custa mais caro do que o etanol de primeira geração. Entretanto, com os avanços realizados pelo setor sucro-energético brasileiro nos últimos anos, estima-se que até o ano de 2030, o custo do etanol segunda geração fique abaixo do custo de produção do etanol de primeira geração. Além de colaborar efetivamente com a produção de químicos renováveis (química verde) dentro do conceito de biorrefinaria, suprimindo estrategicamente na totalidade e ou em partes um déficit nacional por esses químicos.

Deve-se levar em consideração a aplicação do conceito de biorrefinaria e a construção de novas unidades industriais para o máximo aproveitamento dos resíduos, sejam integradas as plantas industriais já existentes ou na construção de novas Biorrefinarias exclusivamente.

Ao cruzarmos os dados da Companhia Nacional de Abastecimento, que estimou a produção de cana-de-açúcar brasileira na safra 2020/21 em aproximadamente 592 mil de toneladas (CONAB, 2021), com as informações obtidas na plataforma digital de notícias do setor Cana Online em (2017), que publico a informação de que uma tonelada de cana processada gera aproximadamente 280 quilos de bagaço em base seca, estima-se que a disponibilidade anual desse resíduo (palha+bagaço de cana) é aproximadamente 166 mil toneladas.

E para a Nova Cana (2021), uma tonelada de bagaço “in natura” pode atingir até 150 litros de etanol combustível, se vencida a barreira da fermentação alcoólica das pentoses, somando aos produtos obtidos a partir da fermentação das hexoses, pode-se superar a produção do etanol primeira geração (32.503 mil m<sup>3</sup> – safra 21/22), segundo dados coletados no observatório da cana (Observatório da Cana, 2021), contra o cálculo estimado do etanol segunda geração, que nominalmente possui capacidade produtiva levando em consideração as quantidades dos resíduos (palha+bagaço), apenas, versus o potencial produtivo de etanol de 150 litros por tonelada de biomassa processada, na ordem de aproximadamente 38 mil m<sup>3</sup> de etanol celulósico, superando a produção do etanol primeira geração.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Concluimos com esse trabalho de pesquisa bibliográfica que é fundamental aperfeiçoar a etapa do pré-tratamento da biomassa lignocelulósica para aumentar a produção de bioetanol e com isso diminuir o custo do produto final do produto, assim torná-lo competitivo em relação ao etanol de primeira geração. E que o máximo aproveitamento dos resíduos agroindustriais dentro do conceito de biorrefinaria, promovem maior equilíbrio ambiental e diminuição das emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera.

Contudo há obstáculos a serem vencidos, principalmente em investimentos em plantas industriais novas, mais tecnológicas e independentes das indústrias sucroenergéticas já existentes.

Por fim, concluimos que há potencialmente capacidade de alavancar consideravelmente a produção total de etanol no Brasil, sem aumentar as áreas de plantio de matéria-prima, que proporciona maior equilíbrio ambiental e sustentabilidade.

Dessa forma, novos estudos serão realizados, bem como um plano de negócios para o desenvolvimento de planta piloto de Nano Biorrefinaria será tema de um próximo trabalho num futuro próximo.

## REFERÊNCIAS

- ALISSON, E. Etanol de segunda geração poderá ser economicamente viável à partir de 2025. Agência FAPESP. Data da Publicação: 28 set 2017. Disponível em: <[Etanol de segunda geração poderá ser economicamente viável a partir de 2025 | AGÊNCIA FAPESP](#)> Acesso 30 nov 21.
- BRANDT-TALBOT, A et al Green Chem., 2013, 15, 550. Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. DOI: 10.1039/c2gc36364j. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2012/gc/c2gc36364j>> Acesso: 03 nov 2021
- BRANDT-TALBOT, A. *et al.* An economically viable ionic liquid for the fractionation of lignocellulosic biomass. **Green Chemistry**, v. 19, n. 13, p. 3078–3102, 2017. Disponível em: <[An economically viable ionic liquid for the pretreatment of lignocellulosic biomass \(researchgate.net\)](#)> Acesso: 05 mar 2021.
- CHERUBINI, F.; JUNGMEIER, G.; WELLISCH, M.; et al. Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 3, p. 534–546, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/bbb.172>> Acesso: 25 out 2021.
- CANA ONLINE (2017) – Plataforma digital de notícias do setor: **Subprodutos da cana-aliados ou problemas?** Disponível em <<https://www.canaonline.com.br/conteudo/subprodutos-da-cana-aliados-ou-problemas.html>> Acesso 08 nov 2021.
- CANILHA, L.; MILAGRES, A.M.F.; SILVA, S.S.; SILVA, J.B.A. e; FELIPE, M.G.A.; ROCHA, G.J.M.; FERRAZ, A.; CARVALHO, W. Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 44, p. 48-54, jan. 2010
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, agosto 2021. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>> Acesso 08 nov 2021.
- DOMÍNGUEZ, J.M.O. Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre *Kluyveromyces marxianus*. Tese de Doutorado. Universidad Complutense de Madrid, 2003. Disponível em: <<https://eprints.ucm.es/id/eprint/4804/1/T26833.pdf>> Acesso: 02 nov 2021.
- EMBRAPA AGRONERGIA, 2011 – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. O conceito de biorrefinaria; O potencial e a importância das biorrefinarias; Os resíduos lignocelulósicos. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-geral/-/busca/biorrefinaria?buscaPortal=biorrefinaria>> Acesso: 25 Out 2021.
- FANG, H. *et al.* Effects of Oligosaccharides Isolated From Pinewood Hot Water Pre-hydrolyzates on Recombinant Cellulases. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 6, 2018. DOI: [10.3389/fbioe.2018.00055](https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00055)–Disponível em: <[Frontiers | Effects of Oligosaccharides Isolated From Pinewood Hot Water Pre-hydrolyzates on Recombinant Cellulases | Bioengineering and Biotechnology \(frontiersin.org\)](#)> Acesso em: 03 abr 2021.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, 2009. Disponível em: <[SciELO - Brazil - Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares](#)> Acesso 06 nov 2021

GALBE M., ZACCHI G., (2007) Pretreatment of Lignocellulosic Materials for Efficient Bioethanol Production. In: Olsson L. (eds) *Biofuels. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, vol 108. Springer, Berlin, Heidelberg. Disponível em <[https://doi.org/10.1007/10\\_2007\\_070](https://doi.org/10.1007/10_2007_070)> Acesso 06 nov 2021

HAHN-HÄGERDAL, B. et al. Towards industrial pentose-fermenting yeast strains. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 74, p. 937–53, 2007. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s00253-006-0827-2>> Acesso 08 nov 2021.

HALDER, P. *et al.* (2019) ‘Progress on the pre-treatment of lignocellulosic biomass employing ionic liquids’, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier Ltd, 105 (September 2018), pp. 268–292. DOI: 10.1016/j.rser.2019.01.052. Disponível em: <Progress on the pre-treatment of lignocellulosic biomass employing ionic liquids - ScienceDirect> Acesso em: 23 abr 2021

HAMELINCK, C. N. et al. Etanol from lignocellulosic biomass: technoeconomic performance in short, middle and long term. *Biomass and Bioenergy*, v. 28, p. 384-410, 2005. Disponível <<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.09.002>> Acesso 08 nov 2021.

LEE, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of Biotechnology*, v. 56, p. 1-24, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(97\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(97)00073-4) Acesso: 02 nov 2021

MILANEZ, A. Y. et al., **De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública**. Bibliografia: p. 286-289 Anexos: p. 289-294. *BNDES Setorial*, n. 41, mar. 2015. Disponível em <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4283> Acesso 08 nov 2021.

NEMANOVA, V; ABEDINI, A; LILIEDAHL, T; ENGVALL, K. **Co-gasification of petroleum coke and biomass**. *Fuel* 2014; 117:870–5. Wan KD, Wang ZH, He Y, Xia J, Zhou ZJ, Zhou JH, et al. Experimental and modeling study of pyrolysis of coal, biomass and blended coal–biomass particles. *Fuel* 2015; 139:356–64 DOI: [10.1016/j.fuel.2013.09.050](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.050). Disponível em: <[Co-gasification of petroleum coke and biomass - ScienceDirect](#)> Acesso: 20 mar 2021.

NYKO, Diego et al. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 32, p. 5-48, set. 2010. Disponível em <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2406>> Acesso: 30 nov 21.

NOGUEIRA, L. A. H. Bioálcool de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável, Banco Nacional de Desenvolvimento e Economia Social- BNDES e Centro de

Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, Rio de Janeiro, 2008. <010 (Eng\_Alimentos) ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO - definição e perspectivas.pdf (aems.edu.br)> Acesso: 06 nov 2021.

NOVA CANA (2021) – Notícias do Setor. Disponível em<<https://www.novacana.com/etanol/materias-primas>> Acesso 08 nov 2021.

Ogeda, T.L., Petri, D.F.S., 2010. Hidrólise Enzimática de Biomassa. Química Nova 33, 1549–1558.. Disponível em<doi:10.1590/s0100-40422010000700023> Acesso: 29 nov 21.

Pellegrini, L. F. and de Oliveira Junior, S. (2011) ‘Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization’, *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2010.08.011.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. Viçosa: Ed. da UFV, 2013. Disponível em:<<https://locus.ufv.br/handle/123456789/3331>> Acesso: 06 nov 2021.

SAHA, C. B. I. et al. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol, *Process Biochemistry*, n. 40, p. 3693–3700, 2005. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.04.006>> Acesso 06 nov 2021.

SILVA, V. F. N. Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97131/tde-22082013-084521/pt-br.php>> Acesso: 03 nov 2021.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, v. 83, p. 1-11, 2002. Disponível em<[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)> Acesso 06 nov 2021.

TIAN, D. et al. A comparison of various lignin-extraction methods to enhance the accessibility and ease of enzymatic hydrolysis of the cellulosic component of steam-pretreated poplar. **Biotechnology for Biofuels**. v. 10, p. 152. 2017. DOI 10.1186/s13068-017-0846-5. Disponível em: <[A comparison of various lignin-extraction methods to enhance the accessibility and ease of enzymatic hydrolysis of the cellulosic component of steam-pretreated poplar | Biotechnology for Biofuels | Full Text \(biomedcentral.com\)](https://doi.org/10.1186/s13068-017-0846-5)> Acesso: 18 abr 2021.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em< [Nova era da mobilidade - UNICA](#)> Acesso 30 nov 21.

VAZ, Silvio Jr. A Criação da Sociedade Ibero-Americana para o Desenvolvimento das Biorrefinarias: Artigo de Opinião. Revista RQI-731, 2º semestre 2011, p.3 ISSN: 0370694X. Disponível em:<[www.abq.org.br/rqi/Edicao-731.html](http://www.abq.org.br/rqi/Edicao-731.html)> Acesso: 25 out 2021

**APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE****TERMO DE ORIGINALIDADE**

Eu, Leonardo Camargo Balieiro, RG [REDACTED] CPF [REDACTED], aluno regularmente matriculado no **Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado Tratamento de Materiais Lignocelulósicos para obtenção de Etanol Segunda Geração é **ORIGINAL**.

Declaro que recebi orientação sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tenho conhecimento sobre as Normas do Trabalho de Graduação da Fatec-JB e que fui orientado sobre a questão do plágio.

Portanto, estou ciente das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas de meu Trabalho de Graduação, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, [inserir dia, mês e ano].



LEONARDO CAMARGO BALIEIRO