

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

MARIA ANDRESA SANTOS ISIDORIO

**ETAPAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-
DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO: UMA REVISÃO**

CAMPINAS/SP

2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

MARIA ANDRESA SANTOS ISIDORIO

**ETAPAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-
DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO: UMA REVISÃO**

Trabalho de Graduação apresentado por Maria Andresa Santos Isidorio, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Fábio Mazzariol Santiciolli.

CAMPINAS/SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas – Biblioteca

I81e

ISIDORIO, Maria Andresa Santos

Etapas de pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar, para produção de Etanol de segunda geração: uma revisão. Maria Andresa Santos Isidoro. Campinas, 2022. 27 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Mazzariol Santiciolli.

1. Etanol. 2. Resíduo. 3. Pré-tratamento. 4. Bagaço de cana-de açúcar. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 662.6

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 22.2


Maria Andresa Santos Isidorio

Processos de beneficiamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol de segunda geração: uma revisão bibliográfica


Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – FatecCampinas.

Campinas, 02 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Fábio Mazzariol Santiciolli
Fatec Campinas



Ana Carolina Barros de Gennaro Veredas
FATEC
Campinas



Daniela Dal Fabbro Amorim
FATEC Campinas

RESUMO

As questões ambientais e a demanda de consumo de uma população em constante crescimento levam a discussões sobre a produção de biocombustíveis a partir da biomassa, como o etanol celulósico ou de segunda geração (E2G). A constante produção de resíduos, como o bagaço de cana-de-açúcar, biomassa lignocelulósica composta por celulose, hemicelulose e lignina, evidenciou a necessidade de metodologias e tecnologias para o aproveitamento integral desse resíduo, que difere da produção do etanol de primeira geração (E1G), por exemplo. Para o E2G, a etapa de pré-tratamento visa separar a hemicelulose e lignina da celulose, uma vez que a substância de interesse no processo fermentativo é a celulose. As etapas adicionais para o preparo da biomassa lignocelulósica acabam gerando custos excedentes e conseqüentemente a necessidade de aprimoramento em relação as tecnologias atualmente utilizadas. Este trabalho de revisão bibliográfica tem como objetivo estabelecer um comparativo entre metodologias de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica advindas do bagaço de cana-de-açúcar, visando um maior entendimento a respeito da eficácia de cada tipo de pré-tratamento e a possibilidade da junção de mais de um tipo para a obtenção de um melhor resultado.

Palavras-chave: etanol; resíduo; pré-tratamento, bagaço de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Environmental issues and the consumption demand of a constantly growing population lead to discussions on the production of biofuels from biomass, such as cellulosic or second-generation ethanol (E2G). The constant production of residues, such as sugarcane bagasse, lignocellulosic biomass composed of cellulose, hemicellulose and lignin, highlighted the need for methodologies and technologies for the full use of this residue, which differs from the production of first generation ethanol (E1G), for example. For E2G, the pre-treatment step aims to separate hemicellulose and lignin from cellulose, since the substance of interest in the fermentation process is cellulose. The additional steps for the preparation of lignocellulosic biomass end up generating excess costs and, consequently, the need for improvement in relation to the technologies currently used. This bibliographic review aims to establish a comparison between pre-treatment methodologies for lignocellulosic biomass derived from sugarcane bagasse, aiming at a greater understanding of the effectiveness of each type of pre-treatment and the possibility of combining of more than one type to obtain a better result.

Keywords: ethanol; residue; pre-treatment, sugarcane bagasse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo simplificado da produção de etanol de segunda geração	9
Figura 2 - Estrutura de uma molécula de celulose	11
Figura 3 - Estrutura dos álcoois precursores da lignina: p-coumarílico (1), coniferílico (2) e sinapílico (3)	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química média dos principais componentes de alguns materiais lignocelulósicos.....	12
Tabela 2 – Comparativo entre estudos, evidenciando o método de pesquisa e discutindo vantagens e desvantagens.....	17

LISTA DE ABREVIATURAS

E1G	Etanol de primeira geração
E2G	Etanol de segunda geração
BCA	Bagaço de cana-de-açúcar
NaOH	Hidróxido de sódio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	10
2.1 MATERIAL LIGNOCELULÓSICO	10
2.1.1 <i>Celulose</i>	10
2.1.2 <i>Hemicelulose</i>	11
2.1.3 <i>Lignina</i>	11
2.2 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	13
2.2.1 <i>Bagaço de cana-de-açúcar</i>	13
2.3 ETAPAS DE PROCESSAMENTO E BENEFICIAMENTO	13
2.3.1 <i>Pré-tratamento físico</i>	13
2.3.2 <i>Pré-tratamento químico</i>	14
2.3.2.1 <i>Pré-tratamento alcalino</i>	14
2.3.2.2 <i>Pré-tratamento ácido</i>	14
2.3.3 <i>Pré-tratamento por explosão a vapor</i>	15
2.4 HIDRÓLISE DA BIOMASSA	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

A obtenção do Etanol a partir de resíduos como a biomassa lignocelulósica tem ganhado destaque no Brasil. Isso acontece, pois, esse biocombustível apresenta diversas vantagens como a menor emissão de gases de efeito estufa durante sua queima, a grande disponibilidade de resíduo gerado, ser renovável e sustentável, além de ser uma alternativa a utilização de combustíveis fósseis, que são recursos limitados e mais poluentes. (ANDRADE et al, 2018).

As questões ambientais e a demanda de consumo de uma população em constante crescimento também levam a discussões sobre a produção de biocombustíveis a partir da biomassa. O Brasil é líder na produção de cana-de-açúcar, matéria-prima para produção do Etanol de primeira geração (E1G), importante produto na economia de exportação e consumo interno no país. O processo produtivo do E1G gera um resíduo que tem enorme potencial de aproveitamento para a produção do Etanol de segunda geração (E2G), o bagaço de cana-de-açúcar, biomassa lignocelulósica composta por celulose, hemicelulose e lignina. (OLIVEIRA, NUNES e SOUZA, 2020). A utilização desse resíduo pode aumentar a produção de biocombustível no país sem a necessidade de aumentar a área plantada. (JARDINE et al, 2009).

No entanto, para o aproveitamento integral desse resíduo são necessárias algumas etapas adicionais quando comparado ao processo produtivo do E1G. A figura 1 exemplifica as etapas do processo produtivo. O E1G não necessita das etapas de pré-tratamento e hidrólise, uma vez que o suco da cana-de-açúcar já está apto para o processo fermentativo. (AGUIAR, 2017).

Figura 1 - Processo simplificado da produção de etanol de segunda geração.



Fonte: NUNES et al, 2013.

A etapa de pré-tratamento visa separar a hemicelulose e lignina da celulose, uma vez que a substância de interesse no processo fermentativo é a celulose. Alguns tipos de pré-tratamento são utilizados, entre eles o físico, o químico, a combinação de físico e químico, e a explosão a vapor (hidrotérmico).

Santiago (2017) aponta que as etapas adicionais para o preparo da biomassa lignocelulósica acabam gerando custos excedentes e conseqüentemente a necessidade de aprimoramento em relação as tecnologias utilizadas até então. Este trabalho de revisão bibliográfica é fundamentado na importância da existência de estudos que reúnam informações a respeito de tecnologias desenvolvidas para produção de Etanol de Segunda Geração no Brasil, focando nas etapas de beneficiamento de biomassa, visto que a geração de resíduos é constante e possui enorme potencial econômico e ambiental.

Este trabalho tem como objetivo estudar metodologias de Pré-tratamento de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração, estabelecendo um comparativo entre os métodos estudados, e assim, verificar a possibilidade da junção de mais de um tipo de pré-tratamento para a obtenção de um melhor resultado, avaliando as vantagens e desvantagens em relação ao uso de reagentes ácidos e alcalinos.

2. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

O etanol de segunda geração ou etanol celulósico é um biocombustível renovável produzido a partir de resíduos, em sua grande maioria agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar (resíduo obtido a partir da cana de açúcar, esta, por sua vez, é a principal matéria-prima para a produção do etanol de primeira geração). Por utilizar um resíduo, são necessárias algumas etapas para que o processo produtivo seja satisfatório e haja o aproveitamento integral do material lignocelulósico, são elas: o pré-tratamento, a hidrólise enzimática e a fermentação dos açúcares. (PEIXOTO et al, 2017). A produção e uso desse biocombustível apresenta diversas vantagens, como a diminuição do uso de combustíveis fósseis, redução da emissão de gases de efeito estufa e a movimentação das indústrias. (LIBERATO, 2019)

2.1 MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

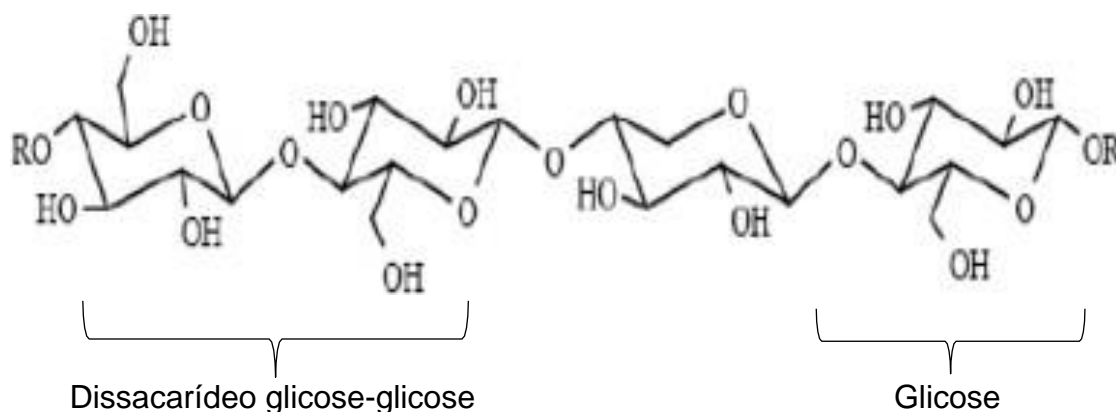
Dentre as diversas biomassas existentes, a lignocelulósica é a mais abundante, sendo composta por celulose, hemicelulose e lignina. Esses três componentes estão presentes na parede celular das plantas. A celulose e a hemicelulose são polímeros polissacarídeos, já a lignina é uma macromolécula fenólica. (JÚNIOR, 2015). A celulose é insolúvel em água e é constituída por monômeros de glicose que estão associados a rigidez. Quando agrupada, essa molécula apresenta áreas denominadas amorfas e cristalinas. As áreas cristalinas são caracterizadas por possuírem alto nível de organização, causando maior resistência a degradação, também chamada de recalcitrância. (ABUD, 2016). A lignina é encontrada polimerizada entre as camadas de celulose e ligadas de forma covalente a hemicelulose, constituindo camadas de polissacarídeos celulósicos, não celulósicos e lignina na parede celular. As ligações de hemicelulose e lignina isolam e dificultam o acesso à celulose, um fator que também aumenta a recalcitrância. (VIANA,2017).

2.1.1 Celulose

A celulose é um polissacarídeo linear de fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, composto por anéis de β -D-glicopirranose unidos por ligações β (1 \rightarrow 4) glicosídicas. (VIANA, 2017). O dissacarídeo glicose-glicose é a unidade repetitiva desse polissacarídeo.

A associação dessas moléculas confere os agregados que formam as unidades cristalinas da celulose, que está ligada a maior resistência e a insolubilidade em água. (SANTOS et al, 2012).

Figura 2 - Estrutura de uma molécula de celulose.



Fonte: Adaptado de Fengel e Wegner, 1989.

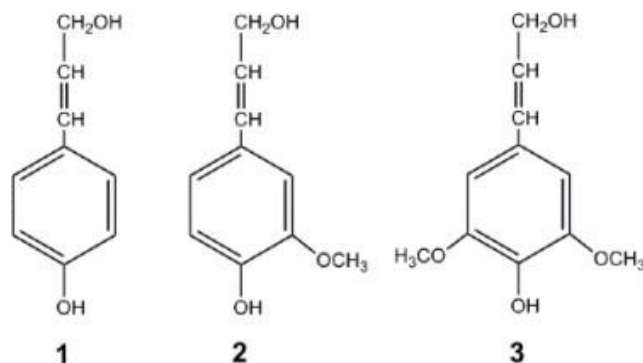
2.1.2 Hemicelulose

É um heteropolissacarídeo solúvel em água e amorfo, mais fácil de ser degradado, diferente da celulose. Sua cadeia central é composta por glicose e cadeias laterais que podem ser de glicose, xilose, manose ou arabinose. (ABUD, 2016). Sua característica amorfa e a composição combinada de diversos açúcares possibilitam a solubilidade em água. (SILVA, 2009).

2.1.3 Lignina

É uma macromolécula de estrutura irregular, é formada pelos álcoois p-coumarílico, coniferílico e sinapílico, unidas por ligações C-C e por formações de éteres ou unidades fenilpropânicas. (JÚNIOR, 2015). A figura ilustra a estrutura da lignina.

Figura 3 - Estrutura dos álcoois precursores da lignina: p-coumarílico (1), coniferílico (2) e sinapílico (3).



Fonte: Medina, 2013.

A lignina é encontrada em maior concentração na parede secundária da célula. (VIANA, 2017).

Existem algumas biomassas que são produzidas e encontradas em maior abundância no Brasil. Na tabela 1, são descritas as porcentagens em massa por massa das principais biomassas lignocelulósicas.

Tabela 1 - Composição química média dos principais componentes de alguns materiais lignocelulósicos.

Biomassa Lignocelulósica	Celulose (% m/m)	Hemicelulose (% m/m)	Lignina (% m/m)
Farelo de cevada	23,0	32,7	24,4
Sabugo de milho	31,7	34,7	20,3
Folhas de milho	37,6	34,5	12,6
Bagaço de cana	40,2	26,4	25,2
Palha de arroz	43,5	22,0	17,2
Palha de trigo	33,8	31,8	20,1
Palha de sorgo	34,0	44,0	20,0
Eucalyptus grandis	4,02	15,7	26,9
Eucalyptus globulus	46,3	17,1	22,9

Fonte: Adaptado de Silva (2010).

2.2 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

A biomassa é um resíduo proveniente de atividades agroindustriais, no caso da lignocelulósica. No Brasil, cresce cada vez mais a produção desses resíduos e junto disso a necessidade de agregar valor por meio de um material que possui tanto potencial de gerar uma economia circular. Nesse contexto surgiram as biorrefinarias, que têm como objetivo transformar a biomassa em biocombustível, eletricidade e outros produtos de interesse. (GAETE, TEODORO e MARTINA, 2020). No setor da agroindústria, o Brasil é líder na produção de cana-de-açúcar, produzindo em 2020 cerca de 642,7 mil toneladas dessa commodity. (CONAB, 2020). A cana-de-açúcar é utilizada como matéria prima para a produção de açúcar e etanol, gerando grande quantidade de resíduo como o bagaço de cana-de-açúcar, biomassa lignocelulósica de grande potencial para produção do etanol de segunda geração ou celulósico.

2.2.1 Bagaço de cana-de-açúcar

É o resíduo sólido proveniente do processo de trituração da cana-de-açúcar para obtenção do sumo, comumente utilizado para a produção do etanol de primeira geração. (NUNES et al, 2013). O bagaço de cana de açúcar (BCA) é a biomassa lignocelulósica mais abundante no Brasil, de modo que existem diversos estudos que tentam viabilizar o aproveitamento desse resíduo, com foco na produção do etanol de segunda geração, visto que o bagaço possui quantidade considerável de celulose.

2.3 ETAPAS DE PROCESSAMENTO E BENEFICIAMENTO

A biomassa precisa ser submetida a algumas etapas de processamento para que esse resíduo seja viável para a produção do etanol de segunda geração. São elas o pré-tratamento químico e físico, a hidrólise, a fermentação e a destilação. (OLIVEIRA, NUNES, SOUZA, 2020).

2.3.1 Pré-tratamento físico

O pré-tratamento é designado a ampliar a área de superfície da biomassa lignocelulósica para a ação enzimática, deixando as partículas do material em um tamanho reduzido e modificando sua estrutura. Alguns processos são empregados no

pré-tratamento físico, a moagem é um exemplo, tornando o material que inicialmente é volumoso em partículas menores que são mais bem aproveitadas nos processos seguintes. (ANDRADE et al, 2018). Os métodos aplicados neste tipo de tratamento são considerados menos agressivos ao meio ambiente.

A metodologia proposta por Andrade et al (2018) consistia em desidratar o BCA a 65°C com o objetivo de atingir peso constante, posteriormente o BCA desidratado foi submetido a um moinho de facas com peneiras de 1mm de diâmetro. De acordo com os autores, esse processo físico possibilitou um melhor desempenho nas etapas de determinação de celulose e lignina, assim como a sua separação.

Para Santo (2020), a etapa de desidratação não foi necessária, entretanto, as etapas referentes ao moinho de facas e a passagem pelas peneiras também foram utilizadas, sendo especificada a peneira de 20 mesh.

Oliveira, Nunes e Souza (2020), utilizaram um liquidificador afim de triturar o BCA e submeteram a uma peneira de 40 mesh e de 60 mesh.

2.3.2 Pré-tratamento químico

2.3.2.1 Pré-tratamento alcalino

O pré-tratamento químico alcalino visa principalmente a remoção da lignina do complexo lignocelulósico. (ANDRADE et al, 2018). São utilizados reagentes não poluentes e não corrosivos, em sua maioria, incluindo o Hidróxido de sódio (NaOH), Carbonato de cálcio (CaCO₃), Hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e Peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

Oliveira, Nunes e Souza (2020); Andrade et al (2018) e Abreu (2020) aplicaram o pré-tratamento químico alcalino para o BCA utilizando respectivamente: NaOH, NaOH e H₂O₂. Entretanto, as quantidades de massa de BCA e volume de reagentes foram diferentes, assim como o tempo que o material ficou em contato com o reagente.

2.3.2.2 Pré-tratamento ácido

O pré-tratamento ácido é realizado após a etapa de pré-tratamento alcalino, com o objetivo de aumentar o acesso as moléculas de celulose, uma vez que ele é capaz de solubilizar moléculas como a hemicelulose. Contudo, o uso de ácido

concentrado pode trazer algumas desvantagens como a corrosão do equipamento utilizado, um consumo muito elevado de ácido e o perigo da sua toxicidade. (ALVIRA et al, 2010).

Oliveira, Nunes e Souza (2020), evidenciam em sua metodologia o uso de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), onde a amostra de BCA junto ao ácido foram levadas a autoclave com intervalos de tempo e temperatura distintas, com o objetivo de romper as fibras da biomassa através da ação do calor úmido.

2.3.3 Pré-tratamento por explosão a vapor

A explosão a vapor consiste no emprego de um vapor em alta pressão e alta temperatura, como a autoclave, seguida de uma descompressão rápida, que causa uma espécie de explosão na parede celular. Esses fatores causam uma abertura na parede celular da biomassa, forçando a passagem de vapor quente e água entre as camadas da parede celular, obtendo um material menos trabalhoso para outras etapas como a enzimática. (SILVA, 2021); (SILVA, 2012).

Barbosa et al (2020), descreve em sua metodologia o uso da explosão a vapor em autoclave para pré-tratamento do BCA.

2.4 HIDRÓLISE DA BIOMASSA

A hidrólise é necessária no processo produtivo do etanol de segunda geração para que ocorra a liberação dos açúcares fermentescíveis. (LUCARINI et al, 2017). Subsequente à etapa de pré-tratamento, a hidrólise pode ser ácida ou enzimática, com a diferença básica do mecanismo de ação, sendo a hidrólise ácida conduzida por meio de substâncias ácidas de alto rendimento que comumente geram reações secundárias por não serem específicas ao meio. Na hidrólise enzimática, são utilizadas enzimas catalisadoras de alta especificidade, que não produzem reações secundárias pois conseguem atingir o sítio ativo da celulose, molécula de interesse para a fermentação, no entanto, a reação é mais lenta e requer uma quantidade elevada de enzimas para que o processo seja rentável. (OGEDA e PETRI, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como base a revisão bibliográfica. Segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica compreende todo material publicado a respeito de um assunto que já foi tornado público e está à disposição do pesquisador, seja essa bibliografia em forma de monografias, revistas, teses, livros ou por outros meios de comunicação como o rádio e filmes.

A pesquisa foi construída a partir de livros, físicos e e-books, monografias, artigos e teses encontradas por meio do Google Acadêmico, Scielo, Portal de Periódicos Capes, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, Lume - Repositório Digital da UFRGS e a biblioteca da Fatec Campinas.

A busca pelos materiais bibliográficos foi orientada por algumas palavras-chave, são elas, Biomassa, Etanol 2G, Material Lignocelulósico e Processamento de resíduos. Alguns critérios foram adotados para a seleção dos materiais encontrados durante a pesquisa, tais como, um recorte temporal de 5 anos, selecionando artigos que foram publicados entre 2018 e 2022.

Neste recorte, foram selecionados e analisados uniformemente 5 artigos que tratam do pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar, dos autores Andrade et al, (2018); Santo, (2020); Oliveira, Nunes e Souza, (2020); Abreu, (2020) e Barbosa et al, (2020). Entretanto, para base de referencial bibliográfico do trabalho como um todo foram utilizados mais de 35 materiais que englobam todo o universo de biocombustíveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa dos artigos propostos mostrou que existem alguns parâmetros que precisam ser analisados ao definir um método como eficaz ou não. Para a produção de um biocombustível, além do aproveitamento de um resíduo, é necessário que existam escolhas inteligentes em cada etapa do processo, que envolvem gastos de energia, reagentes e água.

Foram estudadas pesquisas de Andrade et al (2018); Santo (2020); Oliveira, Nunes e Souza (2020); Abreu (2020) e Barbosa et al (2020), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre estudos, evidenciando o método de pesquisa e discutindo vantagens e desvantagens.

Autor	Objetivo	Pré-tratamento	Método de pesquisa	Vantagens e desvantagens	Conclusão
Santo, 2020.	Analisar a ação de diferentes tipos de pré-tratamento sob o bagaço de cana-de-açúcar e os efeitos morfológicos e físico-químicos da parede celular.	Hidrotérmico ácido	Reação de hidrólise ácida (H ₂ SO ₄ a 72%) seguida de uma autoclavagem a alta temperatura para finalização da hidrólise.	O processo se mostrou eficiente na separação e quantificação de Lignina, celulose e hemicelulose, no entanto, demanda grande uso de reagentes, dificultando a aquisição e descarte de resíduos.	Santo concluiu que a metodologia proposta é eficiente focando na variável de tempo de exposição do material ao ácido e a autoclavagem, considerando intervalos de tempo maiores com um rendimento elevado.
Barbosa et al, 2020.	Avaliar a eficiência da explosão a vapor em	Explosão a vapor	A amostra foi misturada com água e autoclavada a	O processo não utiliza reagentes no pré-tratamento, mas,	Apesar da metodologia ser promissora e não

	reator para caracterização química e morfológica do bagaço de cana-de-açúcar.		121°C por 45 minutos, transcorrido o tempo, houve a despressurização do equipamento e as frações foram separadas para análise.	devido a despressurização houve aumento da cristalização e perda de teor de celulose.	demandar o uso de reagentes químicos, é necessário um estudo mais aprofundado em relação aos efeitos adversos.
Abreu 2020.	Avaliar o desempenho da aplicação de peróxido de hidrogênio no pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar.	Pré-tratamento químico Alcalino com H ₂ O ₂ (peróxido de hidrogênio).	A biomassa foi submetida ao peróxido de hidrogênio e agitada a 200 rpm por 24h.	O processo é eficiente na separação da lignina, evidenciando gasto energético mínimo, sem grandes desvantagens.	O estudo evidenciou um excelente resultado na separação e quantificação dos componentes, utilizando um reagente simples.
Andrade et al, 2018.	Avaliação de teores de lignina e celulose antes e depois da combinação de pré-tratamentos químico e físico.	Pré-tratamento químico (alcalino e ácido) e físico.	A biomassa foi submetida ao tratamento químico ácido (H ₂ SO ₄) e em sequência ao tratamento alcalino (NaOH). Ambos os tratamentos foram associados a agitação e pressão.	A associação de pré-tratamentos químicos e físicos possibilita maior disponibilidade do material de interesse para a fermentação, mas, o uso excessivo de reagente ácido pode degradar a celulose.	O artigo mostrou que associação de pré-tratamentos físico e químico podem degradar a lignina com mais eficiência, no entanto, o excesso de ácido degrada a celulose, substância de interesse na fermentação.
Oliveira, Nunes e	Avaliar os efeitos da	Pré-tratamento	A biomassa foi misturada a	Método menos agressivo	O pré-tratamento

Souza, 2020.	combinação de pré-tratamentos alcalino, ácido e físico no bagaço de cana-de-açúcar.	ácido, alcalino e físico.	NaOH na proporção de 1:20 e posteriormente a H ₂ SO ₄ em diferentes concentrações (1%, 1,5% e 2%) a 121°C em diferentes tempos (30, 60 e 90 minutos).	utilizando o pré-tratamento básico associado a níveis menores de ácido, eficaz mesmo em pequena quantidade. Porém, por utilizar ácidos, pode haver degradação, intoxicação ao associar o método alcalino e ácido, tornando o processo custoso para recuperar a fração contaminada.	básico associado ao ácido e físico a longos períodos não se mostrou tão eficaz, causando uma intoxicação da biomassa. O pré-tratamento básico possibilitou maior aproveitamento da celulose.
--------------	---	---------------------------	---	--	--

Fonte: Autoria própria.

Desses estudos, Abreu (2020) apresentou o melhor resultado de acordo com o método escolhido em relação a eficiência do processo, utilizando um reagente alcalino (NaOH), de fácil manipulação, obtenção e recuperação pós processo, além da combinação com condições físicas como a agitação em centrifuga. Para Abreu (2020), os tratamentos alcalinos possibilitam um elevado índice de cristalinidade, ou seja, remove um percentual de lignina amorfa e cristaliza o material de interesse, a celulose.

Em contrapartida, Santo (2020) propõe em sua pesquisa o uso de reagente ácido, principalmente o H₂SO₄ combinado ao uso de pressão e vapor de água. O método se mostrou eficaz ao aumentar a disponibilidade de celulose, mas traz desvantagens ao lidar com um resíduo de processo ácido e de difícil manipulação, aumentando o custo.

Barbosa et al (2020) apresentou em seu artigo uma metodologia menos agressiva, sem o uso de reagentes, aplicando apenas o pré-tratamento físico, associando pressão e altas temperaturas. No entanto, os resultados obtidos não foram como esperados, havendo perda do teor de celulose por desnaturação das fibras.

Andrade et al (2018) e Oliveira, Nunes e Souza (2020) propõem em suas pesquisas métodos que associam pré-tratamentos químicos alcalinos e ácidos a físicos, com diferentes ordens de exposição da biomassa aos reagentes. Andrade et al (2018) tratou a biomassa primeiramente com H_2SO_4 e posteriormente com NaOH, associando a agitação e pressurização. Oliveira, Nunes e Souza (2020) expuseram a biomassa primeiro ao NaOH e posteriormente ao H_2SO_4 , associado a temperaturas elevadas.

Andrade et al (2018), concluiu que o uso de um ácido antes da exposição ao reagente alcalino possibilitou maior aproveitamento das retiradas de lignina e hemicelulose, no entanto, também foi observado que o elevado uso de ácidos pode provocar degradação da celulose. Oliveira, Nunes e Souza (2020) concluíram em sua metodologia que a exposição inicial ao reagente alcalino e após ao ácido provocaram uma espécie de toxicidade na biomassa quando associado a temperaturas elevadas, tornando o processo de recuperação difícil e custoso.

5. CONCLUSÕES

Levando em conta a importância da produção de biocombustíveis e o aproveitamento de resíduos, a etapa de pré-tratamento é eficaz pois possibilita um processamento mais rápido, já que o material de interesse é um resíduo que já foi processado anteriormente, contendo frações menores de substâncias de interesse.

O Pré-tratamento se mostrou eficaz em todos os artigos estudados neste trabalho, sendo os tratamentos com reagentes básicos e ações como temperatura e pressão os melhores quando o parâmetro é a separação da celulose de compostos como a lignina e a hemicelulose, isso acontece, pois, a reação da substância alcalina com o bagaço de cana-de-açúcar é catalisada pela ação da temperatura, promovendo um resultado mais rápido e eficiente em quantificação de frações.

O pré-tratamento alcalino se mostrou mais eficiente inclusive na recuperação do reagente utilizado e no nível de toxicidade quando comparado a um reagente ácido. O pré-tratamento ácido não foi considerado ineficaz, no entanto, suas características como corrosividade, de difícil manipulação, de alto custo e ser um reagente controlado pela Polícia Federal tornam-no menos atrativo, apesar de ainda existir a necessidade de estudos que tragam soluções para o uso desse reagente como método de pré- tratamento.

Desse modo, os artigos publicados no período de 2018 a 2022 contribuíram

para o entendimento do mecanismo de ação do Pré-tratamento e possibilitaram o acesso e a utilização de resíduos que poderiam ser descartados, no entanto, é importante ressaltar que ainda existem questionamentos a serem estudados e esclarecidos a respeito da interação de alguns reagente com a biomassa, como é o caso da aplicação de ácidos; variáveis como concentração e tempo de exposição sem posterior dano a biomassa podem ser fontes de novos estudos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. S. **EFICIÊNCIA DO PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL LIGNOCELULÓSICO**. 2020. 31 f. Monografia

(Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, 2020.

ABUD, Yuri Komatsu Damas. **Análise dos fatores recalcitrantes da biomassa lignocelulósica da cana-de-açúcar**. Duque de Caxias: Inmetro, 2016. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2016. Disponível em:

http://repositorio.bom.org.br:8080/xmlui/bitstream/handle/2050011876/1026/2016_Abud.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 28 Mar. 2022.

AGUIAR, H. R. R. **PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**. 2017. 85 f. Monografia (Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20295/3/Produ%C3%A7%C3%A3oEtanolSegunda.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

ANDRADE, T. C. C. *et al.* ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-TRATAMENTO QUÍMICO E FÍSICO SOB A CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES CELULOSE E LIGNINA DE DIFERENTES BIOMASSAS E SEU POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 955 - 974, 2018. Disponível em:

<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5086/3279>. Acesso em: 1 abr. 2022.

BARBOSA, K. L. *et al.* Pré-tratamento de Explosão a Vapor, Caracterização Química e Morfológica do Bagaço da Cana-de-açúcar Usado para Produção de Etanol 2G. **Revista virtual de química**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2020. Disponível em:

http://rvq.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1149 Acesso em: 17 mar. 2022.

GOLDENBERG, José. Biomassa e energia. **Química nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009. Disponível em:

http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=302 Acesso em: 2 abr. 2022.

GRASEL, F. S. *et al.* Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol de Segunda Geração a partir de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*) e Bagaço de Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum*). **Revista virtual de química**, Paraná, v. 9, n. 1, 2017. Disponível em: http://rvq.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=708 Acesso em: 11 abr. 2022.

JARDINE, J. G.; DISPATO, I.; PERES, M. R. Considerações sobre o bioetanol lignocelulósico para subsidiar a elaboração de conteúdo da Árvore de Conhecimento Agroenergia. Campinas, SP: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2009. Acesso em: 14 mar. 2022.

JÚNIOR, Silvio Váz. **Análise química da biomassa**. Brasília: Embrapa, 2015.

KOMURA, Rodrigo Kenji. **Investigação dos métodos de separação, uso e aplicação da Lignina proveniente da Biomassa Lignocelulósica**. 2015. 52 f. Monografia (Engenharia mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139116> Acesso em: 23 mar. 2022.

LIBERATO, J. O. **ASPECTOS DA PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**. 2019. 17 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS, Maringá, 2019. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/4881/1/JEFFERSON%20DE%20OLIVEIRA%20LIBERATO.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

LOPES, K.; MARTINS, E. M.; MIRANDA, R. L. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil. **Revista de desenvolvimento socioeconômico em debate**, Santa Catarina, v. 5, n. 1, p. 94-106, 2019. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/RDSD/article/view/4829/0> Acesso em: 5 abr. 2022.

LUCARINI, A. C.; DELQUIARO, A. C. T.; VIDOCA, L. C. P. T.; BRAZ, R.; MARTINS, R. M.; ALVES, T. P. **ESTUDO DA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA PALHA DA CANA DE AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa/MG, BR, v. 3, n. 2, p. 242–253, 2017. DOI: 10.18540/jcecvl3iss2pp242-253. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2446941603022017242>. Acesso em: 30 maio. 2022.

MAIONE, N. R. *et al.* Efeito da temperatura e do tempo no pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 15229 - 15235, 2019. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/3242/3119>. Acesso em: 31 mar. 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.; **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003.

MARTINS, F. A. *et al.* A PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, [s. l.], v. 2, n. 3, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/38404> Acesso em: 3 abr. 2022.

Medina, K.J.D. **Produção de bioetanol a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar empregado as leveduras *Scheffersomyces (Pichia) stipitis* NRRL Y7124 e *Candida shehatae* UFMG HM 52.2 visando à aplicação em bioprocessos com campo eletromagnético**. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial na área de Microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena, p36-51, 2013. Acesso em: 8 abr. 2022.

MENDONÇA, L. V. R. **POTENCIAL PRODUTIVO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: UMA REVISÃO**. 2020. 21 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrônômica) - Centro Universitário Toledo, Araçatuba, 2020. Disponível em: <https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/2417/1/TCC%20-%20Luis%20Vini%CC%81cius%20versao%20final.pdf>. Acesso em: 10 abr. 20

MORAES, P.P *et al.* Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, Piracicaba, ano 7, n. 1, p. 45-57, 2017. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/229>
Acesso em: 5 abr. 2022.

NUNES, R. M. *et al.* **Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238, 2013. Acesso: 17 mar. 2022.

NUNES, R. M. *et al.* Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Revista Liberato**, [s. l.], v. 22, n. 14, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327345669_Residuos_agroindustriais_potencial_de_producao_do_etanol_de_segunda_geracao_no_Brasil. Acesso em: 9 abr. 2022.

OGEDA, THAIS LUCY E PETRI, DENISE F. S. **HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSA**. QUÍMICA NOVA [online]. 2010, v. 33, n. 7 [Acessado 30 Maio 2022], pp. 1549-1558. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>>. Epub 27 Set 2010. ISSN 1678-7064.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>.

OLIVEIRA, R. M. M.; NUNES, M. T. A. S.; SOUSA, R. M. S. Pré-Tratamento Químico e Caracterização do Bagaço da Cana: uma Perspectiva para Produção de Etanol a partir de Resíduos Agroindustriais. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 11, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/19835>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SANTIAGO, B. L. S.; RODRIGUES, F. A. Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão. **The journal of engineering and Exact Sciences**, [s. l.], v. 3, n. 7, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2336> Acesso em: 6 abr. 2022.

SANTO, M. C. E. **Caracterização físico-química do bagaço de cana-de-açúcar após diversos pré-tratamentos visando melhorar o rendimento de hidrólise enzimática**. 2020. 185 f. Tese (Doutorado em bioenergia) - Universidade de são paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/105/105131/tde-15072020-120228/publico/Melissa_Cristina_do_Espirito_Santo_versao_revisada.pdf. Acesso em: 23 mar. 2022.

SANTOS, F. A. *et al.* POTENCIAL DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL. **Revista Química Nova**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1004 - 1010, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/39pFr9k5VPS9hqhs4yTjdbbr/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 6 abr. 2022.

SILVA, M. B. **VALORIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MAÇÃ MEDIANTE EXPLOSÃO A VAPOR SEGUIDA DE PROCESSAMENTO ÁCIDO E SECAGEM**. 2021. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química.) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/231020> Acesso em: 5 abr. 2022.

SILVA, R. J. **EFEITO DE PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. 2012. 155 f. Monografia (Engenharia Química) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2012. Disponível em:

<https://repositorio.uces.br/xmlui/bitstream/handle/11338/9005/TCC%20Ricardo%20Justin%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 abr. 2022.

Silva, V.F.N. **Estudos de Pré-tratamento e Sacarificação Enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, p116, 2009. Acesso em: 18 abr. 2022.

SOUZA, E. S.; CAMPOS L. M. A.; 17ª JORNADA UNIFACS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - JUIC, 2020, Salvador. **EXTRAÇÃO DE LIGNINA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PRÉ-TRATAMENTO COM MISTURA EUTÉTICA [...]**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://www.unifacs.br/wp-content/uploads/2015/02/17-JUIC_2020_Emanuel-Souza-de-Souza%C2%B9.pdf. Acesso em: 19 mar. 2022.

VELLINI, V. R. **AVALIAÇÃO DA RECALCITRÂNCIA DA PAREDE CELULAR E DESENVOLVIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU COMO FONTE DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO BIOENERGÉTICA**. 2018. 27 f. Monografia (bacharelado em Agronomia) - UniCesumar – Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2018. Disponível em:

<https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/9341/1/Trabalho%20de%20Conclus%3%a3o%20de%20Curso%20TCC.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

VIANA, C. M. **ESTUDO DA RECALCITRÂNCIA DA BIOMASSA DERIVADA DE CANA-DEAÇÚCAR POR TÉCNICAS AVANÇADAS DE IMAGEM**. 2017. Tese (Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia, Belo horizonte, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/RAOA-BBQPE6> Acesso em: 7 abr. 2022.