



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

JORDANA WILM DONINELLI

**PRÉ-TRATAMENTO DE COROA DE ABACAXI VISANDO APROVEITAMENTO
PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

ERECHIM

2022

JORDANA WILM DONINELLI

**PRÉ-TRATAMENTO DE COROA DE ABACAXI VISANDO APROVEITAMENTO
PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim, apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof^ª Dra. Helen Treichel
Coorientadora: Me. Thamarys Scapini

ERECHIM

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Doninelli, Jordana Wilm
PRÉ-TRATAMENTO DE COROA DE ABACAXI VISANDO
APROVEITAMENTO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL / Jordana
Wilm Doninelli. -- 2022.
36 f.:il.

Orientadora: Doutora em Engenharia de Alimentos Helen
Treichel

Co-orientadora: Mestra em Ciência e Tecnologia
Ambiental Thamarys Scapini

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Erechim, RS, 2022.

1. economia circular; biomassa lignocelulósica;
rendimento de hidrólise; bioprodutos; bioacessibilidade.
I. Treichel, Helen, orient. II. Scapini, Thamarys,
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.
IV. Título.

JORDANA WILM DONINELLI

**PRÉ-TRATAMENTO DE COROA DE ABACAXI VISANDO APROVEITAMENTO
PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

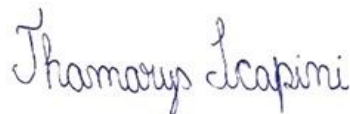
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca examinadora em:
22/03/2022

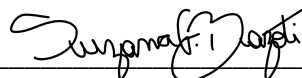
Banca examinadora:



Prof.^a Dr.^a Helen Treichel
Orientadora



Me. Thamarys Scapini
Coorientadora



Me. Suzana Fátima Bazoti
Universidade Federal da Fronteira Sul

Dedico este trabalho a minha mãe, que me
guiou durante esses anos exercendo tanto
papel de mãe quanto de pai, ela nunca deixou
de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela coragem em continuar nos momentos difíceis e por me permitir viver momentos incríveis ao lado de pessoas fantásticas.

Agradeço à minha família, em especial a minha mãe Mirian, minhas irmãs Karina e Martina e minha avó Helha, que foram e serão meu alicerce em todos os momentos da minha vida. Existe uma frase que sempre dizemos: “uma por todas, e todas por uma”. E assim será! Obrigada por tudo.

Aos meus amigos e colegas da universidade, sem vocês eu não chegaria até aqui. Compartilhamos momentos bons e ruins, e agradeço pelo apoio de sempre e por vivenciarem comigo essa fase maravilhosa da vida.

À minha coorientadora e amiga Thamarys, por ter sido minha base nos dias difíceis, ter sido minha luz quando eu mais precisei, você sempre será uma das pessoas mais extraordinárias que já conheci. Obrigada por não medir esforços durante toda construção deste trabalho. Você é incrível!

À minha orientadora Helen, por todos ensinamentos compartilhados comigo, por abraçar esse trabalho e viver esse momento único junto a mim. Muito obrigada, de coração, por tudo isso!

Agradeço à Suzana e a Charline, por toda ajuda e por terem aceito participar da minha banca, tenho certeza que suas contribuições serão de grande importância para mim e para este trabalho. Meus sinceros agradecimentos a todos docentes e técnicos por acreditarem em mim até quando eu mesma não acreditei. Infelizmente não poderei citar aqui o nome de todas as pessoas que estiveram comigo e que de alguma forma contribuíram na construção deste trabalho. Com isso, fica registrado aqui, o meu muito obrigada a todos vocês!

RESUMO

Com o fortalecimento do conceito de economia circular ampliou-se as discussões sobre o gerenciamento de resíduos visando a valorização em cadeia para minimização de impactos ambientais. Resíduos industriais são extensivamente estudados como matéria-prima de processos, isso porque possuem apelo ambiental e econômico, são gerados em abundância e não dependem de terras agrícolas para produção. A coroa de abacaxi é um resíduo lignocelulósico industrial abundante gerado principalmente no setor de processamento de alimento. A produção de bioenergia e bioprodutos utilizando a coroa do abacaxi pode ser uma estratégia interessante e alternativa a processos de disposição em solo ou aterros sanitários. Entretanto, por se tratar de uma biomassa lignocelulósica, a coroa do abacaxi apresenta alta recalcitrância, resultante de um revestimento estrutural majoritariamente composto de celulose, hemicelulose e lignina, sendo necessário processos de pré-tratamento que permitam aumentar a acessibilidade da estrutura e viabilizar a conversão em produtos de alto valor agregado. Nesse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes técnicas de pré-tratamento da coroa do abacaxi visando aumento da bioacessibilidade de polissacarídeos estruturais e a conversão a açúcares monoméricos via hidrólise enzimática. Para tanto, a biomassa foi coletada e caracterizada. O pré-tratamento foi realizado por meio processos térmicos em autoclave e químicos utilizando H_2SO_4 , NaOH e processos sequenciais ácidos e alcalinos. A recuperação da celulose no sólido pré-tratado variou dependendo do pré-tratamento, com percentuais de 39 a 80%, sendo que os pré-tratamentos sequenciais (ácido-alcalino) apresentaram o maior percentual em teor de celulose. A hidrólise foi conduzida com coquetel enzimático de celulasas, e um rendimento de hidrólise de aproximadamente 70% foi obtido para o pré-tratamento sequencial. O elevado teor de celulose recuperado no sólido possibilitou a conversão em monossacarídeos, o que torna possível visualizar cenários onde essa biomassa poderá ser avaliada como matéria-prima para a conversão em biocombustíveis, bem como a recuperação da celulose para produção de bioprodutos com aplicabilidade industrial.

Palavras-chave: economia circular; biomassa lignocelulósica; rendimento de hidrólise; bioprodutos; bioacessibilidade.

ABSTRACT

With the strengthening of the circular economy concept, the discussions about waste management have expanded, aiming the chain valorization to minimize environmental impacts. Industrial residues are extensively studied as raw material for processes, that is because they have environmental and economic appeal, they are generated in abundance and do not depend on agricultural land for production. Pineapple crown is an abundant industrial lignocellulosic waste generated mainly in the food processing sector. The production of bioenergy and bioproducts using pineapple crown can be an interesting strategy and alternative to land disposal processes. However, because it is a lignocellulosic biomass, the pineapple crown presents high recalcitrance, resulting from a structural coating mostly composed of cellulose, hemicellulose and lignin, requiring pretreatment processes to increase the accessibility of the structure and enable the conversion into high value-added products. In this scenario, the objective of this study was to evaluate different pre-treatment techniques of pineapple crown aiming to increase the bioaccessibility of structural polysaccharides and the conversion to monomeric sugars via enzymatic hydrolysis. For this, the biomass was collected and characterized. Pretreatment was performed by thermal processes in autoclave and chemical processes using H_2SO_4 , NaOH and sequential acid and alkaline processes. The recovery of cellulose in the pretreated solid varied depending on the pretreatment, with percentages from 39 to 80%, and the sequential (acid-alkali) pretreatments showed the highest percentage in cellulose content. Hydrolysis was conducted with an enzymatic cocktail of cellulases, and a hydrolysis yield of approximately 70% was obtained for the sequential pretreatment. The high cellulose content recovered in the solid enabled conversion into monosaccharides, which makes it possible to envision scenarios where this biomass could be evaluated as a feedstock for conversion into biofuels, as well as cellulose recovery for the production of bioproducts with industrial applicability.

Keywords: circular economy; lignocellulosic biomass; hydrolysis yield; bioproducts; bioaccessibility.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	COLETA E PREPARO DA BIOMASSA DA COROA DE ABACAXI.....	13
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA COROA DE ABACAXI.....	14
3.3	PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA	15
3.3.1	Pré-tratamento térmico	15
3.3.2	Pré-tratamentos químicos	15
3.4	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA	16
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA COROA DE ABACAXI.....	18
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA APÓS OS PRÉ-TRATAMENTOS	19
4.2.1	Pré-tratamento térmico	22
4.2.2	Pré-tratamentos químicos	22
4.2.3	Hidrólise Enzimática	25
4.2.4	Panorama geral dos processos avaliados neste estudo	26
5	CONCLUSÃO	28
6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	29
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, cerca de 26.289.762 toneladas de abacaxi são produzidas por ano. A Costa Rica e o Brasil possuem grande destaque na produção da fruta, visto que ocupam a primeira e segunda posição da produção mundial, respectivamente (CONAB, 2020). Em 2019 a produção de abacaxi no Brasil alcançou aproximadamente 1,7 milhões de toneladas, e a região Nordeste é responsável por cerca de 35,7% do total produzido no país (IBGE, 2019).

Segundo Cabral e Junghanst (2003) a cultivar do abacaxi mais plantada no mundo é a *Smooth cayanne*, que reflete cerca de 70% da produção mundial do abacaxi. Variedades como Pérola, Pernambuco, Queen e Red Spanish também são cultivadas em várias regiões do mundo (ALMEIDA, 2019).

Geralmente, o abacaxi é consumido *in natura*, além de ser matéria-prima na produção de alimentos. Entretanto, apenas 22,5% da fruta é consumida, os outros 77,5% são resíduos que consistem em caule, casca, coroa e folhas (NISHIMURA, 2018). Essa grande quantidade restante gera toneladas de subprodutos, que quando não são descartadas corretamente são potenciais fontes de contaminantes (GUINEA; LEAHU, 2020).

A literatura apresenta um amplo número de estudos de potenciais de aplicação da casca e folhas do abacaxi, como em tecidos (MA *et al.*, 2016), cosméticos (ULLAH; SANTOS; KHAN, 2016), papel (SIBALY; JEETAH, 2017, LAFTAH; RAHAMAN, 2015), plásticos biodegradáveis (JIRAPORNVAREE; SUPPADIT; POPAN, 2017), cobertura de solo (SARAH *et al.*, 2018) e na produção de biocombustíveis (SILVA *et al.*, 2020, BANERJEE; CHINTAGUNTA; RAY, 2017, KHEDKAR *et al.*, 2017, CHEN *et al.*, 2020, HUZIR *et al.*, 2018).

Embora a coroa do abacaxi represente de 10 a 28% do peso total da fruta (BRAGA *et al.*, 2015), são escassos os estudos científicos que tratam sobre a obtenção de produtos de alto valor agregado a partir dessa biomassa. A coroa do abacaxi é composta por elevados teores de açúcares em estruturas poliméricas, sendo os principais precursores para a produção de etanol de segunda geração (2G) (CHEN *et al.*, 2020). O etanol é um produto de alto valor agregado, com diferentes direções de mercado, sendo principalmente utilizado no mercado automotivo com interesse no setor de exportação do álcool por conta da mistura de etanol e gasolina, e pela utilização de etanol na transesterificação dos óleos vegetais na geração de biodiesel (RABELO, 2010)

A esfera da bioenergia atualmente possui vantagens em diferentes cenários, possuindo capacidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases do efeito

estufa (ROGELJ *et al.*, 2018, REID; ALI; FIELD, 2020; DIAS *et al.*, 2013). Além disso, a energia consumida por fonte de combustíveis fósseis tem sido incontestavelmente abalada pelo elevado custo do petróleo e por ser um recurso finito e não renovável (SAHA *et al.*, 2017, SUN; CHENG, 2002; LIAN *et al.*, 2010; ADSUL *et al.*, 2020).

O uso de fontes energéticas alternativas aos combustíveis fósseis tem sido alvo de inúmeras investigações, como o etanol 2G que utiliza como matérias-primas fontes não alimentícias, com apelo para uma economia circular e sem competição com terras agricultáveis e com a produção de alimentos (RABELO, 2010; PACHECO; SILVA, 2019).

Assim, o etanol 2G pode ser uma alternativa, por possuir inúmeras vantagens, além de restringir os possíveis problemas ambientais atrelados ao etanol 1G, como o elevado consumo de água para sua produção e a geração de resíduos como palha e água de lavagem do processo (COTANA *et al.*, 2014). A diferença tecnológica do combustível 1G para 2G é a necessidade de operações unitárias para conversão dos polissacarídeos em monossacarídeos do etanol 2G, que possibilitam a fermentação.

A produção de etanol utilizando como matéria-prima biomassas lignocelulósicas é um desafio que apresenta inúmeras oportunidades de pesquisa e desenvolvimento (BHUTTO *et al.*, 2014). Biomassas lignocelulósicas (ricas em celulose; hemicelulose; lignina) são amplamente utilizadas para pesquisas envolvendo conversão de resíduos em etanol 2G.

O principal desafio tecnológico está na conversão da matriz lignocelulósica presente nessas biomassas, como na estrutura da coroa de abacaxi (RABELO, 2010; SUN; CHENG, 2002). Os polissacarídeos presentes na estrutura não possuem alta biodisponibilidade para a conversão em açúcar monomérico, sendo necessário a aplicação de um pré-tratamento a essa matéria-prima para aumentar a acessibilidade da estrutura, facilitando os processos de hidrólise e produção de biocombustível via fermentação (RABELO, 2010; SUN; CHENG, 2002). Sendo assim, para garantir rendimentos de açúcares monoméricos, a utilização de um pré-tratamento é fundamental (BRODEUR *et al.*, 2011; GUPTA; VERMA, 2015).

Diferentes tipos de pré-tratamentos podem ser utilizados em biomassas lignocelulósicas, e à medida que ocorrem progressos nas pesquisas os métodos se tornam ainda mais eficientes. Pré-tratamentos ácidos são amplamente utilizados pelo seu baixo custo e eficiência na remoção de hemicelulose da matriz lignocelulósica, sendo o ácido sulfúrico (H_2SO_4) o reagente químico mais empregado para esta técnica. Processos com uso de reagentes alcalinos também são comumente utilizados, como o hidróxido de sódio (NaOH), e são utilizados em pré-tratamentos para a remoção da lignina e hemicelulose, e aumento da acessibilidade da celulose (TREICHEL *et al.*, 2020; KIM; LEE; KIM, 2016; HENDRIKS, ZEEMAN, 2009).

Com a finalidade de intensificar a biodigestibilidade da biomassa atribui-se a utilização do pré-tratamento como um procedimento fundamental (SHEN *et al.*, 2018; VENTURIN *et al.*, 2019; TREICHEL *et al.*, 2020). E considerando a subutilização da coroa de abacaxi, ainda são necessários avanços em estudos para valorização desta biomassa, buscando diferentes aplicações industriais, como a produção de bioenergia ou de produtos de alto valor agregado.

Neste cenário, este estudo propõe a utilização de diferentes técnicas de pré-tratamento da coroa de abacaxi, explorando o comportamento da biomassa com base nas alterações estruturais lignocelulósicas e de bioacessibilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes técnicas de pré-tratamento da coroa do abacaxi visando aumento da bioacessibilidade de polissacarídeos estruturais e a conversão a açúcares monoméricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

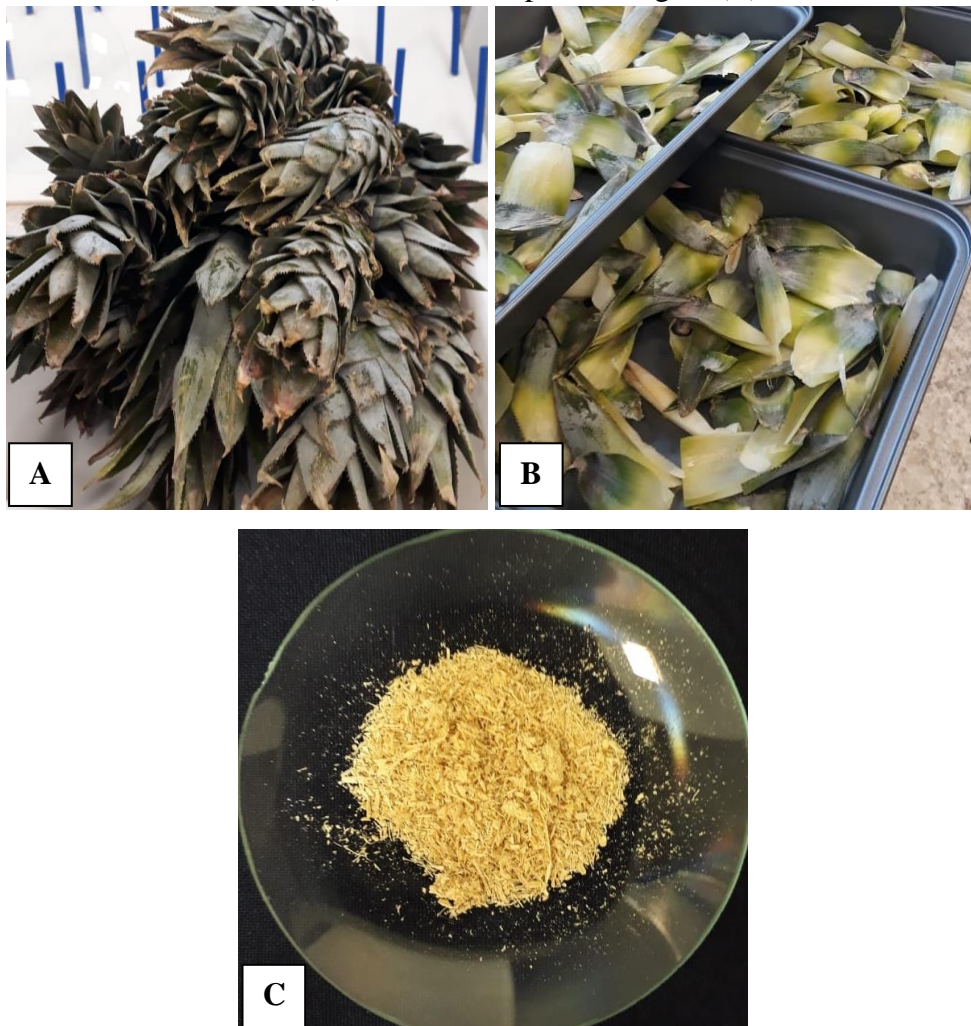
- Caracterizar a biomassa da coroa do abacaxi quanto a composição química;
- Avaliar técnicas de pré-tratamento utilizando método térmico e químico para a biomassa da coroa do abacaxi;
- Realizar a hidrólise enzimática da biomassa pré-tratada utilizando um coquetel enzimático de celulases.
- Avaliar o rendimento em hidrólise enzimática para análise do potencial de conversão da estrutura em monossacarídeos.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA E PREPARO DA BIOMASSA DA COROA DE ABACAXI

As coroas do abacaxi (Figura 1A) (*Ananas comosus L. Merrill*) da variedade Pérola foram obtidas de comércios de frutas locais do município de Erechim, Rio Grande do Sul. A biomassa foi cortada em pedaços de aproximadamente 10 cm (Figura 1B) e mantidas em estufa (65°C) por 48 horas. Posteriormente, para a aumento da área superficial, foi realizada a moagem em moinho de facas (20 mesh) (Figura 1C). A biomassa foi armazenada a 5°C até utilização.

Figura 1. Procedimento para preparação da biomassa da coroa do abacaxi. Forma como a coroa do abacaxi foi coletada (A). Biomassa após os cortes em pedaços de aproximadamente 10 cm (B). Biomassa após a moagem (C).



3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA COROA DE ABACAXI

A coroa do abacaxi foi caracterizada quanto à composição química. Os ensaios de caracterização foram realizados antes e após o pré-tratamento. A celulose, hemicelulose, lignina, teor de cinza, extrativos e umidade foram caracterizados por métodos estabelecidos pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) (Tabela 1).

Tabela 1. Métodos estabelecidos para caracterização de biomassas lignocelulósicas

Método	Referência (NREL)
Determinação de carboidratos estruturais e lignina da biomassa	(SLUITER et al., 2008b)
Determinação de sólidos totais na biomassa e sólidos totais dissolvidos	(SLUITER et al., 2008a)
Determinação de extrativos da biomassa	(SLUITER et al., 2005b)
Determinação de cinzas da biomassa	(SLUITER et al., 2005a)

A quantificação de umidade e sólidos totais na biomassa foram conduzidos em cadinhos previamente secos e pesados, utilizando 1 grama de biomassa. Os procedimentos foram conduzidos em uma mufla a 105°C até massa constante. Após pesados, as amostras foram retornadas a mufla e mantidas a 575°C durante 6 horas. As massas foram utilizadas para estimativa de percentual de umidade, sólidos totais, voláteis e cinzas, conforme metodologia citada na Tabela 1.

A quantificação de extrativos foi conduzida em Extrator Soxhlet utilizando água destilada e etanol 95% v/v com tempo de refluxo 6 e 16 horas, respectivamente (SLUITER et al., 2005b).

A composição lignocelulósica foi determinada em 0,3 gramas de biomassa seca livre de extrativos. A amostra foi submetida a uma hidrólise ácida com H₂SO₄ 72% m/v em um banho termostático a 30°C durante 1 hora. Na sequência, as amostras foram submetidas a hidrólise ácida diluída (4% m/v) pela adição de 84 mL de água destilada ao meio reacional, e foram encaminhadas para autoclave a 120°C a 1 atm durante 1 hora. As amostras foram filtradas para separação dos sólidos insolúveis que foram secos na mufla a 105°C até massa constante para quantificação da lignina insolúvel, e a 575°C para quantificação de cinzas. A fração líquida foi utilizada para determinação de lignina solúvel mensurada em espectrofotômetro UV-Vis a 240 nm e para determinação de açúcares, ácido acético, 5-hidroximetilfurfural e furfural

quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (*High Performance Liquid Chromatography* - HPLC) para estimativa de hemicelulose e celulose (SLUITER et al., 2008b).

A quantificação de glicose, arabinose, xilose, celobiose e ácido acético foi realizada por HPLC utilizando um cromatógrafo Shimadzu equipado com detector de índice de refração RID-10A, operado com coluna Aminex HPX-87H e fase móvel de H₂SO₄ 0,005 mmol/L, modo isocrático, volume de injeção de 20 µL, vazão de 0,6 mL/min e temperatura de 45°C (BAZOTI et al., 2017). As concentrações de furfural e de 5-HMF foram determinadas em HPLC operado com coluna C18, com fase móvel de uma solução de água pura com acetronitrila (8,5:1,5 v/v) acidificada com ácido acético (1%), a 40°C e vazão de 0,6 mL/min (BAZOTI et al., 2017). A quantificação foi realizada a partir de curvas padrão de cada composto.

3.3 PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA

Para aumentar a bioacessibilidade estrutural da biomassa, configurações de pré-tratamentos foram avaliadas, sendo: pré-tratamento térmico utilizando autoclave e pré-tratamento químico utilizando solução ácida de H₂SO₄, e solução alcalina de NaOH. Também foi avaliado pré-tratamento sequencial utilizando as duas soluções químicas (REZENDE et al., 2018; SCOPEL; REZENDE, 2021).

Os resultados dos processos de pré-tratamento da biomassa foram avaliados em termos de caracterização da composição lignocelulósica, além das alterações em relação a bioacessibilidade da celulose via hidrólise enzimática.

3.3.1 Pré-tratamento térmico

O pré-tratamento térmico (PT) foi realizado em autoclave por 40 min na temperatura de 121°C e 1 bar (adaptado de SILVA et al., 2018). As amostras foram preparadas em Erlenmeyer de 250 mL com volume de trabalho de 50 mL, onde adicionou-se biomassa e água destilada na proporção de 1:10 (m/v) sólido:líquido. expostas ao processo de pré-tratamento

Após o processo de pré-tratamento, a biomassa pré-tratada foi separada por filtração à vácuo. O sólido foi caracterizado em termos de celulose, hemicelulose e lignina, e seco em estufa a 60°C durante 6 horas.

3.3.2 Pré-tratamentos químicos

O pré-tratamento químico com ácido (PAC) foi conduzido com uma solução de H₂SO₄ 2% v/v. A biomassa foi adicionada em Erlenmeyers na proporção de 1:10 (m/v) sólido:líquido

(REZENDE *et al.*, 2018) e exposta ao processo térmico em autoclave por 40 min na temperatura de 121°C e 1 bar (SCOPEL; REZENDE, 2021).

O pré-tratamento químico com solução alcalina foi realizado em Erlenmeyers de 250 mL com volume de trabalho de 50 mL onde a biomassa foi exposta a uma solução de NaOH 4,5% m/v, em uma proporção de 1:10 (m/v) de sólido:líquido (REZENDE *et al.*, 2018). Posteriormente as amostras foram encaminhadas ao agitador orbital com banho termostático a uma temperatura de 85°C por tempos de reação de 20 e 100 minutos (SCOPEL; REZENDE, 2021). As amostras referentes ao pré-tratamento alcalino de 20 e 100 minutos de exposição são denominadas PAL20 e PAL100, respectivamente.

Uma terceira estratégia de pré-tratamento sequencial foi utilizada, onde as amostras foram submetidas ao pré-tratamento ácido seguido por pré-tratamento alcalino, nas mesmas condições anteriores. As amostras referentes ao pré-tratamento sequencial ácido e alcalino de 20 e 100 minutos de exposição são denominadas PS20 e PS100, respectivamente.

Após os processos de pré-tratamentos, as biomassas pré-tratadas foram separadas por filtração. O sólido foi lavado até atingir pH neutro, e então foi caracterizado em termos de celulose, hemicelulose e lignina, e seco em estufa a 60°C durante 6 horas para hidrólise enzimática.

3.4 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

As biomassas pré-tratadas em todas as condições de pré-tratamento foram expostas ao processo de hidrólise enzimática.

A proporção utilizada de biomassa seca foi 5% (m/v). Para tanto, o meio reacional foi composto por 0,4 g de massa seca de biomassa pré-tratada suspensas em 7 mL de solução enzimática diluída em tampão citrato de sódio 0,05 mol/L (pH 4,8). A enzima utilizada foi o coquetel de celulasas CellicCtec3 (*Sigma-Aldrich*) com atividade enzimática de aproximadamente 190 FPU/mL. A solução enzimática adicionada no processo de hidrólise foi de 4 FPU/g de biomassa. O processo foi conduzido em agitador orbital por 72 horas a 50°C e 200 rpm (GOMES *et al.*, 2021).

Para a quantificação dos açúcares (glicose, xilose e celobiose) a fração líquida foi coletada e analisada por HPLC, conforme procedimento descrito no item 3.2 para a respectiva coluna. Os resultados de hidrólise foram analisados em termos de rendimento, calculado conforme Equação 1, onde G_T corresponde a concentração de glicose liberada no tempo de hidrólise (g/L), C_i corresponde ao teor de celulose na biomassa pré-tratada (g/g), CB

corresponde a carga inicial de biomassa pré-tratada (g/L), e (162/180) corresponde ao fator de conversão de celulose a glicose (GOMES *et al.*, 2021).

$$\text{Rendimento de hidrólise (\%)} = \frac{G_T}{C_i \cdot [\text{CB}]} \cdot \frac{162}{180} \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados são apresentados em termos de média e desvio padrão (Média \pm DP). Os resultados foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) seguida de teste de comparação de médias (Teste de *Tukey*), com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA COROA DE ABACAXI

As características da biomassa de coroa de abacaxi estão apresentadas na Tabela 2, juntamente com resultados de estudos recentes que também utilizaram essa biomassa como matéria-prima. A biomassa da coroa do abacaxi após a moagem apresentou uma umidade de $7,51 \pm 0,19\%$, e teor de extrativos de $61,68 \pm 0,48\%$.

Tabela 2. Composição química da coroa do abacaxi obtida neste estudo e comparação com estudos recentes.

Constituinte % (g _{seca} em 100 g)	Neste estudo	Pereira <i>et al.</i> (2021)	Silva <i>et al.</i> (2018)
Celulose	$38,92 \pm 1,22$	$17,70 \pm 0,5$	$20,57 \pm 1,17$
Hemicelulose	$25,41 \pm 0,85$	$19,1 \pm 0,1$	$15,24 \pm 0,90$
Lignina total	$13,11 \pm 1,45$	$24,3 \pm 0,5$	$26,77 \pm 0,87$
Cinzas	$1,25 \pm 0,07$	$5,2 \pm 0,2$	$5,73 \pm 0,22$

Observa-se que o percentual de celulose e hemicelulose apresentados por Pereira *et al.* (2021) é menor em comparação com o presente trabalho. Já os teores de lignina e cinzas se mostram maiores. A coroa de abacaxi de *Ananas comosus L. Merryl* utilizada por Pereira *et al.* (2021) foi coletada em uma feira livre, no estado de São Paulo. Possivelmente, os elevados teores de lignina, cinzas e extrativos quantificados por Pereira *et al.* (2021) e os teores inferiores de celulose se devem ao local em que foi coletada, sendo este influenciado pelos fatores climáticos em que está introduzido.

A quantificação das propriedades físico-químicas realizada por Silva *et al.* (2018) mostrou que os percentuais obtidos de celulose, lignina e cinzas são superiores aos encontrados por Pereira *et al.* (2021), já o teor de hemicelulose foi inferior. Comparando a composição estrutural de celulose deste estudo, Silva *et al.* (2017) demonstraram um percentual inferior, utilizando a mesma metodologia de caracterização. A coroa do abacaxi *Ananas comosus L. Merryl* utilizada por Silva *et al.* (2018) foi obtida em Maceió, no estado de Alagoas, o que induz a hipótese de que as diferentes composições obtidas entre os estudos, também poderão ser por fatores climáticos e localização geográfica. Desta forma, é relevante destacar que as tomadas de decisão para utilização de biomassas residuais para valorização em cadeias produtivas devem

ser dadas com base nas características específicas que são diretamente influenciadas pelo local de coleta, composição química do solo da região e condições de cultivo ou manejo da cultivar.

Em comparação a casca de banana, em um estudo realizado por Oberoi *et al.* (2011) que quantificou teores de $11,97 \pm 0,31\%$ de celulose, $9,76 \pm 0,52\%$ de hemicelulose, $2,18 \pm 0,05\%$ de lignina e $9,21 \pm 0,02\%$ de cinzas, observa-se uma percentagem de lignina inferior ao encontrado para a coroa de abacaxi ($13,11 \pm 1,45\%$). Já Cypriano, Silva e Tasic (2018) que avaliaram as cascas da laranja como matéria-prima para produtos de alto valor agregado, quantificaram $19,73 \pm 0,93\%$ de celulose, $6,33 \pm 0,14\%$ de hemicelulose, $3,39 \pm 0,18\%$ de cinzas e $4,18 \pm 0,69\%$ de lignina. Sugere-se que a diferença comparada aos teores obtidos neste trabalho esteja atrelada a composição estrutural da coroa do abacaxi. A lignina é um composto responsável pela resistência da estrutura, que é uma característica da coroa do abacaxi mais proeminente quando comparado a casca de banana ou laranja (SILVA *et al.*, 2018).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA APÓS OS PRÉ-TRATAMENTOS

O Quadro 1 apresenta os dados de pré-tratamento obtidos neste estudo. Com base nos resultados, observa-se que todos os pré-tratamentos atingiram a estrutura da hemicelulose, visto que seu teor de $25,09 \pm 0,68\%$ da biomassa bruta degradou para $9,11 \pm 1,50\%$ no PT, $3,36 \pm 0,10\%$ no PAC, $5,08 \pm 0,21\%$ no PAL20, $4,14 \pm 0,19\%$ no PAL100, $2,21 \pm 1,41\%$ no PS20 e $1,88 \pm 1,07\%$ no PS100. Esse polímero é considerado um dos mais abundantes em materiais lignocelulósicos (SCAPINI *et al.*, 2021). Ele é composto por diferentes monossacarídeos, como pentoses (xilose, arabinose), hexoses (glicose, galactose, manose) e ácidos urônicos e desoxihexoses (ramnose e fucose (LORENCI WOICIECHOWSKI *et al.*, 2020; RUIZ *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2021), emaranhados em uma estrutura amorfa (QASEEM; SHAHEEN; WU, 2021). Por essa característica de desordem estrutural dos açúcares que compõe a hemicelulose, esse polímero é mais suscetível ao pré-tratamento. Em razão a elevada redução de hemicelulose na coroa do abacaxi após pré-tratamentos, esta estrutura foi a mais atingida nos processos em todas as condições.

A celulose também foi alterada durante os pré-tratamentos. Por se tratar de uma estrutura cristalina, a celulose tem maior resistência a degradação (RABELO, 2010), fato que pode ser observado nos dados de pré-tratamentos. É possível constatar que pré-tratamentos mais agressivos, como o PS20 e PS100, tenderam a aumentar o teor de celulose, principalmente devido à perda de hemicelulose na estrutura, visto que com a degradação da hemicelulose as fibras celulósicas se tornaram mais expostas ao processo. Observa-se que os pré-tratamentos que possuem maior remoção de hemicelulose afetaram positivamente os teores de celulose,

visto que ao remover a hemicelulose ou a lignina tende a expor as fibras celulósicas e aumentar a acessibilidade do material.

Quadro 1. Caracterização biomassa após pré-tratamentos térmico (PT), ácido (PAC), alcalino 20 (PAL20) e 100 min (PAL100) e sequencial 20 (PS20) e 100 min (PS100).

Pré-tratamento	Condições	Composição (%)		
		Celulose	Hemicelulose	Lignina
PT	Autoclave 40 min – 1 atm – 121 °C	39,87 ^a ± 2,68	9,11 ^b ± 1,50	21,39 ^{a,b} ± 0,81
PAC	Ácido sulfúrico Autoclave 40 min - 1 atm - 121°C	58,90 ^b ± 0,90	3,36 ^{c,d} ± 0,10	31,28 ^b ± 0,33
PAL20	Hidróxido de sódio Banho termostático - 20 min - 85°C	53,02 ^b ± 0,86	5,08 ^c ± 0,21	21,57 ^{a,b} ± 6,51
PAL100	Hidróxido de sódio Banho termostático - 100 min - 85°C	66,04 ^c ± 1,97	4,14 ^{c,d} ± 0,19	17,59 ^a ± 4,99
PS20	Ácido: Autoclave 40 min – 1 atm – 121°C Alcalino: Banho termostático - 20 min - 85°C	81,14 ^d ± 2,40	2,21 ^d ± 1,41	17,32 ^a ± 4,44
PS100	Ácido: Autoclave 40 min – 1 atm – 121°C Alcalino: Banho termostático - 100 min - 85°C	80,43 ^d ± 3,46	1,88 ^d ± 1,07	22,58 ^{a,b} ± 3,10
Biomassa bruta	-	38,52 ^a ± 1,14	25,09 ^a ± 0,68	13,63 ^a ± 1,33

*Letras minúsculas iguais em mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo Teste de Tukey ($p_{valor} > 0,05$).

4.2.1 Pré-tratamento térmico

Em comparação a biomassa bruta, a biomassa pré-tratada termicamente não apresentou diferença estatística ($p_{\text{valor}} > 0,05$) em termos de celulose. Contudo, este pré-tratamento ocasionou uma degradação na hemicelulose. Essa redução pode ser explicada pela menor estabilidade química e térmica da hemicelulose, sendo hidrolisada mais facilmente que as demais estruturas da biomassa (AJAO *et al.*, 2018).

Em estudos semelhantes, o PT já foi relatado como um mecanismo que remove hemicelulose. Xu *et al.* (2019) em seu estudo com palha de trigo, quantificaram uma redução de 25,73% para 3,24% nos teores de hemicelulose após PT. Costa *et al.* (2014) avaliaram PT da cana-de-açúcar em temperaturas de 100-150°C em tempos de 10-30 minutos, e observaram que todos os açúcares solúveis obtidos em sua pesquisa foram provenientes da hidrólise da hemicelulose, portanto, na fração sólida ocorreu diminuição do teor deste constituinte.

O aumento expressivo no teor de lignina após o pré-tratamento, de $13,63 \pm 1,33\%$ a $21,39 \pm 0,81\%$, já foi relatado por outros estudos que utilizaram processos térmicos, e isso pode ter ocorrido pela redistribuição das partículas da lignina nas fibras após o processo térmico (TRONCOSO-ORTEGA *et al.*, 2021). Isso pode ser observado no estudo com PT da madeira realizado por Ko *et al.* (2015), que com temperaturas de 180-200°C quantificaram teores de 80 a 90% da lignina na fração sólida. Esse fenômeno é dependente do fator de severidade do pré-tratamento, ou seja, em condições mais severas, como temperaturas altas, alta pressão e/ou tempos longos de exposição ao processo, a lignina tende a aderir na superfície da parede celular da biomassa formando gotículas, e podem resultar em uma barreira física que pode inibir processos biológicos a jusante (TRONCOSO-ORTEGA *et al.*, 2021; VITRONE *et al.*, 2022). Em imagens de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) da biomassa de cana-do-reino pré-tratada por processo térmico, Vitrone *et al.* (2022) conseguiram identificar gotículas de lignina na superfície da biomassa. Sendo assim, sugere-se que isso possa ter contribuído para o aumento do teor de lignina na biomassa de coroa do abacaxi avaliada neste estudo.

4.2.2 Pré-tratamentos químicos

4.2.2.1 Pré-tratamento químico com ácido sulfúrico

PAC utilizando H_2SO_4 teve um aumento no teor de celulose de 38,52% na biomassa bruta para 58,90% na biomassa pré-tratada. Esse aumento no teor de celulose de aproximadamente 53% após o PAC ocorreu pelo fracionamento da hemicelulose, e esse

fracionamento aumenta a área superficial e acesso a estrutura da biomassa (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2018; MATHEW *et al.*, 2016; TREICHEL *et al.*, 2020).

Comparativamente ao PT, sugere-se que a remoção potencializada da hemicelulose pode ter ocorrido devido a catalise ácida envolvida no processo. Por ação da quebra das ligações covalentes, ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals, resultantes das reações do ácido, este pré-tratamento se mostra mais efetivo na solubilização da hemicelulose (COELHO ANDRADE *et al.*, 2018; VENTURIN *et al.*, 2018).

Observa-se um teor elevado de lignina após pré-tratamento. Cabe observar que o aumento do teor de lignina pode estar atrelado ao fator discutido no tópico anterior sobre redistribuição nas fibras da biomassa e ao fator de severidade do pré-tratamento, que neste caso, associou as condições do processo térmico a catálise ácida (TRONCOSO-ORTEGA *et al.*, 2021)

Estes resultados corroboram com Venturin *et al.* (2019) que após pré-tratar a biomassa de caule de milho com ácido sulfúrico em autoclave (121°C, 42 minutos), observou um aumento no teor de celulose de $29,7 \pm 0,8\%$ para 43,9%, a redução de hemicelulose de $23,3 \pm 0,3\%$ para 5,8% e o aumento da lignina de $21,8 \pm 1,4\%$ para 28,9%.

4.2.2.2 Pré-tratamento químico com hidróxido de sódio

Os dois tipos de pré-tratamentos químicos com NaOH e ácido sulfúrico avaliados neste trabalho tiveram ação sobre a estrutura da hemicelulose. Os resultados apresentados no Quadro 1 mostram que em PAL20 o teor de celulose foi similar ao teor obtido no PAC.

Os teores de hemicelulose para os dois pré-tratamentos químicos (tempo de 20 e 100 minutos) também não apresentaram diferença estatística ($p_{\text{valor}} > 0,05$). Por ser uma estrutura amorfa, observa-se que a catálise química de ambos os pré-tratamentos atingiu a estrutura da hemicelulose, e como hipótese, ocorreu o fracionamento e liberação dos monossacarídeos para o líquido do pré-tratamento (LORENCI WOICIECHOWSKI *et al.*, 2020; QASEEM; SHAHEEN; WU, 2021).

A redução de hemicelulose após pré-tratamento com NaOH na coroa do abacaxi foi de aproximadamente 80% e 84% em PAL20 e PAL100, respectivamente. Uma diminuição do teor de hemicelulose também foi observada por Carvalho, Queiroz, Colodette, (2016) que avaliaram o pré-tratamento alcalino com concentrações de 5, 10 e 15% (m/v) de NaOH em biomassas de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar e palha de cana-de-açúcar. Na biomassa de eucalipto observaram uma remoção de hemicelulose de 47%, 55% e 61% no pré-tratamento com 5%,

10% e 15% de NaOH, respectivamente. Para o bagaço, quantificaram uma redução de 37%, 43% e 45%, e para palha, 55%, 61% e 66% respectivamente.

Cabe observar que aumentar o tempo de reação de 20 para 100 minutos no pré-tratamento com NaOH não gerou uma diferença significativa em termos de celulose para a biomassa da coroa do abacaxi. Portanto, neste estudo, o maior gasto de energia e tempo envolvido no processo não apresentou aumento no teor de celulose. Scopel e Rezende (2021) cuja metodologia de pré-tratamento alcalino foi utilizada neste trabalho, também relataram quantidades semelhantes de celulose na biomassa pré-tratada em ambos os tempos de reação.

4.2.2.3 Pré-tratamento químico ácido/alcalino sequencial

Em ambas as condições de processo, o PS da coroa do abacaxi apresentou um aumento significativo no teor de celulose. Cabe observar que aumentar o tempo de reação de 20 para 100 minutos no PS não gerou diferença estatística ($p_{\text{valor}} > 0,05$) em termos de celulose, hemicelulose e lignina.

Em comparação aos demais pré-tratamentos, observa-se uma redução maior na hemicelulose no sólido pré-tratado. Isso indica a possibilidade de que o líquido obtido se torna rico em açúcares, como pentoses (xilose, arabinose) e hexoses (glicose, galactose, manose) (LORENCI WOICIECHOWSKI *et al.*, 2020; RUIZ *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2021).

É provável que o PS tenha atingido a biomassa em duas etapas. O ácido diluído, da primeira etapa, age primeiramente sobre a estrutura da hemicelulose, e a solução alcalina, na segunda etapa, tem como mecanismo a extração da lignina (CAVALI *et al.*, 2020). E essa remoção da lignina realizada por NaOH está vinculada diretamente à temperatura e às condições da solução alcalina utilizada no processo (NITSOS *et al.*, 2016), e o aumento do teor desse composto na biomassa da coroa do abacaxi pode ter sido diretamente afetada pela severidade dos processos de pré-tratamento.

O PS já foi investigado em outros estudos. Scopel e Rezende (2021) avaliaram o pré-tratamento sequencial ácido/alcalino da biomassa de capim-elefante e destacam que, devido a maior remoção das estruturas da hemicelulose e da lignina envolvida nesse processo, os pré-tratamentos químicos favoreceram a obtenção de celulose (SCOPEL; REZENDE, 2021).

No ponto de vista econômico, alguns estudos como de Medina *et al.* (2018) avaliaram PS e demonstraram que pode ser uma alternativa para obtenção de diferentes produtos de alto valor agregado de uma mesma matéria-prima, mostrando ser possível o fracionamento da matriz lignocelulósica e a recuperação de diferentes produtos.

Destaque é dado aos elevados teores de celulose obtidos neste estudo que para além da produção de combustíveis podem ser aplicados para diferentes produtos e processos industriais. A nanocelulose (FAROOQ *et al.*, 2020; FOSTER *et al.*, 2018), por exemplo, por sua estabilidade térmica e excelentes propriedades mecânicas (AHANKARI *et al.*, 2021; MTIBE *et al.*, 2018) pode ser utilizada em áreas como a produção de papel, indústria têxtil, indústria alimentícia, biomédica e na produção de materiais sorventes (AHANKARI *et al.*, 2021; HANNON *et al.*, 2015; MOKHENA; JACOBS; LUYT, 2018; SHEFA *et al.*, 2019). A hemicelulose também pode ser avaliada em um hidrolisado rico em monossacarídeos, visto que, com a solubilização da hemicelulose satisfeita pelos pré-tratamentos, o líquido obtido no processo é rico em açúcares e pode ser aplicado como interesse industrial na biorrefinaria.

4.2.3 Hidrólise Enzimática

As biomassas pré-tratadas foram submetidas a um processo de hidrólise para avaliar o potencial de conversão da estrutura em monossacarídeos. A partir disso obtiveram-se os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados obtidos no processo de hidrólise para as biomassas de coroa do abacaxi pré-tratadas.

Condições	Celulose (%)	Glicose (%)	Rendimento de hidrólise (%)
PT	39,87 ^a ± 2,68	12,56 ± 0,55	57,19 ^{a,d} ± 2,51
PAC	58,90 ^b ± 0,90	20,13 ± 0,20	56,30 ^{a,d} ± 0,53
PAL20	53,02 ^b ± 0,86	14,28 ± 1,38	49,24 ^{a,b} ± 4,12
PAL100	66,04 ^c ± 1,97	15,18 ± 2,91	45,72 ^b ± 3,84
PS20	81,14 ^d ± 2,40	29,63 ± 1,31	60,01 ^{c,d,e} ± 2,61
PS100	80,43 ^d ± 3,46	34,04 ± 3,37	69,86 ^c ± 3,46
Bruta	38,52 ^a ± 1,14	13,32 ± 0,64	57,84 ^{a,e} ± 2,65

*Letras minúsculas iguais em mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo Teste de Tukey ($p_{\text{valor}} > 0,05$).

As amostras do PT, PAC, PAL20 e PS20 não apresentaram diferença estatística ($p_{\text{valor}} > 0,05$) em termos de rendimento de hidrólise enzimática. A recuperação de glicose em termos de teor de celulose foi diferente para cada tipo pré-tratamento, e isso pode estar relacionado diretamente à agressividade do processo de tratamento utilizado e outros fatores que influenciam o processo de hidrólise enzimática, como acristalinidade da celulose, a área de superfície disponível, o grau de acetilação da hemicelulose, os inibidores formados no processo, o tempo da duração do processo de hidrólise e geração de compostos fenólicos da degradação da lignina (GONZÁLEZ-BAUTISTA *et al.*, 2017; HUANG *et al.*, 2019; JIANG *et al.*, 2014; YE *et al.*, 2021).

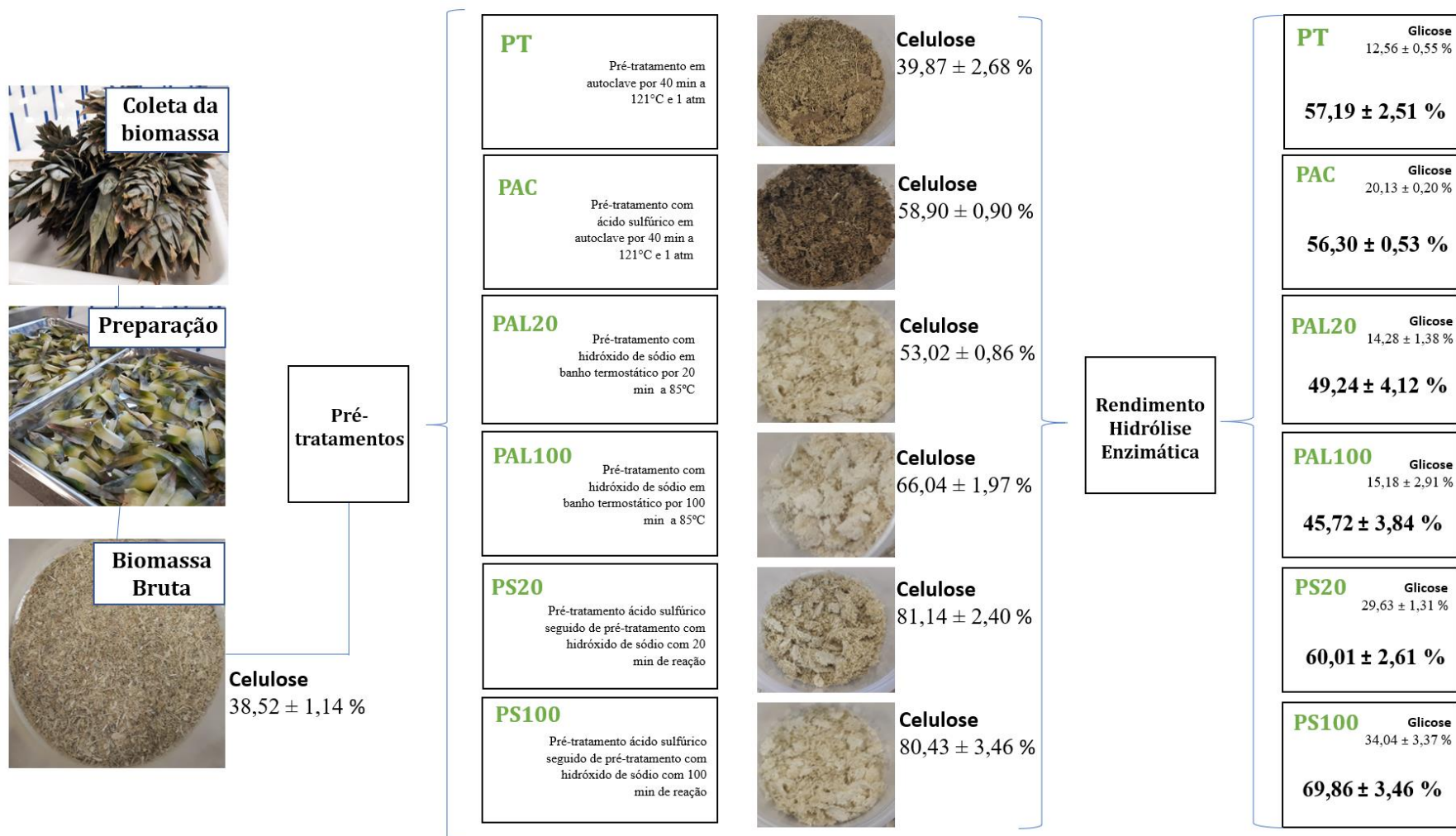
O PAL100 obteve rendimento de hidrólise menor em relação à biomassa bruta. Esse processo pode ser considerado agressivo devido ao tempo da exposição da biomassa ao processo químico, o que pode ter desencadeado inibições pela geração de compostos químicos que aderiram a superfície celular. Essa geração de compostos que podem inibir o processo em pré-tratamentos alcalinos pode ocorrer devido o mecanismo de saponificação, em que o agente alcalino realiza uma ligação entre os ésteres da xilana, presente na hemicelulose, com outros compostos, como a lignina (TREICHEL *et al.*, 2020; RABELO, 2010).

A adição da solução ácida anterior a solução alcalina, pode ter favorecido o processo e impedido a formação de inibidores, sendo a condição de PS a de maior rendimento em relação a bruta. Contudo, em termos de rendimento de hidrólise, não houve diferença estatística entre o PS20 e PS100. Com base nisso, se a intenção do processo de recuperação da biomassa do abacaxi for a produção de monossacarídeos para produção de biocombustíveis, a otimização experimental pode facilitar a compreensão das condições apropriadas e identificação das condições que influenciam positivamente os rendimentos de hidrólise.

4.2.4 Panorama geral dos processos avaliados neste estudo

No cenário de biorrefinarias de biomassa lignocelulósica é importante considerar a utilização do resíduo em todas as frações que a compõe estruturalmente. Considerando as estratégias utilizadas neste estudo, observa-se que é possível uma otimização experimental para melhorar o desempenho do processo dos pré-tratamentos através de uma recuperação da hemicelulose durante o processo ácido no pré-tratamento sequencial, e a remoção da lignina durante todos os demais processos, permitindo um sólido com alto teor de celulose para conversão em energia ou produtos. O resumo dos resultados obtidos em todos os processos está exposto na Figura 2.

Figura 2. Resumo dos processos avaliados e resultados obtidos neste estudo para a biomassa de coroa do abacaxi.



5 CONCLUSÃO

A recuperação de produtos de alto valor agregado advindos de biomassas residuais é uma esfera que tem impulsionado discussões sobre a relevância do gerenciamento de resíduos integrado a valorização dos mesmos. A biomassa da coroa do abacaxi ainda é uma matéria-prima pouco explorada, e com características interessantes para tornar-se matéria-prima na recuperação energética e de biomateriais.

Este estudo propôs aplicação de diferentes pré-tratamentos aplicados a coroa do abacaxi para possibilitar a valorização desta biomassa. Em termos de processo, todos os tipos de pré-tratamento avaliados neste estudo atingiram a estrutura da hemicelulose. No pré-tratamento PS20 e PS100 a hemicelulose teve degradação de aproximadamente 90%, mostrando que sua estrutura foi mais suscetível ao processo. Os pré-tratamentos também tiveram ação sobre a estrutura da celulose, em que foi possível obter rendimentos superiores a 50% na maioria das condições aplicadas. Por ser uma estrutura cristalina, a celulose pode ter tido maior resistência à degradação, e processos mais agressivos, como o PS20 e PS100, tenderam a aumentar seu teor, permitindo recuperação de 80% de celulose neste estudo. Em termos de rendimento de hidrólise, o pré-tratamento ácido/alcalino sequencial apresentou aproximadamente 70%, revelando seu potencial uso para processos subsequentes.

Portanto, o elevado teor de celulose recuperado no sólido possibilitou a conversão em monossacarídeos, o que torna possível visualizar cenários onde essa biomassa poderá ser avaliada como matéria-prima para a conversão em biocombustíveis, bem como a recuperação da celulose para produção de bioprodutos com aplicabilidade industrial.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

1. Otimização dos processos de pré-tratamento por meio de planejamento experimental visando o fracionamento da estrutura e redução do teor de lignina no sólido pré-tratado, para maior recuperação de celulose;
2. Avaliação do líquido obtido após pré-tratamento, para que, dentro de um contexto de biorrefinaria, seja possível recuperar a celulose e os açúcares derivados da hemicelulose, que possuem importante relevância industrial, e poderia possibilitar viabilidade econômica e ambiental para recuperação do resíduo da coroa do abacaxi;
3. Recuperação da lignina aderida na superfície, permitindo que os processos biológicos posteriores obtenham melhores rendimentos em termos de hidrólise, em relação aos quantificados neste trabalho;
4. Avaliação de processos fermentativos do hidrolisado enzimático para estudos efetivos de rendimento em etanol 2G.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADSUL, M.; SANDHU, S. K.; SINGHANIA, R. R.; GUPTA, R.; PURI, S. L.; MATHUR, A. Designing a cellulolytic enzyme cocktail for the efficient and economical conversion of lignocellulosic biomass to biofuels. **Enzyme and microbial technology**, v. 133, p. 109442, 2020.
- AHANKARI, S. S.; SUBHEDAR, A. R.; BHADAURIA, S. S.; DUFRESNE, A. Nanocellulose in food packaging: A review. **Carbohydrate Polymers**, vol. 255, p. 117479, Mar. 2021.
- AJAO, O.; MARINOVA, M.; SAVADOGO, O.; PARIS, J. Hemicellulose based integrated forest biorefineries: Implementation strategies. **Industrial Crops and Products**, vol. 126, p. 250–260, Dec. 2018.
- ALMEIDA, U. O. de. Desempenho agrônômico de abacaxizeiro BRS" RBO" em diferentes épocas de plantio com irrigação suplementar e sequeiro. **Embrapa Acre-Tese/dissertação**, 2019.
- BANERJEE, R.; CHINTAGUNTA, A. D.; RAY, S. A cleaner and eco-friendly bioprocess for enhancing reducing sugar production from pineapple leaf waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 387-395, 2017.
- BAZOTI, S. F.; GOLUNSKI, S.; PEREIRA SIQUEIRA, D.; SCAPINI, T.; BARRILLI, É. T.; ALEX MAYER, D.; BARROS, K. O.; ROSA, C. A.; STAMBUK, B. U.; ALVES, S. L.; VALÉRIO, A.; DE OLIVEIRA, D.; TREICHEL, H. Second-generation ethanol from non-detoxified sugarcane hydrolysate by a rotting wood isolated yeast strain. **Bioresource Technology**, vol. 244, p. 582–587, Nov. 2017.
- BHUTTO, A.W.; QURESHI, K.; HARIJAN, K.; ZAHEDI, G.; BAHADORI, A. Strategies for the consolidation of biologically mediated events in the conversion of pre-treated lignocellulose into ethanol. **Rsc Advances**, v. 4, n. 7, p. 3392-3412, 2014.
- BONATTO, C.; SCAPINI, T.; ZANIVAN, J.; DALASTRA, C.; BAZOTI, S. F.; ALVES, S.; FONGARO, G.; DE OLIVEIRA, D.; TREICHEL, H. Utilization of seawater and wastewater from shrimp production in the fermentation of papaya residues to ethanol. **Bioresource Technology**, v. 321, p. 124501, 2021.
- BRAGA, R.; QUEIROGA, T.S.; CALIXTO, G.Q.; ALMEIDA, G.Q.; ALMEIDA, H.N.; MELO, D. M. A. FREITAS, J. C. O. CURBELO, F.D.S The energetic characterization of pineapple crown leaves. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 23, p. 18987-18993, 2015.
- BRODEUR, G.; YAU, E.; BADAL, K.; COLLIER, J; RAMACHANDRAN, K.B.; RAMAKRISNAN, S. Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: a review. **Enzyme research**, v. 2011, 2011.
- CABRAL, J. R. S.; JUNGHANS, D. T. Variedades de abacaxi. **Embrapa Mandioca e Fruticultura - Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

CARDOSO, W. S.; SANTOS, F. A.; MOTA, C. M.; TARDIN, F. D.; RESENDE, S. T.; QUEIROZ, J. H. Pré-tratamentos de biomassa para produção de etanol de segunda geração. **Revista Analytica**, v. 56, p. 54-74, 2012

CARVALHO, D. M. de; QUEIROZ, J. H. de; COLODETTE, J. L. Assessment of alkaline pretreatment for the production of bioethanol from eucalyptus, sugarcane bagasse and sugarcane straw. **Industrial Crops and Products**, vol. 94, p. 932–941, Dec. 2016.

CAVALI, M.; SOCCOL, C. R.; TAVARES, D.; ZEVALLOS TORRES, L. A.; OLIVEIRA DE ANDRADE TANOBE, V.; ZANDONÁ FILHO, A.; WOICIECHOWSKI, A. L. Effect of sequential acid-alkaline treatment on physical and chemical characteristics of lignin and cellulose from pine (*Pinus* spp.) residual sawdust. **Bioresource Technology**, vol. 316, p. 123884, Nov. 2020.

CHEN, A.; GUAN, Y. J.; BUSTAMANTE, M.; URIBE, L.; URIBE-LORÍO, L.; ROOS, M.; LIU, Y. Production of renewable fuel and value-added bioproducts using pineapple leaves in Costa Rica. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, p. 105675, 2020.

COELHO ANDRADE, T. C.; SIQUEIRA, L. N. de; SOUZA, D. A. de; SILVA, F. V.; GUARDA, P. M.; GUARDA, E. A. 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**, vol. 11, no. 3, p. 955, 27 Sep. 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras**. Brasília: Conab, 2020.

CORAL MEDINA, J. D.; WOICIECHOWSKI, A. L.; FILHO, A. Z.; BRAR, S. K.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. I.; SOCCOL, C. R. Energetic and economic analysis of ethanol, xylitol and lignin production using oil palm empty fruit bunches from a Brazilian factory. **Journal of Cleaner Production**, vol. 195, p. 44–55, Sep. 2018.

COSTA, A. G.; PINHEIRO, G. C.; PINHEIRO, F. G. C.; DOS SANTOS, A. B.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. The use of thermochemical pretreatments to improve the anaerobic biodegradability and biochemical methane potential of the sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, vol. 248, p. 363–372, Jul. 2014.

COTANA, F.; CAVALAGLIO, G.; GELOSIA, M.; NICOLINI, A.; COCCIA, V.; PETROZZI, A. Production of bioethanol in a second generation prototype from pine wood chips. **Energy Procedia**, v. 45, p. 42-51, 2014.

CYPRIANO, D. Z.; DA SILVA, L. L.; TASIC, L. High value-added products from the orange juice industry waste. **Waste Management**, vol. 79, p. 71–78, Sep. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.028>.

DIAS, M. O.; JUNQUEIRA, T. L.; ROSSEL, C. E.; FILHO, R. M.; BONOMI, A. Evaluation of process configurations for second generation integrated with first generation bioethanol production from sugarcane. **Fuel Processing Technology**, v. 109, p. 84-89, 2013.

FAROOQ, A.; PATOARY, M. K.; ZHANG, M.; MUSSANA, H.; LI, M.; NAEEM, M. A.; MUSHTAQ, M.; FAROOQ, A.; LIU, L. Cellulose from sources to nanocellulose and an

overview of synthesis and properties of nanocellulose/zinc oxide nanocomposite materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 154, p. 1050–1073, Jul. 2020.

FOSTER, E. J.; MOON, R. J.; AGARWAL, U. P.; BORTNER, M. J.; BRAS, J.; CAMARERO-ESPINOSA, S.; CHAN, K. J.; CLIFT, M. J. D.; CRANSTON, E. D.; EICHHORN, S. J.; FOX, D. M.; HAMAD, W. Y.; HEUX, L.; JEAN, B.; KOREY, M.; NIEH, W.; ONG, K. J.; REID, M. S.; RENNECKAR, S.; ... YOUNGBLOOD, J. Current characterization methods for cellulose nanomaterials. **Chemical Society Reviews**, vol. 47, no. 8, p. 2609–2679, 2018.

GHINEA, C.; LEAHU, A. Monitoring of fruit and vegetable waste composting process: relationship between microorganisms and physico-chemical parameters. **Processes**, v. 8, n. 3, p. 302, 2020.

GOMES, D. G.; MICHELIN, M.; ROMANÍ, A.; DOMINGUES, L.; TEIXEIRA, J. A. Co-production of biofuels and value-added compounds from industrial Eucalyptus globulus bark residues using hydrothermal treatment. **Fuel**, v. 285, p. 119265, 2021.

GONZÁLEZ-BAUTISTA, E.; SANTANA-MORALES, J. C.; RÍOS-FRÁNQUEZ, F. J.; POGGI-VARALDO, H. M.; RAMOS-VALDIVIA, A. C.; CRISTIANI-URBINA, E.; PONCE-NOYOLA, T. Phenolic compounds inhibit cellulase and xylanase activities of *Cellulomonas flavigena* PR-22 during saccharification of sugarcane bagasse. **Fuel**, vol. 196, p. 32–35, May 2017.

GUPTA, A.; VERMA, J. P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 550-567, 2015.

HANNON, J. C.; KERRY, J.; CRUZ-ROMERO, M.; MORRIS, M.; CUMMINS, E. Advances and challenges for the use of engineered nanoparticles in food contact materials. **Trends in Food Science & Technology**, vol. 43, no. 1, p. 43–62, May 2015.

HAQUE, M. A.; BARMAN, D. N.; KANG, T. H.; KIM, M. K.; KIM, J.; KIM, H.; YUN, H. D. Effect of dilute alkali on structural features and enzymatic hydrolysis of barley straw (*Hordeumvulgare*) at boiling temperature with low residence time. **J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 22, n. 1681-1691, 2012.

HASSAN, S. S.; WILLIAMS, G. A.; JAISWAL, A. K. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, vol. 262, p. 310–318, Aug. 2018.

HENDRIKS, A. T. W. M.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 100, n. 1, p. 10-18, 2009.

HUANG, C.; LIN, W.; LAI, C.; LI, X.; JIN, Y.; YONG, Q. Coupling the post-extraction process to remove residual lignin and alter the recalcitrant structures for improving the enzymatic digestibility of acid-pretreated bamboo residues. **Bioresource Technology**, vol. 285, p. 121355, Ago. 2019.

HUZIR, N. M.; AZIZ, M. M. A.; ABDULLAH, B.; MAHMOOD, N. A. N.; UMOR, N. A.; MUHAMMAD, S. A. F. S. Agro-industrial waste to biobutanol production: Eco-friendly

biofuels for next generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 476-485, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: lavouras temporárias**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193?indicador=10194>

JIANG, W.; PENG, H.; LI, H.; XU, J. Effect of acetylation/deacetylation on enzymatic hydrolysis of corn stalk. **Biomass and Bioenergy**, vol. 71, p. 294–298, 2014.

JIRAPORNVAREE, I.; SUPPADIT, T.; POPAN, A. Use of pineapple waste for production of decomposable pots. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 345-350, 2017.

KHEDKAR, M. A.; NIMBALKAR, P. R.; GAIKWAD, S. G.; CHAVAN, P. V.; BANKAR, S. B. Sustainable biobutanol production from pineapple waste by using *Clostridium acetobutylicum* B 527: drying kinetics study. **Bioresource technology**, v. 225, p. 359-366, 2017.

KIM, J. S.; LEE, Y. Y.; KIM, T. H. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 199, p. 42-48, 2016.

KO, J. K.; KIM, Y.; XIMENES, E.; LADISCH, M. R. Effect of liquid hot water pretreatment severity on properties of hardwood lignin and enzymatic hydrolysis of cellulose. **Biotechnology and Bioengineering**, vol. 112, no. 2, p. 252–262, 10 Feb. 2015.

LIAN, J.; CHEN, S.; ZHOU, S.; WANG, Z.; O’FALLON, J.; CHUN-ZHU, L.; PEREZ, M. G. Separation, hydrolysis and fermentation of pyrolytic sugars to produce ethanol and lipids. **Bioresource technology**, v. 101, n. 24, p. 9688-9699, 2010.

LORENCI WOICIECHOWSKI, A.; DALMAS NETO, C. J.; PORTO DE SOUZA VANDENBERGHE, L.; DE CARVALHO NETO, D. P.; NOVAK SYDNEY, A. C.; LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; ZEVALLOS TORRES, L. A.; SOCCOL, C. R. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – Conventional processing and recent advances. **Bioresource Technology**, vol. 304, p. 122848, May 2020.

MA, Y.; HUMMEL, M.; MAATTANEN, M.; SARKILAHTI, A.; HARLIN, A.; SIXTA, A. Upcycling of waste paper and cardboard to textiles. **Green Chemistry**, v. 18, n. 3, p. 858-866, 2016.

MATHEW, A. K.; PARAMESHWARAN, B.; SUKUMARAN, R. K.; PANDEY, A. An evaluation of dilute acid and ammonia fiber explosion pretreatment for cellulosic ethanol production. **Bioresource Technology**, vol. 199, p. 13–20, Jan. 2016.

MODENBACH, A. **Sodium hydroxide pretreatment of corn stover and subsequent enzymatic hydrolysis: An investigation of yields, kinetic modeling and glucose recovery**, Ph.D. dissertation at the University of Kentucky, 2013.

- MOKHENA, T. C.; JACOBS, N. v.; LUYT, A. S. Nanofibrous alginate membrane coated with cellulose nanowhiskers for water purification. **Cellulose**, vol. 25, no. 1, p. 417–427, 30 Jan. 2018.
- MTIBE, A.; MOKHOTHU, T. H.; JOHN, M. J.; MOKHENA, T. C.; MOCHANE, M. J. Fabrication and Characterization of Various Engineered Nanomaterials. **Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications**. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 151–171.
- MUSULE, R.; ALARCÓN-GUTIÉRREZ, E.; HOUBRON, E. P; BÁRCENAS-PAZOS, G. M.; PINEDA-LÓPEZ, R.; DOMÍNGUEZ, Z.; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L. R. Chemical composition of lignocellulosic biomass in the wood of *Abies religiosa* across an altitudinal gradient. **Journal of Wood Science**, v. 62, n. 6, p. 537-547, 2016.
- NISHIMURA, R.; PERES, T. C.; LOPES, E. F. G. P.; CUPERTINO, E. M.; GONÇALVES, C. T. dos S.; OLIVEIRA, E. M. de. CARACTERIZAÇÃO DO ABACAXI DO TIPO PÉROLA. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2018.
- NITSOS, C.; STOKLOSA, R.; KARNAOURI, A.; VÖRÖS, D.; LANGE, H.; HODGE, D.; CRESTINI, C.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. Isolation and Characterization of Organosolv and Alkaline Lignins from Hardwood and Softwood Biomass. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, vol. 4, no. 10, p. 5181–5193, 3 Oct. 2016.
- OBEROI, H. S.; VADLANI, P. v.; SAIDA, L.; BANSAL, S.; HUGHES, J. D. Ethanol production from banana peels using statistically optimized simultaneous saccharification and fermentation process. **Waste Management**, vol. 31, no. 7, p. 1576–1584, Jul. 2011.
- PACHECO, R.; SILVA, C. Global warming potential of biomass-to-ethanol: Review and sensitivity analysis through a case study. **Energies**, v. 12, n. 13, p. 2535, 2019.
- PEREIRA, P. H. F.; ORNAGHI JR, H. L.; ARANTES, V.; CIOFFI, M. O. H. Effect of chemical treatment of pineapple crown fiber in the production, chemical composition, crystalline structure, thermal stability and thermal degradation kinetic properties of cellulosic materials. **Carbohydrate Research**, v. 499, p. 108227, 2021.
- QASEEM, M. F.; SHAHEEN, H.; WU, A.-M. Cell wall hemicellulose for sustainable industrial utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 144, p. 110996, Jul. 2021.
- 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**. 2010. - Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- REID, W. V.; ALI, M, K.; FIELD, C. B. The future of bioenergy. **Global change biology**, v. 26, n. 1, p. 274-286, 2020.
- REZENDE, C. A.; ATTA, B. W.; BREITKREITZ, M. C.; SIMISTER, R.; GOMEZ, L. D.; MCQUEEN-MASON, S. J. Optimization of biomass pretreatments using fractional factorial experimental design. **Biotechnology for Biofuels**, vol. 11, no. 1, p. 206, 24 Dec. 2018.
- ROGELJ, J.; SHINDELL, D.; JIANG, K.; FIFITA, S.; FORSTER, P. Mitigation pathways compatible with 1.5 C in the context of sustainable development. *In: Global warming of 1.5° C*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018. p. 93-174.

RUIZ, H. A.; CONRAD, M.; SUN, S.-N.; SANCHEZ, A.; ROCHA, G. J. M.; ROMANÍ, A.; CASTRO, E.; TORRES, A.; RODRÍGUEZ-JASSO, R. M.; ANDRADE, L. P.; SMIRNOVA, I.; SUN, R.-C.; MEYER, A. S. Engineering aspects of hydrothermal pretreatment: From batch to continuous operation, scale-up and pilot reactor under biorefinery concept. **Bioresource Technology**, vol. 299, p. 122685, Mar. 2020.

RUIZ, H. A.; CONRAD, M.; SUN, S.-N.; SANCHEZ, A.; ROCHA, G. J. M.; ROMANÍ, A.; CASTRO, E.; TORRES, A.; RODRÍGUEZ-JASSO, R. M.; ANDRADE, L. P.; SMIRNOVA, I.; SUN, R.-C.; MEYER, A. S. Engineering aspects of hydrothermal pretreatment: From batch to continuous operation, scale-up and pilot reactor under biorefinery concept. **Bioresource Technology**, vol. 299, p. 122685, Mar. 2020.

SAHA, K.; MAHESWARI R, U.; SIKDER, J.; CHAKRABORTY, S.; SILVA, S. S. da. SANTOS, J. C. dos. Membranes as a tool to support biorefineries: applications in enzymatic hydrolysis, fermentation and dehydration for bioethanol production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 873-890, 2017.

SARAH, S.; WAWA, R.; MAJID, R.A.; YAHYA, W.J.; ADRUS, N; HASANNUDDIN, A.K.; LOW, J.H. Optimization of pineapple leaf fibre extraction methods and their biodegradabilities for soil cover application. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 319-329, 2018.

SCAPINI, T.; DOS SANTOS, M. S. N.; BONATTO, C.; WANCURA, J. H. C.; MULINARI, J.; CAMARGO, A. F.; KLANOVICZ, N.; ZABOT, G. L.; TRES, M. v.; FONGARO, G.; TREICHEL, H. Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass for hemicellulose recovery. **Bioresource Technology**, vol. 342, p. 126033, Dec. 2021.

SCOPEL, E.; REZENDE, C. A. Biorefinery on-demand: Modulating pretreatments to recover lignin, hemicellulose, and extractives as co-products during ethanol production. **Industrial Crops and Products**, vol. 163, p. 113336, Mai. 2021.

SHEFA, A. A.; TAZ, M.; HOSSAIN, M.; KIM, Y. S.; LEE, S. Y.; LEE, B.-T. Investigation of efficiency of a novel, zinc oxide loaded TEMPO-oxidized cellulose nanofiber based hemostat for topical bleeding. **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 126, p. 786–795, Abr. 2019.

SHEN, J.; WANG, C.; LIU, Y.; HU, C.; XIN, Y.; DING, N.; SU, S. Effect of ultrasonic pretreatment of the dairy manure on the electricity generation of microbial fuel cell. **Biochemical Engineering Journal**, v. 129, p. 44–49, 2018.

SIBALY, S.; JEETAH, P. Production of paper from pineapple leaves. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.5, p.5979-5986, 2017.

SILVA, C. N. da.; BRONZATO, G. R. F.; CESARINO, I. LEÃO, A. L. Second-generation ethanol from pineapple leaf fibers. **Journal of Natural Fibers**, v. 17, n. 1, p. 113-121, 2020.

SILVA, J. dos S.; MALTA, V. R. dos S.; SANTOS-ROCHA, M. S. R. dos.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A.; VICENTE, C. D.; BARBOSA, K. L. Hidrólise enzimática, fermentação e produção de biocombustíveis através da coroa de Ananas comosus. **Química Nova**, v. 41, p. 1127-1131, 2018.

SILVA, J.; MALTA, V.; SANTOS-ROCHA, M.; ALMEIDA, R.; GOMES, M.; VICENTE, C.; BARBOSA, K. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA, FERMENTAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS ATRAVÉS DA COROA DE Ananas comosus. **Química Nova**, vol. 2018, 2018.

SUN, Q.; CHEN, W.-J.; PANG, B.; SUN, Z.; LAM, S. S.; SONNE, C.; YUAN, T.-Q. Ultrastructural change in lignocellulosic biomass during hydrothermal pretreatment. **Bioresource Technology**, vol. 341, p. 125807, Dez. 2021.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource technology**, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

TREICHEL, H.; FONGARO, G.; SCAPINI, T.; FRUMI CAMARGO, A.; SPITZA STEFANSKI, F.; VENTURIN, B. Waste Biomass Pretreatment Methods. *In*: TREICHEL, H.; FONGARO, G.; SCAPINI, T.; CAMARGO, A. F.; STEFANSKI, F. S.; VENTURIN, B. (org.). **Utilising Biomass in Biotechnology**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2020 a. p. 19–48. *E-book*.

TRONCOSO-ORTEGA, E.; CASTILLO, R. del P.; REYES-CONTRERAS, P.; CASTAÑO-RIVERA, P.; TEIXEIRA MENDONÇA, R.; SCHIAPPACASSE, N.; PARRA, C. Effects on Lignin Redistribution in Eucalyptus globulus Fibres Pre-Treated by Steam Explosion: A Microscale Study to Cellulose Accessibility. **Biomolecules**, vol. 11, no. 4, p. 507, 29 Mar. 2021.

ULLAH, H.; SANTOS, H. A.; KHAN, T. Applications of bacterial cellulose in food, cosmetics and drug delivery. **Cellulose**, v. 23, n. 4, p. 2291-2314, 2016.

VENTURIN, B.; FRUMI CAMARGO, A.; SCAPINI, T.; MULINARI, J.; BONATTO, C.; BAZOTI, S.; PEREIRA SIQUEIRA, D.; MARIA COLLA, L.; ALVES, S. L.; PAULO BENDER, J.; LUÍS RADIS STEINMETZ, R.; KUNZ, A.; FONGARO, G.; TREICHEL, H. Effect of pretreatments on corn stalk chemical properties for biogas production purposes. **Bioresource Technology**, vol. 266, p. 116–124, Out. 2018.

VENTURIN, B.; CAMARGO, A. F.; SCAPINI, T.; MULINARI, J.; BONATTO, C.; BAZOTI, S.; SIQUEIRA, D. P.; COLLA, L. M.; ALVES, S. L.; BENDER, J. P.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A.; FONGARO, G.; TREICHEL, H. Effect of pretreatments on corn stalk chemical properties for biogas production purposes. **Bioresource Technology**, v. 266, p. 116–124, 2018.

VITRONE, F.; RAMOS, D.; VITAGLIANO, V.; FERRANDO, F.; SALVADÓ, J. All-lignocellulosic fiberboards from giant reed (*Arundo donax* L.): Effect of steam explosion pretreatment on physical and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, vol. 319, p. 126064, Fev. 2022.

YE, K.; TANG, Y.; FU, D.; CHEN, T.; LI, M. Effect of magnesium oxide pretreatment on the delignification and enzymatic hydrolysis of corncob. **Industrial Crops and Products**, vol. 161, p. 113170, Mar. 2021.