

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0411-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.118221208>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos 2” é constituído por oito capítulos de livros que se distribuíram em três eixos-temáticos: *i)* produção e desenvolvimento de produtos de maior eficiência e de menor custo; *ii)* utilização de biomassa e controle de variável em diferentes processos industriais e; *iii)* geração de energia e estimativa de custo para recuperar espécies em recursos hídricos.

O primeiro capítulo investigou a relação de um conjunto de filtros, utilizados em ambientes fechados, em relação à eficiência e o consumo energético resultando em um sistema que requeria um consumo de 8 W e uma eficiência de retenção de partículas abaixo do recomendado pela OMS. O capítulo 2 avaliou o desenvolvimento de produção de nanofibras via *electrospinning* a partir da análise de números adimensionais com múltiplas variáveis, os resultados sugerem estudos promissores que definiram a operação de produção de fibras pela via *electrospinning*.

Os capítulos de 3 a 5 avaliaram: *i)* a importância do controle de temperatura no processo de esterilização de alimentos a partir de um modelamento matemático por meio de simulação computacional; *ii)* influência da temperatura na produção de ácido cítrico utilizando fungos da espécie *Aspergillus Awamori e*; *iii)* extração de xilose e glicose a partir do eucalipto (*Eucalyptus sp.*) a partir do pré-tratamento utilizando o ácido peracético e hidróxido de sódio.

Por fim, os capítulos de 6 a 8 apresentaram trabalhos que avaliaram: *i)* utilização da energia térmica a partir de resíduos de *Chillers*, gerados em unidades hospitalares; *ii)* análise de custo para recuperar microalgas a partir de processos de microfiltração e; *iii)* remoção de arsênio (III) em matrizes aquosa empregando carbono pirolisado como adsorvente.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **PROJETO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR UTILIZANDO MEIOS FILTRANTES DE NANOFIBRAS**

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212081>


### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **OBTENÇÃO DE ADIMENSIONAIS PARA O ESTUDO DE *ELECTROSPINNING***

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212082>


### **CAPÍTULO 3..... 33**

#### **CONTROLE INFERENCIAL PARA ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS**

Danúbia Lucas Meira Gontijo

Rafael Yuri Medeiros Barbosa

Rubens Gedraite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212083>

### **CAPÍTULO 4..... 47**

#### **PRODUÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO POR *ASPERGILLUS AWAMORI* E INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA EM SISTEMA DESCONTÍNUO**

Emanuel Souza Barros

José Eduardo Olivo

Deivid Jonathan Souza Barros

Edvan Vinicius Gonçalves

Carlos Hiroaki Missaki Kuwabara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212084>

### **CAPÍTULO 5..... 53**

#### **EXTRAÇÃO DE XILOSE E GLICOSE DE *EUCLYPTUS* sp. PRÉ- TRATADOS COM ÁCIDO PERACÉTICO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO**

Eduardo de Souza Costa Antunes

Ezequiel Marcelino da Silva

Raquel Marchesan

Adriane Maria Ferreira Milagres


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212085>

### **CAPÍTULO 6..... 69**

#### **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO CALOR RESIDUAL DOS CHILLERS**

**PARA PROCESSOS DE AQUECIMENTO EM HOSPITAIS**


Breno Wasserstein  
Carlos Eduardo Bonazzola Ribeiro  
Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212086>

**CAPÍTULO 7..... 86**

**ESTIMATIVA DO CUSTO DE CAPITAL DA MICROFILTRAÇÃO EM UM PROCESSO CONTÍNUO DE RECUPERAÇÃO DE MICROALGAS**

Gilzza Garcia Borges  
Rafael Bruno Vieira  
Thamayne Valadares de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212087>

**CAPÍTULO 8..... 99**

**REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) POR MEDIO DE CARBÓN DE PIROLISIS EN FASE ACUOSA**

Octavio Trejo-Chavero  
Lidia Soriano-Piña  
Cecilia Mercado-Zúñiga  
Juventino Barojas-Huerta  
María Teresa Torres-Mancera  
Raquel Eunice Hernández Ramírez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212088>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 104**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 105**

## EXTRAÇÃO DE XILOSE E GLICOSE DE *EUCLYPTUS* sp. PRÉ- TRATADOS COM ÁCIDO PERACÉTICO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 09/06/2022

### **Eduardo de Souza Costa Antunes**

Universidade Federal do Tocantins  
Gurupi – Tocantins  
<http://lattes.cnpq.br/0768581554438176>

### **Ezequiel Marcelino da Silva**

Universidade Federal do Tocantins  
Gurupi – Tocantins  
<http://lattes.cnpq.br/2834949105605020>

### **Raquel Marchesan**

Universidade Federal do Tocantins  
Gurupi – Tocantins  
<http://lattes.cnpq.br/8418109777627234>

### **Adriane Maria Ferreira Milagres**

Universidade de São Paulo  
Lorena – SP  
<http://lattes.cnpq.br/4550627569914128>

**RESUMO:** O *Eucalyptus* é um dos gêneros florestais mais cultivados no Brasil e sua produção origina diversos resíduos como raízes, galhos e folhas. Uma forma de reaproveitamento desse material é aplicando pré-tratamentos químicos e biológicos para fracionar seus componentes lignocelulósicos, e assim ser destinados para a produção de diversos subprodutos. O objetivo deste trabalho foi estudar diferentes pré-tratamentos para madeira *in natura* e madeira tratada termicamente a 150° C do gênero *Eucalyptus*, a fim de atingir uma

maior deslignificação e preservar o máximo de carboidratos. No estudo deste trabalho foram realizados testes em que o *Eucalyptus in natura* foi submetido a hidrólise com ácido peracético (PAA) em temperaturas de 60°C e 90°C, diferindo o tempo de contato. Sendo assim, observou-se que a elevação da temperatura atuou como um dos fatores fundamentais, visto que promoveu uma maior remoção da lignina (43%). Consequentemente, essa deslignificação implicou positivamente em maior extração de xilose (40%) e glicose (15%) com maior carga de enzimas 22,5 FPU (Unidades de Papel Filtro). Outro pré-tratamento foi realizado com *eucalyptus* tratado termicamente a 150° C, na presença de hidróxido de sódio e posteriormente tratado com enzima lacase para remoção da lignina e frações da hemicelulose. Observou-se que a amostra contendo lacase com adição de substrato ABTS apresentou maior intensidade na espectrofotometria UV/VIS e com isso maior extração de xilose (37%) e glicose (10%). Diante destes dados, o pré-tratamento com ácido peracético a 90 °C apresentou maior extração de xilose e glicose, quando comparado com o pré-tratamento com NaOH e lacase.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrólise enzimática. Remoção de lignina. Pré-tratamento. Extração de açúcares.

### EXTRACTION OF XYLOSE AND GLUCOSE FROM *EUCLYPTUS* sp. PRE-TREATED WITH PERACETIC ACID AND SODIUM HYDROXIDE

**ABSTRACT:** *Eucalyptus* is one of the most cultivated forest genera in Brazil and its

production originates various residues such as roots, branches and leaves. One way to reuse this material is by applying chemical and biological pre-treatments to fractionate its lignocellulosic components, and thus be destined for the production of various by-products. The objective of this work was to study different pre-treatments for wood in natura and wood heat treated at 150° C of the genus *Eucalyptus*, in order to achieve greater delignification and preserve the maximum amount of carbohydrates. In the study of this work, tests were carried out in which *Eucalyptus* in natura was subjected to hydrolysis with peracetic acid (PAA) at temperatures of 60°C and 90°C, differing the contact time. Thus, it was observed that the increase in temperature acted as one of the fundamental factors, since it promoted a greater removal of lignin (43%). Consequently, this delignification positively implied in greater extraction of xylose (40%) and glucose (15%) with a greater load of enzymes 22.5 FPU (Filter Paper Units). Another pre-treatment was carried out with eucalyptus heat treated at 150°C in the presence of sodium hydroxide and subsequently treated with laccase enzyme to remove lignin and hemicellulose fractions. It was observed that the sample containing laccase with the addition of ABTS substrate showed greater intensity in the UV/VIS spectrophotometry and with that, greater extraction of xylose (37%) and glucose (10%). In view of these data, the pretreatment with peracetic acid at 90 °C showed higher extraction of xylose and glucose, when compared with the pretreatment with NaOH and laccase.

**KEYWORDS:** Enzymatic hydrolysis. Lignin removal. Pre-treatment. Sugar extraction.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma imensa diversidade de biomassas lignocelulósicas apresentando um potencial para aproveitamento energético e químico em larga escala, a exemplo dos resíduos gerados durante a exploração florestal e nas serralherias (MACÊDO, 2012). Biomassa celulósica, derivada de fontes que não são alimentos, tal como árvores, está sendo utilizada como matéria-prima para produção de etanol celulósico. Na parede celular vegetal, celulose é encontrada em combinação com lignina e hemicelulose resultando em um sólido complexo e recalcitrante chamado de lignocelulose (CASTOLDI et al., 2014).

Esses materiais possuem uma rede complexa e resistente formada principalmente por lignina (10% a 30%), hemicelulose (15% a 35%) e celulose (30% a 50%) e as concentrações de cada um desses elementos variam de acordo com o tipo de matéria-prima, idade e estágio vegetativo (JEFFRIES, 1990). Os resíduos de materiais lignocelulósicos podem ser aplicados na produção de alimentos, combustíveis, insumos químicos, enzimas e bens de consumo diversos (HAMELINCK, 2005).

Materiais baseados em açúcar e amido tais como cana-de-açúcar e grãos são dois grupos de matérias-primas atualmente usados como fontes principais para produção de etanol. O terceiro grupo é os materiais lignocelulósicos representando a opção mais viável para produção de etanol (TALEBNIA et al., 2010). No intuito de produzir etanol celulósico, diferentes estudos têm sido desenvolvidos, como sacarificação e fermentação simultâneos (SSF), sacarificação simultânea à co-fermentação (SSCF), hidrólise e fermentação simultâneos (SHF), hidrólise e co-fermentação das hexoses com pentoses (SHCF) e

bioprocessamento consolidado (CBP) (SILVEIRA; VANELLI; CHANDEL, 2018).

A estrutura dos materiais lignocelulósicos os torna resistentes à degradação tanto dos polissacarídeos quanto da lignina (BRIENZO, 2010). Para o fracionamento da biomassa lignocelulósica é necessário a aplicação de tratamentos físicos, químicos e biológicos ou em conjunto. O pré-tratamento é uma forma que visa a diminuição da recalcitrância dos materiais para facilitar o fracionamento. Tratamentos químicos em condições alcalinas e altas temperaturas é muito importante para a recuperação da hemicelulose (BRIENZO, 2010) e tratamentos com ácidos agem severamente removendo a hemicelulose e partes da celulose e lignina. Outro pré-tratamento muito usado é com reagentes oxidantes, por exemplo os perácidos que apresentam um elevado potencial oxidante e que age na remoção de lignina (BRASILEIRO et. al., 2001).

Para os tratamentos biológicos é utilizado na sua maioria enzimas lignolíticas, que são produzidas pelos fungos da podridão branca geralmente como metabólito secundário (FARIA, 2011). Entre essas enzimas, que tem a capacidade de oxidar a lignina, tem-se as lacases que apresentam um potencial redox suficiente para a remoção de elétrons da estrutura fenólica, e assim aumentando sua taxa de deslignificação (BAO et. al., 1994). Para a extração da fração da hemicelulose e celulose é utilizada as xilanasas e celulasas, respectivamente. Ambas as enzimas fazem parte de um extrato enzimático que agem em sinergismo, fazendo a hidrólise da xilana em xilose, e de frações da celulose em glicose (TALEBNIA et al., 2010).

Este trabalho utilizou duas metodologias com o intuito de obter-se uma maior deslignificação e fracionamento da biomassa lignocelulósica. A biomassa do eucalipto VCP (Votorantin Celulose e Papel), foi submetido ao pré-tratamento com ácido peracético, diferenciando-os em tempo e temperatura de tratamento. Com o eucalipto UFT, foi aplicado o pré-tratamento com NaOH a 5% (m/v) e posteriormente foi também tratado com lacase. A hidrólise das biomassas foi realizada com coquetel enzimático Cellic Ctec2®.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os cavacos de eucalipto foram obtidos na indústria Votorantim celulose e papel (VCP - atualmente Suzano) da cidade de Jacareí/SP. E o eucalipto (*Eucalyptus grandis*) pré-tratado a 150° C foi cedido pelo laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais (LabTecFlor) do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Tocantins. Os materiais foram moídos a 20 mesh e guardados em sacos plásticos em temperatura ambiente para a execução do experimento.

## 2.2 Tratamento de *Eucalyptus* VCP com ácido peracético

O ácido peracético foi produzido a partir da mistura de acetato de etila com peróxido de hidrogênio na razão de 1:1 (v/v) na presença de 1% do catalisador ácido sulfúrico. Para o pré-tratamento, 3 g de massa seca da serragem de eucalipto foi acondicionado em Erlenmeyer de 250 ml com adição de 30 ml da solução de ácido peracético (PAA) alcançando uma concentração final de 10% (m/v). O frasco foi fechado com rolha de modo que fosse gerada uma pressão no seu interior.

O pré-tratamento foi conduzido em temperaturas de 60 °C e 90 °C. Das amostras pré-tratadas a 60°C foram retiradas amostras em tempos de 24, 48 e 72h para analisar o tempo de pré-tratamento. No pré-tratamento a 90 °C, a reação foi encerrada com 5 horas na tentativa de otimizar o tempo com o aumento da temperatura.

As amostras pré-tratadas foram filtradas em filtro de cerâmica porosa sinterizada n° 2 à vácuo para separar a fração líquida da biomassa sólida. A biomassa sólida foi lavada exaustivamente com água destilada estéril até pH neutro e retirada do excesso de ácido peracético. As amostras foram então mantidas em temperatura de 60 °C para secagem até peso seco.

## 2.3 Tratamento com hidróxido de sódio

Este tratamento foi realizado com eucalipto doado pelo LabTecFlor que já havia sido tratado termicamente a 150 °C por uma hora. O material moído a 20 mesh (126g) foi acondicionado em Erlenmeyer de 1000 mL com 450 mL de NaOH a 5% (m/v) e autoclavado a 120 °C, 1 atm por 1h. O material foi então neutralizado com ácido clorídrico (1,25 M) e filtrado sob papel de filtro Whatman n°.1 sob vácuo. O resíduo sólido foi lavado com água destilada e levada para estufa a 60 °C para secagem e devidamente identificada.

## 2.4 Tratamento com Lacase

O extrato de Lacase, usado neste trabalho foi cedido pelo Laboratório de Microbiologia e Bioquímica I da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL-USP). Em tubos de ensaio de 50 mL foi acondicionado 0,2g de massa seca de eucalipto pré-tratado com 5% de NaOH com 5 mL da solução tampão acetato de sódio (pH 5; 50 mM) e mantido a 30 °C por três dias. Então, o volume foi completado para 10 mL juntamente com 10 U/mL de lacase e a reação enzimática foi acompanhada por dois dias em banho maria a 30° C. Para comparação dos resultados, foram montados experimentos na presença de ABTS 30mM e o branco sem a presença de lacase e ABTS.

Para analisar a efetividade dos tratamentos, todas as amostras de eucalipto pré-tratadas foram submetidas a hidrólise com enzima comercial Cellic Ctec2 e caracterizadas quimicamente antes e depois de cada tratamento. A equação 1 foi usada para calcular a recuperação da biomassa sólida. A equação 2 foi utilizada para calcular a quantidade em

gramas dos componentes (lignina, glicana e xilana) por 100g de eucalipto.

$$R\% = \frac{PSi}{PSf} \times 100 \quad (1)$$

R%= Rendimento;

PSi= Peso seco inicial;

PSf= Peso seco final;

$$Cg = \frac{CQpt+R\%}{100} \quad (2)$$

Cg= Composição em g por 100 g de eucalipto;

R%= Rendimento;

CQpt= Componente químico do pré-tratado;

## 2.5 Caracterização química da serragem de eucalipto

### 2.5.1 Quantificação de extrativos

Em saquinhos de papel filtro Whatman n°.1 foi adicionado 1,5 g da serragem de eucalipto (VCP) *in natura* (base seca) após secagem a 60 °C para determinar a umidade. Os extrativos das amostras foram determinados depois que as amostras passaram por processo de extração em aparelho Soxhlet com etanol 95% por 6 horas. O teor de extrativos foi então determinado pela pesagem do material após secagem da serragem de eucalipto a 60 °C até peso constante.

### 2.5.2 Análise da composição química

As amostras de eucalipto *in natura* e pré-tratada, foram caracterizadas quimicamente pelo método descrito por Ferraz (2000). A composição química dos materiais foi realizada por análise em triplicata a partir de 330 mg (massa seca) de amostra em tubo de ensaio. Em cada tubo foram adicionados 3 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 72% (m/v) seguido de incubação em banho maria a 30 °C por 1 hora. O material foi transferido para frasco Erlenmeyer de 250 mL adicionando 79 mL de água destilada para se obter uma concentração final de 4% (m/v) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e autoclavado a 121°C, 1 atm por 1 hora.

O material hidrolisado foi resfriado em temperatura ambiente e filtrado em filtro de cerâmica porosa n° 3, para a determinação de lignina insolúvel por gravimetria, e a lignina solúvel por leitura em espectrofotômetro a 205 nm ( $\square = 105 \text{ L.g}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ ) diluindo 10 vezes. Os volumes das soluções filtradas foram completados para 200 ml com água destilada em balão volumétrico. Uma alíquota de cada solução foi filtrada em filtro millipore 40  $\mu\text{m}$  e utilizada para análise das concentrações de açúcares monoméricos gerados glicose, xilose, arabinose e ácido acético. As análises desses compostos foram realizadas em um equipamento HPLC (CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência - WATERS) equipado

com um detector de índice de refração e uma coluna HPX87H (BIORAD) a 35 °C, com fase móvel composta por ácido sulfúrico 5 mM e um fluxo de 0,6 mL.min<sup>-1</sup>. Os açúcares foram expressos como seus respectivos polissacarídeos de acordo com seus fatores de hidrólise: 0,90 para glicana, 0,88 para xilana e arabinosil e 0,72 para acetil. As áreas dos cromatogramas foram convertidas em concentração (g/L) utilizando curvas de calibração previamente construídas com soluções padrão de glicose, xilose, arabinose e ácido acético.

### 2.5.3 Determinação de cinzas

Cadinhos de porcelana foram mantidos em muflas por 3 horas a 575 °C, depois colocados em dessecador para estabilizar a temperatura antes da pesagem. Cerca de 0,4g (massa seca) de eucalipto moído foi adicionado em cada cadinho e levado a mufla tampado. Uma rampa de aquecimento determinada por Sluiter (2008) foi utilizada até atingir 575 °C em 1 hora. Os cadinhos foram destampados e aguardou-se a mufla esfriar para transferir os cadinhos para um dessecador para estabilizar a temperatura e em seguida feita a pesagem das cinzas (SLUITER, 2008).

## 2.6 Hidrólise enzimática dos pré-tratamentos

A hidrólise enzimática foi realizada com extrato comercial de enzimas Cellic Ctec2 (Novozymes) 10 FPU/g (unidades de papel de filtro/grama de biomassa), empregando 3g das diversas polpas pré-tratadas.

As amostras com 3 dias de pré-tratamento com ácido peracético a 60°C e com lacase foram adicionadas cargas fixas de enzimas com 10 FPU/g diluídas em tampão acetato de sódio (50 mM; pH 5). As amostras pré-tratadas com ácido peracético a 90°C foram avaliadas as melhores cargas enzimáticas entre 7,5, 15 e 22,5 FPU/g diluídas no mesmo tampão acetato de sódio.

Os experimentos foram conduzidos em tubos de ensaios de 50 ml, contendo 10 ml de meio reacional, sob agitação de 120 rpm e temperatura de 50°C. Amostras foram retiradas periodicamente em 6, 24, 48 e 72 h e aquecidas em água fervente (100°C) por 5 minutos para interromper a reação. As amostras foram centrifugadas a 5000 x g por 5 minutos e os sobrenadantes foram congelados para análises conforme item 2.6.2.

A equação 3 calcula a efetividade na extração da lignina e xilana das amostras de eucalipto.

$$E = \left( 1 - \frac{CQ_{pt} \cdot R\%}{CQ_{in}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

E= Extração

CQ<sub>pt</sub>= Componente químico do pré-tratado

CQ<sub>in</sub>= Componente químico *in natura*

R%= Rendimento



A hidrólise enzimática da celulose e xilana foi estimada como a relação entre a concentração de glicana obtida após a hidrólise enzimática e a concentração de glicana presente no substrato inicial, de acordo com a equação 4:

$$CE = \left( \frac{(C_g + F_c) \cdot V_r}{M \cdot C\%} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

CE: Conversão enzimática

C<sub>g</sub>: Concentração de glicana ou xilana obtida na hidrólise

F<sub>c</sub>: Fator de conversão de celulose em glicose (0,9) e xilana em xilose (0,88)

V<sub>r</sub>: Volume da reação enzimática

C: Porcentagem de glicana ou xilana nas amostras *in natura*

M: Massa seca das amostras

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição química da serragem de eucalipto *in natura*

A caracterização química de ambas biomassas com relação a porcentagem de lignina, glicana, xilana, acetil, extrativos e cinzas são apresentadas (Tabela 1). As biomassas foram obtidas da indústria Votorantim Celulose e Papel (VCP) e da Universidade Federal do Tocantins (UFT), esta pré-tratada com 5% de NaOH, a qual não foi possível realizar a quantificação de extrativos em consequência de já ter sido um material pré-tratado.

Componente (%)	EU-VCP	EU-UFT
Lignina	30,9 ± 1,0	37,9 ± 0,4
Glicana	41,3 ± 0,7	47,3 ± 0,6
Xilana	13,2 ± 0,4	9,1 ± 0,2
Arabinosil	0,3	0,2
Acetil	3,0 ± 0,1	0,1
Cinzas	0,4 ± 0,2	0,4
Extrativos	2,1 ± 0,1	0
Total	91,2 ± 1,2	95,4 ± 0,4

VCP – Votorantim Celulose e Papel; UFT – Universidade Federal do Tocantins

Tabela 1. Composição química do eucalipto *in natura* doado pela VCP e do eucalipto (UFT) pré-tratado com 5% (m/v) de NaOH.

A porcentagem de lignina da biomassa UFT foi maior que da VCP, apresentando 37,9 e 30,9%, respectivamente. Estes valores são considerados como o total entre lignina solúvel e insolúvel. O inverso foi obtido no conteúdo de xilana e arabinosil, para biomassa VCP de 13,2 e 0,3%, enquanto a biomassa UFT foi menor em quase 5% em xilana e

pouca diferença no teor de arabinosil de 0,1%. Ainda com relação a xilana, que é um heteropolímero, o teor de xilana da biomassa UFT apresentou menor acetilação (0,1%), enquanto a biomassa da VCP maior acetilação foi encontrada (3,0%). A variação na porcentagem dos componentes das biomassas pode estar ligada nas diferentes espécies e linhagens de eucalipto avaliadas (Tabela 1). As porcentagens de lignina, glicana, xilana, grupos acetil e arabinosil se apresentam com clareza bastante diferentes. A quantidade de glicose nas biomassas de diferentes origens, considerada como um polímero infinito e denominada glicana não ficou diferente. A biomassa VCP apresentou 41,3%, enquanto 47,3% foi encontrada na biomassa UFT, diferença que pode estar relacionada ao pré-tratamento com NaOH realizado antes da caracterização.

Os dados encontrados estão em consonância com a caracterização química realizada por Kundu (2021), em que o eucalipto apresentou 40,51% de glicana, 22,12% de xilana, 1,06% de arabinosil e 33,53% de lignina. A baixa acetilação da biomassa UFT pode ter sido ocasionada pela remoção dessa substância durante o processo de pré-tratamento como observado por Shimizu (2018). O autor observou que antes do pré-tratamento alcalino, a biomassa *in natura* tinha 3,42% de acetil e após o tratamento alcalino a 5% (m/v) a fração de acetil diminuiu para 0,86%.

### 3.2 Composição química do pré-tratado com ácido peracético

A temperatura e o tempo foram os fatores que mais influenciaram na deslignificação da biomassa VCP após o pré-tratamento com ácido peracético (PAA). Além disso, notou-se uma diminuição constante da recuperação de sólido com o aumento do tempo de pré-tratamento. Dessa maneira, é possível afirmar que o tempo influencia diretamente no rendimento da remoção de lignina.

A recuperação de sólidos foi calculada pela massa remanescente após filtração da biomassa pré-tratada com PAA. A queda no rendimento está atribuída à remoção de xilana e lignina da biomassa analisada, sendo que a porcentagem de glicana se manteve praticamente constante após os pré-tratamentos (Tabela 2). O cálculo da quantidade dos componentes da biomassa foi realizado considerando o rendimento na recuperação de sólidos, o total de lignina, glicana e xilana presentes no sólido recuperado e suas quantidades *in natura* antes do pré-tratamento. A lignina apresentou uma queda de 10,3% dentro de 72h a 60°C e a xilana de 7,8% dentro deste mesmo pré-tratamento. Em temperatura mais elevada (90 °C), a deslignificação aumentou para 13,4% e a hidrólise da xilana para 9,4% com 5h de pré-tratamento. Isso implica que o aumento da temperatura diminui o tempo de processamento de degradação de lignina e xilana.

Amostras	Rendimento (%)	Composição (%)			Remoção %		
		Lignina	Glicana	Xilana	Lignina	Glicana	Xilana
In natura	100	30,87	41,34	13,22	-	-	-
24h 60 °C PT-PAA	84,8	23,72	41,44	9,01	23,16	-	31,85
48h 60 °C PT-PAA	78,0	22,18	42,16	5,89	28,16	-	55,4
72h 60 °C PT-PAA	75,6	20,61	40,88	5,41	33,25	1,12	59,03
5 h 90 °C PT-PAA	72,6	17,50	42,62	3,78	43,32	-	71,43

PT-PAA – Pré-tratamento com ácido peracético

Tabela 2. Composição de lignina, xilana, glicana (%) e taxa de remoção (%) da biomassa VCP após pré-tratamento com PAA em diferentes condições de temperatura e tempo.

Não foi observado aumento expressivo no conteúdo de glicana em todos os pré-tratamentos, mas na remoção de lignina e xilana foi bastante expressiva. A remoção de lignina e xilana alcançou a porcentagem de 43,32% e 71,43% a 90 °C em 5h de tratamento com PAA, enquanto na temperatura de 60 °C por um período de 72h alcançou 33,25% para lignina e de 59,03% para xilana, observando mais uma vez que em temperatura mais elevada se alcança maiores porcentagens de remoção destes componentes em menor tempo de tratamento.

Aumento na porcentagem de glicana em madeira dura pré-tratada com ácido peracético foi observado por Kundu et al. (2021), o que foi atribuído a perda de lignina e xilana no pré-tratamento. Neste pré-tratamento observou-se uma queda do rendimento de massa das amostras de eucalipto, com o decorrer do tempo e aumento da temperatura, que segundo Kundu et. al. (2021) essa perda de massa pode ser atribuída a remoção de lignina com contribuições do açúcar hemicelulósico. Os fatores observados nesse estudo, não foram diferentes dos fatores encontrados no experimento realizado por Kundu et. al., (2021), do qual tanto para madeira dura (eucalipto) quanto para madeira macia (pinus), houve uma indicação clara de remoção de lignina em função do tempo do pré-tratamento. No experimento realizado por Kundu et. al. (2021) observou-se que o teor de glicana permaneceu o mesmo em até 5h de pré-tratamento, mas cerca de 75% da xilana e 90% da lignina foram removidas da biomassa sólida.

### 3.3 Extração de xilose e glicose de VCP pré-tratada com PAA a 60 °C

A hidrólise enzimática de glicana e xilana das amostras de eucalipto VCP pré-tratadas com ácido peracético em diferentes tempos a 60 °C foi conduzida com o coquetel enzimático comercial Cellic Ctec2 com atividade de 10 FPU/g de eucalipto recuperado por até 72h, 120 rpm a 50 °C (Figuras 1 e 2). Os dados foram obtidos por análise cromatográfica CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) conforme metodologia descrita em 2.6.2.

A remoção de xilana da biomassa de VCP apresentou um aumento com o tempo de pré-tratamento a 60 °C com ácido peracético (Tabela 2). Independente desse aumento,

a hidrólise enzimática não apresentou uma grande variação na quantidade de xilose extraída após 24h de tratamento, sendo que pequeno aumento de monômeros de xilose foi observado no pré-tratamento com ácido peracético por 1 dia dentro de 48h de hidrólise, alcançando 20% de extração (Figura 1).

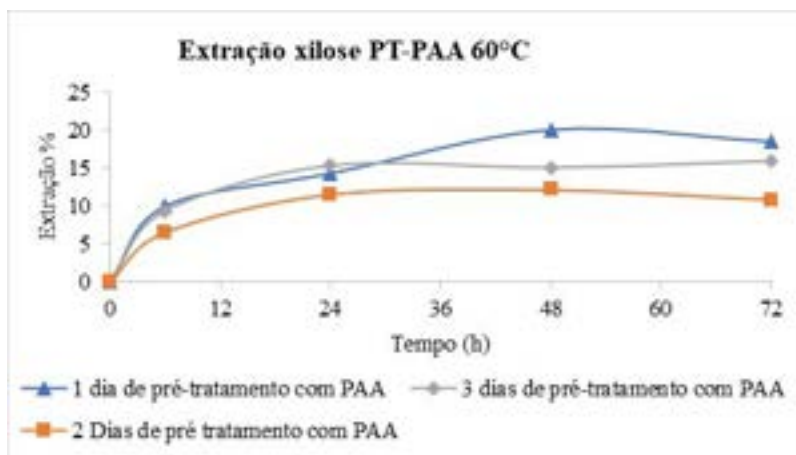


Figura 1. Hidrólise enzimática de xilana após pré-tratamento em diferentes tempos com ácido peracético a 60 °C. Hidrólise com coquetel enzimático Cellic Ctec2 a 50 °C, 120 rpm.

Processo semelhante ocorreu com a extração de glicose, em que foram obtidos 7% deste monômero da biomassa VCP recuperada após pré-tratamento com ácido peracético por 1 dia (Figura 2). O processo de hidrólise com as biomassas pré-tatadas por 2 e 3 dias não apresentou diferença na extração deste monômero em que 4% de glicose foram obtidas.

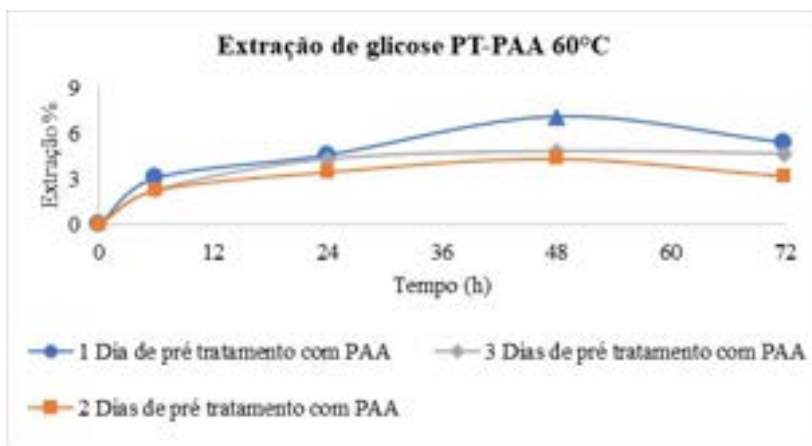


Figura 2. Hidrólise enzimática de xilana após pré-tratamento em diferentes tempos com ácido peracético a 60 °C. Hidrólise com coquetel enzimático Cellic Ctec2 a 50 °C, 120 rpm.

A remoção de constituintes da parede celular como lignina e xilana ocasiona um aumento da porosidade da parede celular aumentando a acessibilidade das enzimas e, com isso, um maior rendimento da sacarificação (SINGH, 2017). A sacarificação das amostras após PT-PAA a 60°C não foi eficiente tanto quanto o que foi observado por Wen et. al. (2021) realizando o mesmo tipo de extração com biomassa de álamo que dentro de 2h recuperaram 90,1% de glicose e 84,9% de xilose nesta hidrólise enzimática.

### 3.4 Extração de xilose e glicose de VCP pré-tratada com PAA a 90 °C

O aumento da temperatura no pré-tratamento da biomassa VCP parece ter contribuído com o processo de hidrólise de xilana e glicana (Figuras 3 e 4). Neste processo de hidrólise foi utilizada várias cargas da enzima comercial Cellic Ctec2 na razão de 7,5, 15 e 22,5 FPU/g para verificar a eficiência de extração de xilose e glicose, uma vez que a remoção de lignina e hemicelulose foi maior em menor tempo de tratamento (Tabela 2).

A cinética enzimática de hidrólise de xilana aumentou com a carga de Cellic Ctec2 alcançando 40% de extração de xilose dentro de 48h usando 22,5 FPU/g de biomassa remanescente após tratamento com PAA a 90 °C por 5h (Figura 3). No mesmo tempo de hidrólise, as cargas de enzimas de 7,5 e 15 FPU/g extraíram xilose abaixo de 30%. Com o aumento do tempo de hidrólise para 72h, nenhum efeito maior de extração foi observado. Os resultados dentro desta condição de pré-tratamento se apresentaram muito mais promissor para o processo de recuperação de xilose e glicose.

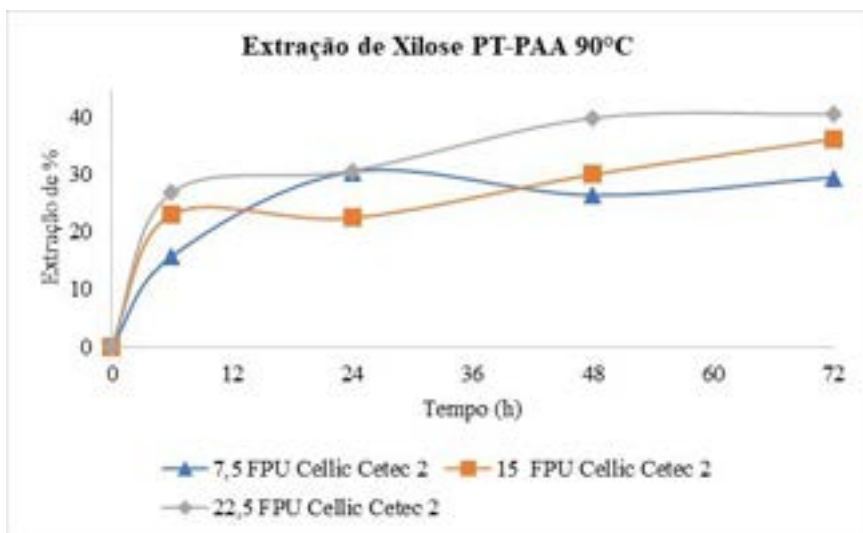


Figura 3. Hidrólise enzimática de xilana com Cellic Ctec2 com diferente FPU (unidades de papel de filtro) após pré-tratamento em diferentes tempos com ácido peracético a 90 °C por 5h. Hidrólise com coquetel enzimático Cellic Ctec2 a 50 °C, 120 rpm.

Não obstante, a extração de glicose após esse tratamento com PAA a 90 °C por 5h foi bem mais expressiva, chegando a 15% em 48h com coquetel enzimático de 22,5 FPU/g de VCP (Figura 4). O dobro de extração foi observado quando comparado com a biomassa VCP pré-tratada a 60 °C por até 3 dias (Figura 2), sendo que a metade do valor de extração de glicose foi obtida.

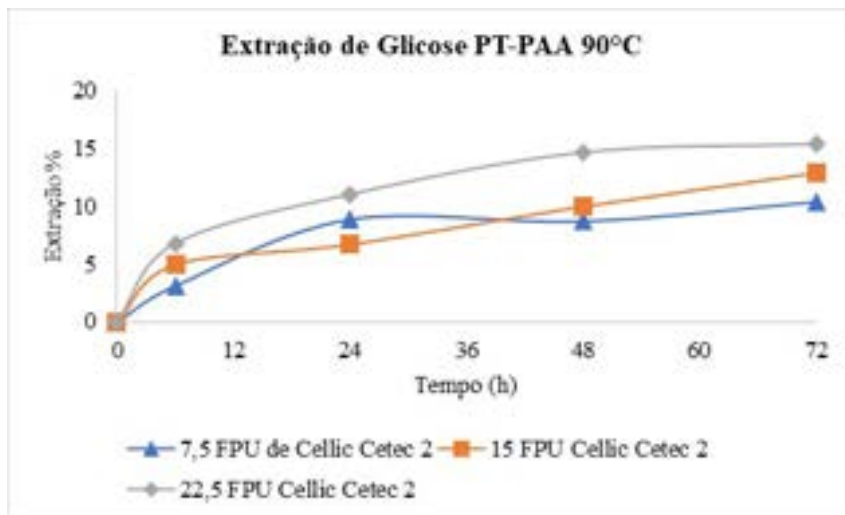


Figura 4. Hidrólise enzimática de glicana com Cellic Ctec2 com diferente FPU (unidades de papel de filtro) após pré-tratamento em diferentes tempos com ácido peracético a 90 °C por 5h. Hidrólise com coquetel enzimático Cellic Ctec2 a 50 °C, 120 rpm.

Cellic Ctec2<sup>®</sup> é uma mistura de enzimas hemicelulolíticas composta por xilanase, endoglicanase, exoglicanases e  $\beta$ -glicosidase que atuam na hidrólise de xilana e celulose (glicana). A dosagem de celulase de 10-30 (FPU/g de biomassa) é bastante usado em pesquisas de extração de açúcares monoméricos, resultando em hidrólise eficiente com rendimento de glicose alto, levando em consideração um tempo razoável de hidrólise de até 72h e o custo da enzima (TALEBNIA et al., 2010). A atuação enzimática é mais efetiva quando a extração da lignina é mais eficiente nos processos de pré-tratamento. O pré-tratamento é primordial para inicialmente remover lignina e hemicelulose da matriz lignocelulósica, diminuindo a cristalinidade da celulose e aumentando a área superficial e porosidade da biomassa. Consequentemente, pode também liberar alguns açúcares fermentescíveis por despolimerização da fração hemicelulósica (ZABED et al., 2017). Sendo assim, o melhor pré-tratamento é aquele que deslignifica o máximo possível procurando manter a fração hemicelulósica praticamente intacta.

Serragem de *E. grandis* foi submetida a hidrólise por uma preparação comercial de celulases de *Trichoderma reesei* após pré-tratamento biológico com vários fungos por Castoldi et al., 2014. A hidrólise foi grandemente aumentada na presença de celulase de

*T.reesei* e que na maioria dos casos a cinética enzimática não cessou em 48h e até mesmo acelerou este tempo. Preparações comerciais de celulases e xilanases diferenciam-se na capacidade de hidrólise de biomassa pré-tratada com soluções ácidas e/ou alcalinas. De fato, Accellerase®1500 foi mais efetivo, duas vezes mais, que Accellerase®XC na extração de glicose e xilose de fibras de frutas de óleo de palma pré-tratada com ácido peracético alcalino a 20 °C com NaOH 4% m/v por 12h (PALAMAE et al., 2017).

### 3.5 Pré-tratamento com NaOH, lacase e hidrólise com Cellic Ctec2

O eucalipto UFT pré-tratado com hidróxido de sódio a 5% (m/v) e autoclavado a 120 °C, 1 atm por 1h foi submetido a outro pré-tratamento com lacase (10 U.mL<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>) a 30 °C por 2 dias antes da adição do coquetel enzimático Cellic Ctec2. Para comparação, o mesmo experimento foi realizado na presença de ABTS (30 mM) e sem a presença de lacase e ABTS foi realizada experimento de hidrólise somente com Cellic Ctec2 como referência (Figuras 5 e 6). Os extratos obtidos da filtração da biomassa UFT tratada com lacase e ABTS foram analisados por método de varredura em diferentes comprimentos de onda no UV/Vis e apresentaram um pico em 215 nm em igual intensidade de absorbância. Lacases são enzimas oxidativas e degradam lignina e compostos fenólicos sem ou com a presença do mediador ABTS. De qualquer forma, os espectros após os tratamentos com lacase e lacase com ABTS foram muito semelhantes com relação a absorbância.

Dentro destes tratamentos, as hidrólises de xilana apresentou uma extração de xilose mais efetiva quando a biomassa UFT foi submetida a deslignificação com lacase na presença de ABTS. Após esse tratamento, o uso do coquetel enzimático de celulases favoreceu maior extração de xilose, alcançando 37,1% em comparação aos experimentos somente com lacase (30,6%) e somente com Cellic Ctec2 (20,9%). Cineticamente, o tempo de 72h de hidrólise foi o de maior rendimento (Figura 5).

A hidrólise de celulose em monômeros de glicose foi muito semelhante em todos os tratamentos (Figura 6). O tratamento com lacase na presença de ABTS apresentou uma extração de 10%, enquanto 9% foi alcançado somente com lacase. A extração de glicose com Cellic Ctec2 sem o pré-tratamento com lacase e/ou ABTS chegou em 6%. Analisando os resultados anteriores, da biomassa VCP pré-tratada com ácido peracético a 90 °C, a extração de glicose superou em mais de duas vezes os tratamentos da biomassa UFT com NaOH 5% (figura 4).

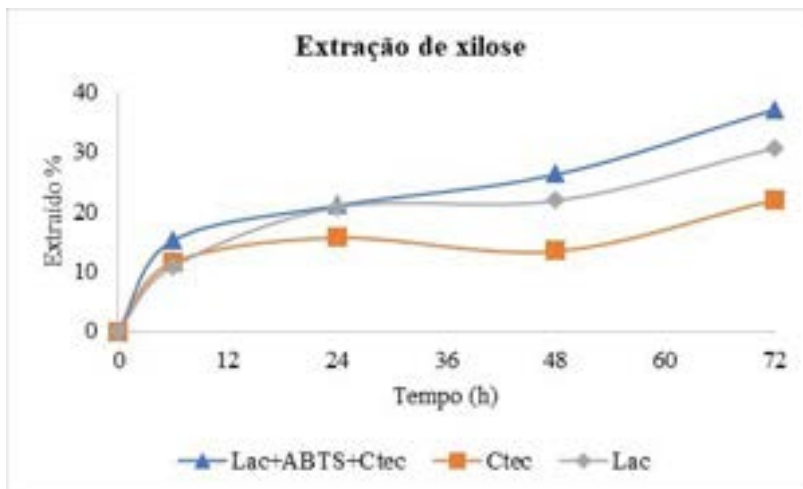


Figura 5. Extração de xilose da biomassa UFT pré-tratada com NaOH 5% (m/v)

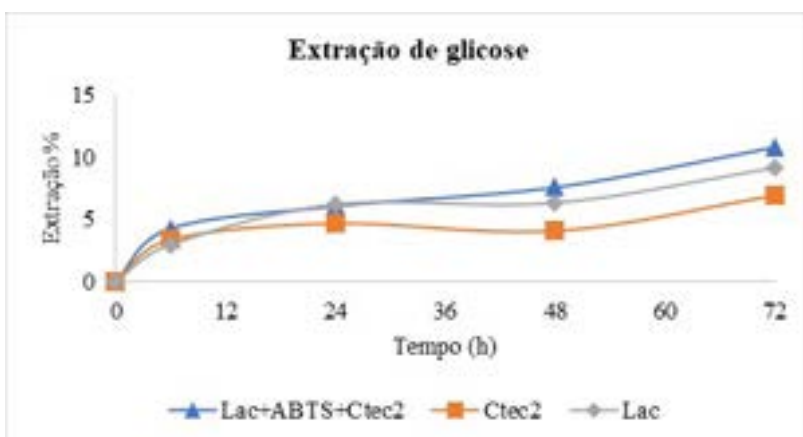


Figura 6. Extração de glicose da biomassa UFT pré-tratada com NaOH 5% (m/v)

Muitos pré-tratamentos de matérias-primas lignocelulósicas são baseadas em processos alcalinos. A utilização de soluções diluídas de hidróxido de potássio, cálcio e amônio são agentes alcalinos disponíveis para o pré-tratamento de biomassa lignocelulósica, mas o hidróxido de sódio é o mais estudado. O pré-tratamento alcalino pode grandemente melhorar a digestibilidade de celulose e a degradação de açúcares é menor que no tratamento ácido (TALEBNIA et al., 2010).

## 4 | CONCLUSÃO

Os pré-tratamentos apresentaram diferenças em procedimentos com soluções alcalinas e ácidas. O ácido peracético designificou a biomassa lignocelulósica VCP grandemente com o aumento da temperatura com consequente diminuição de tempo de



exposição ao ácido. A remoção de lignina foi maior dentro destas condições, mas diminuiu o rendimento da recuperação da biomassa após o pré-tratamento ácido.

A hidrólise da biomassa com Cellic Ctec2, após o pré-tratamento ácido em temperatura mais elevada e menor tempo, foi a que promoveu maior extração de glicose e xilose. Dentro destes monômeros de açúcares, a xilose foi hidrolisada em parte com o pré-tratamento ácido, mas a glicose permaneceu a mesma em composição antes da hidrólise enzimática.

A hidrólise enzimática da biomassa UFT; eucalipto pré-tratado por autoclavagem a 121 °C por 1h na presença de hidróxido de sódio; não apresentou o mesmo resultado do pré-tratamento ácido em pouco tempo de cinética, somente alcançando os resultados cinéticos enzimáticos em longo tempo.

## REFERÊNCIAS

BAO, W. **Oxidative degradation of nonphenolic lignina during lipid-peroxidation by fugal mandanese peroxidase.** FEBERS Letters, v.354, p. 297-300, 1994.

BRASILEIRO, L. B.; COLODETTE, J. L.; PILÓ-VELOSO, D. **A utilização de perácidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas.** Química Nova, p. 819-829, 2001.

BRIENZO, M. **Extração da hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de xiloligosacarídeos.** Tese (mestrado), Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2010.

CASTOLDI, R. et al. **Biological pretreatment of *Eucalyptus grandis* sawdust with White-rot fungi: Study of degradation patterns and saccharification Kinetics.** Chemical engineering Journal, v. 258, p. 240-246, 2014.

FARIA, R. A. **Estudo da produção de enzimas ligninolíticas por *Ceriporiopsis subvermispora*.** Dissertação (mestrado em ciências: microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. P.28-37, 2011.

FERRAZ, A.; BAEZA, J.; RODRIGUEZ, J.; FREER, J. **Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis.** Bioresource Technology, Lorena, SP, p. 201-212, 2000.

HAMELINCK CN, HOOIJDONK GV, FAAIJ AP. **Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short- middle- and long-term.** Biomass and Bioenergy. v.28 (4), p. 384-410, 2005.

JEFFRIES, T. W. **Biodegradation of lignin-carbohydrate complexes.** Biodegradation, v.1, p.163-76, 1990.

KUNDU, C. et al. **One-step peracetic acid pretreatment of hardwood and softwood biomass for platform chemicals production.** Scientific Reports. 11183, 2021.

MACÊDO, LUCÉLIA ALVES. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação.** Universidade de Brasília, Brasília/DF, dez. 2012

PALAMAE, S. et al. **Cellulose and hemicelulose recovery from oil palm empty fruit bunch (EFB) fibers and production of sugars from the fibers.** Carbohydrate Polymers, v.155, p.491-497, 2017.

SHIMIDZO, F. L. **Remoção de lignina e hemicelulose: influência na acessibilidade à celulose e sacarificação enzimática.** Dissertação (mestrado) -Universidade Estadual Paulista- UNESP, Rio Claro, 2018.

SILVEIRA, M.H.L.; VANELLI, B.A.; CHANDEL, A.K. **Second Generation Ethanol Production: Potential Biomass Feedstock , Biomass Deconstruction , and Chemical Platforms for Process Valorization.** In: Advances in Sugarcane Biorefinery. Elsevier Inc., p. 135–152, 2018.

SINGH, R. et al. **Enhanced delignification of steam pretreated poplar by a bacterial laccase.** Scientific reports, 7 fev. 2017.

SLUITER, A. et al. **Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass.** in: Laboratory Analytical Procedure (LAP). National Renewable Energy Laboratory, 2008.

TALEBNIA, F.; KARAKASHEV, D.; ANGELIDAKI, I. **Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation.** Bioresource Technology, v. 101, p. 4744-4753, 2010.

WEN, P.; ZHANG, Y.; ZHU, J. et al. **A pós-incubação alcalina melhora a sacarificação do álamo após o pré-tratamento ácido hidrogênio-acético.** Biotecnologia de Biocombustíveis, v. 14, p. 151, 2021.

YSAMBERTT, F. et al. **Propiedades tensoactivas de la lignina extraída del “licor negro” modificada por reacciones asistidas por microondas.** Revista Cubana de Química, Santiago de Cuba, Cuba, p. 65-75, 2009.

ZABED, H. et al. **Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 71, p. 475-501, 2017.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetato de celulose (CA) 88

Ácido cítrico 47, 48, 49, 50, 51, 52

Ácido peracético (PAA) 53, 55, 56, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

Açúcares 49, 53, 57, 58, 64, 66, 67

Agentes porogênicos 97

Álcool polivinílico (PVA) 1, 6, 17

Aquecimento 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 58, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81

*Aspergillus awamori* 47, 48, 49, 52

Autoclave 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46

### B

Biomassa 50, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87

Biorreator 49, 50

### C

Carbón 99, 100, 101, 102, 103

Células fúngicas 50

Centrifugação 86, 87, 89, 96

*Chiller* 69, 70, 72, 73, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Cinzas 58, 59

Combustível fóssil 69, 70, 71, 72, 83, 84

Condensador 70, 72, 73, 74, 75, 80, 82, 83

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 57, 61

### D

Desaeração 34, 37

Deslignificação 53, 55, 60, 65, 67

### E

Ecossistemas 87

Efeito estufa 69, 70

Eficiência energética 69, 70

*Electrospinning* 1, 2, 6, 17, 18, 19, 22, 28, 30, 31, 32

Energia elétrica 69, 71, 77, 78, 80, 81

Energia térmica 81

Enzimas 3, 52, 53, 54, 55, 58, 63, 64, 65, 67, 87

Escala de bancada 86, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Esterilização 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 46

Etapa de exaustão 36

*Eucalyptus* 53, 54, 55, 56, 67

## F

Filtração 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 17, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 30, 60, 65, 87, 88, 89, 90, 94, 97

Floculação-sedimentação 86, 87, 89, 96

Fungos 2, 49, 55, 64

## G

Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) 69, 71, 77

Glicana 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64

Glicose 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

Gravimetria 57

## H

Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) 1

Hemicelulose 53, 54, 55, 63, 64, 67, 68

Hidrólise 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67

High Efficiency Particulate Arrestance (HEPA) 2

## I

Indústria de alimentos 33, 35

## L

Lacase 53, 55, 56, 58, 65

Lignina 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 68

Lignocelulósicos 53, 54, 55

## M

Madeira 53, 61

Manômetro 37, 90

Mecanismo de *fouling* 88

Meio ambiente 69, 70, 72  
Membrana 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97  
Microalgas 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 97  
Microfiltração 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98  
Microrganismo 34, 49, 51  
Minimum Efficiency Reporting Values (MERV) 1, 2, 3, 5  
Modelo matemático 34, 39, 40, 45, 46  
Monômero 62

## **N**

Nanofibras 1, 3, 6, 9, 13, 17, 18, 19, 22, 23  
Nanopartículas 1, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 24

## **O**

Organização Mundial de Saúde (OMS) 1, 3, 9

## **P**

Pirolisis 99, 100, 101, 102, 103  
Polímero 6, 18, 19, 23, 24, 60  
Processamento térmico 34, 35, 39, 46  
Processos industriais 33  
Produto alimentício 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45

## **R**

Reaproveitamento 53  
Rejeito térmico 70, 72  
Remoción 99, 100, 101, 102  
Resfriamento 33, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 81, 83

## **S**

Separação gás-sólido 18  
Serragem 56, 57, 59, 64  
Solvente 18, 19, 22  
Substrato 47, 49, 50, 51, 52, 53, 59

## **T**

Temperatura 3, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 66, 67, 69, 73, 74, 75, 76, 80, 88

Termômetro 37, 38

## **V**

Volatile Organic Compounds (VOCs) 2

## **X**

Xilana 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Xilose 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 66, 67

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2