

EMMANUEL ZULLO GODINHO

**A LÓGICA *FUZZY* APLICADA AO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum*)**

Botucatu

2021

EMMANUEL ZULLO GODINHO

**A LÓGICA *FUZZY* APLICADA AO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum*)**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Lima Caneppele

Coorientador: Prof. Dr. Salah Din Mahmud Hasan

Botucatu

2021

G5851	<p>Godinho, Emmanuel Zullo</p> <p>A lógica fuzzy aplicada ao pré-tratamento do capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) / Emmanuel Zullo Godinho. -- Botucatu, 2021</p> <p>107 p. : il., tabs., fotos</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Fernando de Lima Caneppele</p> <p>Coorientador: Salah Din Mahmud Hasan</p> <p>1. Capim-elefante. 2. Lógica fuzzy. 3. Revisão Bibliográfica Sistemática. 4. Planejamento experimental fatorial. 5. Pré-tratamento alcalino. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu








CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: A LÓGICA FUZZY APLICADA AO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum*)

AUTOR: EMMANUEL ZULLO GODINHO

ORIENTADOR: FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

- P/ Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPPELE (Participação Virtual)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP 
- P/ Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP 
- P/ Prof. Dr. JAIR ANTÔNIO CRUZ SIQUEIRA (Participação Virtual)
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / Universidade Estadual do Oeste do Paraná 
- P/ Prof.ª Dr.ª GLAUCIA APARECIDA PRATES (Participação Virtual)
Curso de Engenharia Industrial Madeireira / UNESP - Campus Experimental de Itapeva 
- P/ Prof. Dr. LUIS FERNANDO SOARES ZUIN (Participação Virtual)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos 

Botucatu, 16 de dezembro de 2021

*A minha amada família,
Celso, Tereza Diva, Alexandre, Anna Luiza,
Gabriel e Máisa*

dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois com ele mantive minha fé e perseverança.

À minha família, em especial, meu pai Celso Francisco Godinho Junior, minha mãe Tereza Diva Zullo Godinho, minha querida e amada esposa Máisa Liene dos Santos e meu filho amado Gabriel Mees Godinho por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões. Aos meus irmãos Alessandre Zullo Godinho e Anna Luiza Zullo Godinho pelo companheirismo no dia a dia.

Ao Professor Dr. Fernando de Lima Caneppele, pela orientação e dedicação durante todo esse período e pelos ensinamentos durante a realização da pesquisa.

Ao meu tio Prof. Dr. José Roberto Saglietti, pela orientação e encaminhamento geral dos meus estudos no Doutorado.

Ao colega de doutorado Valter de Souza, que desprendeu tempo em me auxiliar na elaboração e desenvolvimento da minha tese.

A todos os colegas do corpo discente do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura.

Ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura.

“É um velho preceito meu que é de capital importância para um jovem autor publicar (se for com o nome dele) apenas o que for muito bom e novo; de forma que o público creia nele e leia o que ele escreve”.

MOORE, J.; DESMOND, A. **Darwin**: a vida de um evolucionista atormentado. Tradução de Cynthia Azevedo. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: Geração Editorial, 2001. p. 616.

RESUMO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) apresenta diversas funcionalidades para o agronegócio, sendo utilizado como fonte de alimentos, produção de energia elétrica via queima do bagaço em termoelétricas e produção de bioetanol. Contudo, o agronegócio sente uma preocupação para o uso dessa biomassa como fonte de combustível renovável por possuir um alto custo no processo de pré-tratamento. Por isso, com a utilização de estatísticas apuradas principalmente com o planejamento experimental fatorial, pode-se obter melhores resultados no processo produtivo e, além da aplicação de modelos matemáticos como a lógica nebulosa ou *fuzzy* que otimiza o processo, trazendo resultados mais próximos dos reais, principalmente buscando redução nos custos de produção e consequentemente o aumento na rentabilidade final. Este trabalho foi dividido em 3 partes em forma de capítulos. Foi realizado no capítulo 1 uma Revisão Bibliográfica Sistemática buscando publicações acadêmicas científicas sobre a aplicabilidade da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino de NaOH no capim-elefante. No capítulo 2, Delineamento Inteiramente Casualizado, no esquema fatorial 5x5 (5 níveis de temperatura e 5 níveis de concentrações sobre os teores de lignina e celulose) em quadruplicata, onde a montagem de um experimento como este demandaria um grande volume de análises. Por fim, no capítulo 3, após a aplicação dos dados reais de laboratório, foi realizado uma otimização do processo de pré-tratamento com NaOH utilizando a lógica *fuzzy*. Os resultados apresentados foram: capítulo 1, nos 86 artigos consultados e analisados não apresentou nenhum artigo sobre o uso da lógica *fuzzy* na otimização do processo de pré-tratamento do capim-elefante com NaOH, no capítulo 2, foi obtido os melhores resultados de concentração e temperatura para a maior exposição da celulose e redução da lignina na célula, já no capítulo 3, utilizando os dados reais de laboratório e, aplicando as regras *fuzzy* desenvolvidas para este modelo, resultou dados que otimizam o processo produtivo. Para a celulose, os melhores pontos na concentração de NaOH estão entre 1,15 a 2,15% com temperaturas entre 100 a 102,5°C, para a redução da lignina os melhores pontos de concentração de NaOH estão entre 0,5 a 1,15% e para temperaturas entre 85,0 a 91,5 °C.

Palavras-chave: *Pennisetum purpureum*; pré-tratamento de NaOH; celulose; lignina; lógica nebulosa.

ABSTRACT

Elephant grass (*Pennisetum purpureum*) has several features for agribusiness, being used as a food source, production of electricity through the burning of bagasse in thermoelectric plants and production of bioethanol. However, agribusiness is concerned about the use of this biomass as a source of renewable Fuel because it has a high cost in the pre-treatment process. Therefore, with the use of statistics, mainly with factorial experimental planning, better results can be obtained in the production process and, in addition to the application of mathematical models such as *fuzzy* or *fuzzy* logic, which optimizes the process, bringing results closer to real ones, mainly seeking to reduce production costs and consequently increase final profitability. This work was divided into 3 parts in the form of chapters. In chapter 1, a Systemic Bibliographic Review was carried out seeking scientific academic publications on the applicability of *fuzzy* logic in the alkaline pre-treatment of NaOH in elephant grass. In chapter 2, Fully Randomized Design, in a 5x5 factorial scheme (5 levels of temperature and 5 levels of concentrations over the lignin and cellulose contents) in quadruplicate, where the setup of an experiment like this would demand a large volume of analysis. Finally, in chapter 3, after applying the real laboratory data, an optimization of the NaOH pretreatment process was performed using *fuzzy* logic. The results presented were: chapter 1, in the 86 articles consulted and analyzed, there was no article on the use of *fuzzy* logic in the optimization of the pre-treatment process of elephant grass with NaOH, in chapter 2, the best concentration results were obtained and temperature for greater exposure of cellulose and reduction of lignin in the cell, already in chapter 3, using real laboratory data and, applying the *fuzzy* rules developed for this model, resulted in data that optimize the production process. For cellulose, the best NaOH concentration points are between 1.15 to 2.15% with temperatures between 100 to 102.5°C, for lignin reduction the best NaOH concentration points are between 0.5 to 1.15% and for temperatures between 85.0 to 91.5 °C.

Keywords: *Pennisetum purpureum*; pretreatment NaOH; cellulose; lignin; *fuzzy* Logic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – Lógica *fuzzy* aplicada ao pré-tratamento do capim-elefante: uma Revisão Bibliográfica Sistemática

Figura 1 - Publicações por ano das bases científicas (<i>ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Scielo e SpringerLink</i>)	34
Figura 2 - Publicações por ano relacionado ao tema	43
Figura 3 - Nuvem de palavras	44
Figura 4 - Número de documentos por palavra-chave	45

Capítulo 2 – Pré-tratamento alcalino com NaOH no capim-elefante *Pennisetum purpureum*

Figura 1 - Fluxograma das metodologias experimentais para a caracterização química a partir de pré-tratamento de NaOH do capim-elefante	60
Figura 2 - Fracionamento dos constituintes da biomassa após pré-tratamento	62
Figura 3 - Fluxograma da metodologia de análise da celulose (%)	64
Figura 4 - Fluxograma da metodologia de análise da lignina (%)	65
Figura 5 - Fluxograma da metodologia do pré-tratamento com NaOH na biomassa ...	66
Figura 6 - Fracionamento dos constituintes da biomassa após pré-tratamento	67
Figura 7 - Superfície de resposta da celulose para diferentes níveis de temperatura (T) e da concentração de NaOH (C) obtidas pelo DIC fatorial (5 x 5)	72
Figura 8 - Superfície de resposta da lignina para diferentes níveis de temperatura, em (°C) e da concentração de NaOH (%) obtidas pelo DIC fatorial (5 x 5)	73

Capítulo 3 – Otimização do pré-tratamento de capim-elefante com o uso da lógica *fuzzy*

Figura 1 - Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> para determinação da celulose, em porcentagem.....	79
Figura 2 - Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> para determinação da lignina, em porcentagem	80
Figura 3 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> da variável de entrada – Concentração de NaOH	81

Figura 4 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> da variável de entrada – Temperatura	82
Figura 5 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> da variável de saída - Celulose (%)	83
Figura 6 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> da variável de saída - Lignina (%)	84
Figura 7 - Resposta otimizada pelo conjunto <i>fuzzy</i> na celulose em 3D	87
Figura 8 - Mapa de contorno da celulose da superfície difusa	87
Figura 9 - Método de inferência de Mandani para a concentração entre 0,0 a 2,75% e a temperatura entre 70,0 a 130,0°C, com a taxa de celulose = 55,0%	89
Figura 10 - Indicação de maior grau de adesão para o conjunto <i>fuzzy</i> no ponto “Alto” para a celulose = 55,0%	89
Figura 11 - Resposta otimizada pelo conjunto <i>fuzzy</i> na lignina em 3D	90
Figura 12 - Mapa de contorno da lignina da superfície difusa	90
Figura 13 - Método de inferência de Mandani para a concentração de 1,38% e uma temperatura entre 100,0°C, com a taxa de lignina = 10,0%	92
Figura 14 - Indicação de maior grau de adesão para o conjunto <i>fuzzy</i> para o melhor para a lignina = 10,0%	92

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Lógica *fuzzy* aplicada ao pré-tratamento do capim-elefante: uma Revisão Bibliográfica Sistemática

Tabela 1 - Testes para definição dos Strings de busca unidimensional.....31

Capítulo 2 – Pré-tratamento alcalino com NaOH no capim-elefante *Pennisetum purpureum*

Tabela 1 - Concentração e volume de NaOH aplicados nas amostras com o capim-elefante.....65

Tabela 2 - Valores codificados e reais das variáveis independentes em um DIC fatorial (5x5)67

Tabela 3 - Caracterização do capim-elefante cru ou *in natura*68

Tabela 4 - Resumo da interação Fator A x Fator B para caracterização da celulose (%)69

Tabela 5 - Resumo da interação Fator A x Fator B para caracterização da lignina (%)69

Tabela 6 - Composição estrutural do capim-elefante70

Tabela 7 - Caracterização do capim-elefante *in natura* e pré-tratado com NaOH a 1,0; 2,0 e 3,0%71

Tabela 8 - Análise de variância para efeitos principais e interações celulose (%)71

Tabela 9 - Análise de variância para efeitos principais e interações lignina (%)71

Capítulo 3 – Otimização do pré-tratamento de capim-elefante com o uso da lógica *fuzzy*

Tabela 1 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada - Concentração de NaOH80

Tabela 2 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada – Temperatura.....81

Tabela 3 - Definição das funções de pertinência da variável de saída - Celulose (%)82

Tabela 4 - Definição das funções de pertinência da variável de saída - Lignina (%)83

Tabela 5 - Combinações das variáveis de entrada gerando pontos nas variáveis de saída dos conjuntos *fuzzy* para a geração da Base de Regras84

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	21
	CAPÍTULO 1 – LÓGICA FUZZY APLICADA AO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA.....	22
1.1	INTRODUÇÃO.....	23
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
1.2.1	ENTRADA.....	27
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
1.3.1	PROCESSAMENTO.....	30
1.3.2	SAÍDA.....	30
1.4	CONCLUSÕES.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	CAPÍTULO 2 - PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO COM NAOH NO CAPIM-ELEFANTE <i>Pennisetum purpureum</i>.....	53
2.1	INTRODUÇÃO.....	54
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
2.2.1	CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO REALIZADO.....	57
2.2.1.1	CAPIM-ELEFANTE (BIOMASSA).....	57
2.2.2	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	58
2.2.2.1	QUANTIFICAÇÃO DO CAPIM-ELEFANTE.....	58
2.2.2.2	DETERMINAÇÃO DA CELULOSE.....	59
2.2.2.3	DETERMINAÇÃO DA LIGNINA.....	60
2.2.3	DETERMINAÇÃO QUÍMICA DO CAPIM-ELEFANTE CRU OU <i>IN NATURA</i>	61
2.2.4	DETERMINAÇÃO QUÍMICA DO CAPIM-ELEFANTE COM O PRÉ-TRATAMENTO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH).....	61
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
2.3.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA CRU OU <i>IN NATURA</i>	63
2.3.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA COM O PRÉ-TRATAMENTO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH).....	64
2.4	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	CAPÍTULO 3 - OTIMIZAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO DE CAPIM-ELEFANTE COM O USO DA LÓGICA FUZZY.....	73
3.1	INTRODUÇÃO.....	74
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	75
3.2.1	MODELAGEM FUZZY.....	75
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
3.3.1	OTIMIZAÇÃO DA CELULOSE.....	81
3.3.2	OTIMIZAÇÃO DA LIGNINA.....	86
3.4	CONCLUSÃO.....	88
	REFERÊNCIAS.....	91
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
	REFERÊNCIAS.....	97

INTRODUÇÃO GERAL

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) apresenta diversas funcionalidades para o agronegócio, sendo utilizado como fonte de alimentos, produção de energia elétrica via queima do bagaço em termoelétricas e produção de bioetanol. Contudo, o agronegócio sente uma preocupação para o uso dessa biomassa como fonte de combustível renovável por possuir um alto custo no processo de pré-tratamento. Por isso, com a utilização de estatísticas apuradas principalmente com o planejamento experimental fatorial, pode-se obter melhores resultados no processo produtivo e, além da aplicação de modelos matemáticos como a lógica nebulosa ou *fuzzy* que otimiza o processo, trazendo resultados mais próximos dos reais, principalmente buscando redução nos custos de produção e conseqüentemente o aumento na rentabilidade final. Este trabalho foi dividido em 3 partes em forma de capítulos. Foi realizado no capítulo 1 uma Revisão Bibliográfica Sistêmica buscando publicações acadêmicas científicas sobre a aplicabilidade da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino de NaOH no capim-elefante. No capítulo 2, Delineamento Inteiramente Casualizado, no esquema fatorial 5x5 (5 níveis de temperatura e 5 níveis de concentrações sobre os teores de lignina e celulose) em quadruplicata, onde a montagem de um experimento como este demandaria um grande volume de análises. Por fim, no capítulo 3, após a aplicação dos dados reais de laboratório, foi realizada uma otimização do processo de pré-tratamento com NaOH utilizando a lógica *fuzzy*. Os resultados apresentados foram: capítulo 1, nos 86 artigos consultados e analisados não apresentou nenhum artigo sobre o uso da lógica *fuzzy* na otimização do processo de pré-tratamento do capim-elefante com NaOH, no capítulo 2, foi obtido os melhores resultados de concentração e temperatura para a maior exposição da celulose e redução da lignina na célula, já no capítulo 3, utilizando os dados reais de laboratório e, aplicando as regras *fuzzy* desenvolvidas para este modelo, resultou dados que otimizam o processo produtivo. Para a celulose, os melhores pontos na concentração de NaOH estão entre 1,15 a 2,15% com temperaturas entre 100 a 102,5°C, para a redução da lignina os melhores pontos de concentração de NaOH estão entre 0,5 a 1,15% e para temperaturas entre 85,0 a 91,5°C.

CAPÍTULO 1

LÓGICA FUZZY APLICADA AO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA¹

Resumo: A economia global é diretamente dependente dos combustíveis fósseis, consumindo um total de aproximadamente 70% destas fontes de energia. Contudo, as energias renováveis, principalmente os biocombustíveis produzidos pela biomassa estão ganhando espaço, com destaque para o capim-elefante, que vem se destacando na produção de bioetanol no Brasil. No entanto, antes de ocorrer a fermentação para a produção do bioetanol, a biomassa deverá passar por um processo chamado de pré-tratamento. Por isso, quando se analisa os processos químicos, a otimização nas variáveis para o pré-tratamento é fundamental, assim surge a necessidade de aplicar um sistema de modelagem matemática como a lógica nebulosa o *fuzzy*. Diante desse contexto, o objetivo desse artigo é identificar como está configurado o estado do conhecimento sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino no capim-elefante. Com a realização da pesquisa utilizando a Revisão Bibliográfica Sistêmica (RBS), foi possível identificar diversas oportunidades aplicação da lógica *fuzzy* nos pré-tratamentos alcalinos no capim-elefante. Dos 86 documentos analisados nesta pesquisa, 100% foram de artigos de pesquisa e de revisão bibliográfica, o que demonstra uma relevância na academia ao uso do capim-elefante na produção bioetanol e, da mesma forma, que as pesquisas sobre a aplicação de pré-tratamento nas biomassas vêm se destacando nos últimos anos, sendo cada vez mais estudada nas academias. Apesar de não apresentar nenhum artigo com referência específica da utilização da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino do capim-elefante, isso abre um grande leque para novas pesquisas utilizando a lógica nebulosa.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Lógica difusa. *Pennisetum purpureum*. NaOH.

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Research, Society and Development**

Fuzzy logic applied to elephant grass pretreatment: a systematic bibliographic review

Abstract: The global economy is directly dependent on fossil Fuels, consuming a total of approximately 70% of these energy sources. However, renewable energies, especially bioFuels produced by biomass, are gaining ground, with emphasis on elephant grass, which has been standing out in the production of bioethanol in Brazil. However, before fermentation takes place for the production of bioethanol, the biomass must undergo a process called pre-treatment. Therefore, when analyzing the chemical processes, the optimization of the variables for the pre-treatment is essential, thus the need to apply a mathematical modeling system such as *fuzzy* or *fuzzy* logic arises. Given this context, the objective of this article is to identify how the state of knowledge about the application of *fuzzy* logic in the alkaline pre-treatment of elephant grass is configured. By conducting the research using the Systemic Literature Review (RBS), it was possible to identify several opportunities for the application of *fuzzy* logic in alkaline pre-treatments in elephant grass. Of the 86 documents analyzed in this research, 100% were from research and bibliographic review articles, which demonstrates the relevance in academia of the use of elephant grass in the production of bioethanol and, in the same way, research on the application of pre- Biomass treatment has gained importance in recent years, being increasingly studied and developed by researchers in the area. Although it does not present any article with specific reference to the use of *fuzzy* logic in the alkaline pre-treatment of elephant grass, this opens up a wide range for further research using *fuzzy* logic.

Keywords: Sustainability. *Fuzzy* logic. *Pennisetum purpureum*. NaOH.

1.1 Introdução

A economia global é diretamente dependente dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), consumindo um total de aproximadamente 70% destas fontes para o uso de energia (AHMAD *et al.*, 2018). Uma das matérias-primas utilizadas é o petróleo, que é o precursor de diversos produtos, além da produção de combustíveis (SAIDUR *et al.*, 2011). Por ser um recurso considerado não renovável, ou seja, produzido em um longo tempo (acima de 100 anos), pode vir a ser escasso nos próximos anos (GUNASEELAN, 1997).

Segundo o *National Oceanic and Atmospheric Administration* que publicou seu relatório anual em 2019 sobre o uso de combustíveis fósseis e, apresentou resultados que mostram que gases considerados prejudiciais a camada de ozônio (GODINHO *et al.*, 2019). Menegol *et al.* (2014) relatam que a emissão de gases considerados prejudiciais ao meio ambiente estão acima de 400 ppm, comparando com a revolução industrial estes valores estavam entre 180 a 280 ppm. Uma solução para que estes valores sejam reduzidos é o aumento no uso de fontes renováveis. Por isso, existe a

necessidade de pesquisar sobre novas fontes energéticas, principalmente renováveis, e uma opção viável são os biocombustíveis (GUTIERREZ *et al.*, 2016).

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil, órgão responsável pela publicação do Balanço Energético Nacional (BEN), em 2019, apresentou dados de produção energética a partir de biomassa entre 17% do total da matriz energética geral nacional, sendo considerada a segunda principal fonte de energia, tendo como principal o petróleo e seus derivados (MME, 2020).

Uma fonte importante para a produção de energia limpa é a biomassa, por possuir uma grande oferta dentro das cadeias produtivas (ADITYA *et al.*, 2016). Nesta linha, muitas são as biomassas que podem ser utilizadas como o bagaço da cana-de-açúcar, as palhas e as cascas dos principais grãos e principalmente o capim-elefante, dentre outros (BENSAH *et al.*, 2015). Esses resíduos são formados por 40 a 50% de celulose, sendo o principal componente para a produção do etanol segunda geração (SINGH; DHEPE, 2016).

Dentro das matérias-primas citadas anteriormente, o capim-elefante tem se destacado, pois além de suas características de uso alimentar animal, possui grande massa de folhas e, sua facilidade desde o plantio a colheita (ROCHA *et al.*, 2017a).

Segundo Fontoura *et al.* (2015), o capim-elefante tem como nome científico *Pennisetum purpureum* pertencente à família da Gramínea. É uma espécie de clima tropical que apresenta metabolismo do tipo C₄ e possui uma característica de produtividade aproximada de 45 toneladas de massa seca por hectare ao ano, enquanto a cana-de-açúcar e o milho produz aproximadamente 21 ton ha⁻¹ entre açúcar e bagaço e 13 ton ha⁻¹ (grãos e fogueões), respectivamente (PAULA *et al.*, 2020).

Rocha *et al.* (2017b) realça que o capim-elefante é considerado uma gramínea com alta eficiência no âmbito de volume de biomassa vegetal, em relação as plantas de mesmas espécies, tendo um rendimento de até 84% maior que a cana-de-açúcar e 37% superior que o eucalipto.

Diversas são as aplicações energéticas do capim-elefante, com grande destaque para a produção de bioetanol, além da combustão direta, da gaseificação, do carvoejamento (processo de conversão termoquímica sem presença de oxigênio) (ROCHA *et al.*, 2017a; BLOIS *et al.*, 2017).

Para que possa ser produzido o bioetanol, a biomassa passa por alguns processos na indústria como a lavagem, pré-tratamento e fermentação com leveduras, entretanto o processo de maior importância é o pré-tratamento, pois possui diversas

finalidades, dentre elas: a remoção da lignina e conseqüentemente o aumento da área superficial onde deixará a celulose mais exposta facilitando o processo de digestão enzimática (TIMILSENA *et al.*, 2013).

Os pré-tratamentos podem ser classificados em ácidos, alcalinos, explosão a vapor e etc. (DUTRA *et al.*, 2018). O pré-tratamento que tem mostrado alta eficiência na deslignificação é o alcalino com a aplicação do hidróxido de sódio NaOH (KIM *et al.*, 2016).

O mecanismo de pré-tratamento alcalino é considerado uma hidrólise alcalina dos ésteres da xilana na hemicelulose juntamente com outros componentes, como a exemplo, lignina e hemicelulose (MUNMUNIN *et al.*, 2015).

KARAGÖZ *et al.* (2012) ressaltam que deve existir um modelo específico de pré-tratamento para cada biomassa, ou até mesmo podendo utilizar o mesmo pré-tratamento, mas com alterações em seus processos químicos. Estas metodologias devem resultar em altas taxas de rendimentos de açúcares fermentescíveis, apresentando baixo custo final com menor redução de resíduos gerados para a produção do bioetanol ((YASUDA *et al.*, 2012); (GOMES *et al.*, 2013)).

Neste sentido, o processo de otimização é importante para que se possa encontrar qual o melhor ou os melhores pontos para melhorar o processo produtivo e uma ferramenta que aplica bem estes conceitos é a lógica *fuzzy* (NASSEF *et al.*, 2019).

Datado de 1965, Lofti Zadeh, divulgou para a comunidade acadêmica o artigo *Fuzzy Sets*, onde explanou sobre o conceito de fuzzificação, o que atribuiu desde então como o “pai” da lógica *fuzzy* (LUCAS, 2011).

A lógica *fuzzy* possui em seu sistema alguns conceitos que se entende por “conceitos vagos”, que nada mais é que dados que não possui limites, tais como: muito, alto e jovem (FURLONG *et al.*, 2019). Sendo que, os sistemas computacionais trabalham com uma lógica chamada bivalente ou booleana, que em alguns casos pode ser imprecisa (VASCONCELOS *et al.*, 2019).

Por essa razão, a lógica *fuzzy* se destaca perante estes modelos computacionais, pois transforma dados linguísticos em dados numéricos, trabalhando com as habilidades humanas como conversar, raciocinar e tomar decisões (BRACARENSE *et al.*, 2013).

Diante desse contexto, o objetivo desse artigo é identificar como está configurado o estado do conhecimento sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino no capim-elefante.

1.2 Material e Métodos

Considerando o problema da pesquisa apresentada “sobre a aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino no capim-elefante”, que, segundo indicado por Cai *et al.* (2020) este enunciado interrogativo argumenta sobre a importância da aplicação do pré-tratamento nas biomassas para a produção de energias renováveis. Então, segundo orientações dos mesmos autores, foi construída a hipótese de que é possível otimizar a aplicação do pré-tratamento no capim-elefante por meios de dados existentes em forma de uma revisão bibliográfica.

A metodologia utilizada neste artigo segundo Maranzato & Salerno (2018), foi a de prospecção de documentos com bases de artigos científicos. Esta técnica considera que o autor deva “possuir olhar crítico” para separar os dados e detalhes relevantes fazendo anotações organizadas e utilizando métodos rigorosos para validar suas observações (MASSI *et al.*, 2019).

Assim, devido a estas considerações dos autores Coelho *et al.* (2021) e Eusébio & João (2020), adotou-se a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) como base metodológica para a realização deste estudo.

A RBS é um método onde se mapeia trabalhos científicos publicados em bases específicas sobre determinado tema de pesquisa, específico, onde é adotado procedimentos, etapas e aplicado ferramentas técnicas para o desenvolvimento de uma síntese do tema de interesse (GALVÃO *et al.*, 2004).

Por utilizar uma estrutura metódica, a RBS requer uma pergunta clara sobre o assunto e, com isso é definido uma estratégia de busca e de critérios para inclusão ou exclusão e leitura de documentos aplicando critérios rigorosos em cada item selecionado (AQUINO *et al.*, 2020).

Para justificar o objetivo desse artigo, foi utilizada uma RBS, adotando-se um método composto por três fases distintas: Entrada, Processamento e Saída (CONFORTO *et al.*, 2011).

A fase de entrada é definida com o problema da pesquisa que a RBS visa responder, onde delimita-se os objetivos, juntamente com os critérios para inclusão e exclusão dos documentos no determinado estudo e, principalmente a criação das

Strings de busca. Na sequência, a fase de processamento, são realizadas as buscas, a seleção inicial dos documentos por meio de leitura e análise. Por fim, a fase de saída, os documentos são cadastrados e baixados com intuito de facilitar as análises, os processamentos para que se possa elaborar a síntese dos resultados obtidos.

1.2.1 Entrada

O problema ao qual essa pesquisa busca responder é: Como está configurado o estado do conhecimento sobre a aplicação do uso da lógica *fuzzy* no pré-tratamento do capim-elefante?

Dessa forma, o objetivo da presente RBS é a identificação do estado do conhecimento das ferramentas da aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento do capim-elefante com hidróxido de sódio.

A escolha das bases de dados deu-se de acordo com a sua relevância na área de estudo, sendo estas: *ScienceDirect*, *Scopus* e *Web of Science*, *Scielo* e *SpringerLink*.

Após um levantamento inicial de palavras-chave e, criação das *Strings* de busca, limitou-se a um total de 11 *Strings*, para a primeira busca exploratória, apresentados na Tabela 1, pesquisa foi realizada no dia 15 fevereiro de 2021.

Tabela 1. Testes para definição dos *Strings* de busca unidimensional

Id	<i>Strings</i>	ScienceDirect	Scopus	Web of Science	Scielo	SpringerLink
1	(Agriculture)	1.118.037	348.382	1.331.095	6.909	752.048
2	(Elephant grass)	5.887	123.484	1.836	465	7.311
3	(<i>Pennisetum purpureum</i>)	1.724	2.134	2.7447	393	1.821
4	(Second-generation ethanol)	133	4.324	1.357	13	606.657
5	(Biofuels)	77.943	43.265	100.657	388	40.333
6	(Pretreatments)	530.077	125.874	342.627	863	210.320
7	(Sodium hidroxide)	73	64.219	101.805	703	290.237
8	(Lignin)	109.819	72.290	100.604	1.103	65.358
9	(Cellulosic)	460.412	25.840	40.189	922	24.393
10	(Lignocellulosic biomass)	33.781	401.193	487.087	3.282	285.920
11	(<i>Fuzzy</i> logic)	71.262	94.725	78.813	358	90.965
	Total	2.409.148	1.305.730	2.613.517	15.399	2.375.363

Fonte: Autor

Os *Strings* de busca foram elaborados com base nas palavras-chave relacionados ao tema da pesquisa, onde examinou-se qual melhor *String* atenderia os

objetivos da pesquisa, como pode-se observar no Quadro 1, sendo elegidos os *Strings*: (Agriculture) AND ((elephant grass) OR (*Pennisetum purpureum*)) AND (second generation ethanol); (Agriculture) AND ((elephant grass) OR (*Pennisetum purpureum*)) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide)); (Agriculture) AND ((elephant grass) OR (*Pennisetum purpureum*)) AND ((Lignin) OR (Cellulose) OR (Lignocellulosic biomass)) e (Agriculture) AND ((elephant grass) OR (*Pennisetum purpureum*)) AND (*Fuzzy logic*), (pesquisa realizada no dia 15 de fevereiro de 2021).

Quadro 1. Testes para definição dos *Strings* de busca bidimensional

Strings de busca	Bases de dados				
	ScienceDirect	Scopus	Web of Science	Scielo	SpringerLink
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (second generation ethanol)	1	0	0	0	0
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide))	683	12	2	0	387
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((Lignin) OR (Cellulose) OR (Lignocellulosic biomass))	1066	10	4	1	596
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (<i>Fuzzy logic</i>)	43	0	0	0	53
Total	1793	22	6	1	1036

Fonte: Autor

O Quadro 1, exhibe as *Strings* com os resultados compilados após a busca em cada base de dados, juntamente com a suas frases com a aplicação dos filtros e seus devidos conectivos para que o software pudesse varrer a rede completamente.

No primeiro momento, optou-se por delimitar a pesquisa em três filtros, tendo em vista que a intenção deste capítulo é ter base científica para publicação em revista de alto impacto, sendo assim, foi aplicado 3 filtros específicos: Filtro 1 – Rejeitar todos os tipos de documento, exceto artigos completos e artigos de revisão, ambos publicados em revistas científicas; Filtro 2 – Rejeitar todos os documentos que não estivessem no idioma de interesse (português ou em inglês) e, Filtro 3 – Delimitado o lapso temporal (2000 a 2020 – vinte anos).

O Quadro 2, apresenta a quantidade de artigos com a inclusão dos filtros citados.

Quadro 2. Testes para definição dos *Strings* de busca aplicado os três primeiros filtros

<i>Strings</i> de busca	Bases de dados				
	ScienceDirect	Scopus	Web of Science	Scielo	Springer Link
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (second generation ethanol)	1	0	0	0	0
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide))	304	8	2	0	147
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((Lignin) OR (Cellulosic) OR (Lignocellulosic biomass))	540	7	4	1	235
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (Fuzzy logic)	5	0	0	0	1
Total	850	15	6	1	383

Fonte: Autor

Como pode-se observar no Quadro 2, o número de artigos nas bases *ScienceDirect* e na *SpringerLink* estavam acima do esperado. Com isso, foi elaborado novamente um correlação tridimensional das principais palavras-chave proveniente do tema, sendo agriculture, elephant grass e *Pennisetum purpureum* com as demais *Strings*, conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Testes para definição dos *Strings* de busca das bases com maiores números de documentos

<i>Strings</i> de busca	ScienceDirect	Springer Link
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (second generation ethanol) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide))	1	0
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (second generation ethanol) AND ((Lignin) OR (Cellulose) OR (Lignocellulosic biomass))	1	0
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND (second generation ethanol) AND (Fuzzy logic)	0	0
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide)) AND ((Lignin) OR (Cellulose) OR (Lignocellulosic biomass))	529	207
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((biofuels) OR (pretreatments) OR (Sodium hidroxide)) AND (Fuzzy logic)	22	5
(Agriculture) AND ((elephant grass) OR (<i>Pennisetum purpureum</i>)) AND ((Lignin) OR (Cellulosic) OR (Lignocellulosic biomass)) AND (Fuzzy logic)	26	0
Total	579	212

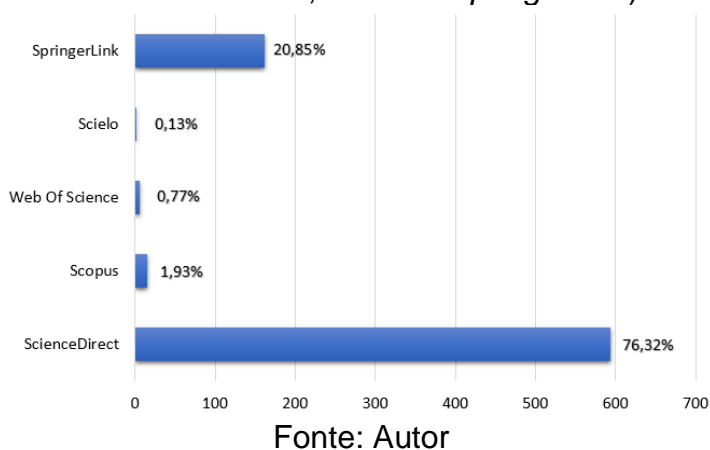
Fonte: Autor

1.3 Resultados e Discussão

1.3.1 Processamento

Com os documentos selecionados, onde foi utilizado os critérios aplicados Entrada, deu-se início o Processamento, na qual foram exportados 813 documentos das bases de dados e, importados para o Software de gerenciamento *Mendeley*®, sendo: 579 documentos da *ScienceDirect*, 15 da *Scopus*, 6 *Web of Science*, 1 da *Scielo* e 212 da *SpringerLink*, como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1. Publicações por ano das bases científicas (*ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo* e *SpringerLink*)



A Figura 1, que apresenta os resultados do software *Mendeley*® e traz as informações separando os percentuais relativos a quantidade de documentos obtidos de cada uma das bases prospectadas.

A partir de então, foram realizadas rejeições por tipo de documento (artigo de pesquisa ou revisão de literatura) (filtro 1). No filtro 2, a seleção foi definir documentos na língua inglês e no português e posterior estar fora da linha do tempo de 2000 a 2020, isto no filtro 3, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Testes para definição dos *Strings* de busca após o uso baixar os documentos via *Mendeley*®

<i>Mendeley</i> ® - Fase de Seleção						Total de Documentos
Base de Dados	Science Direct	Scopus	Web of Science	Scielo	Springer Link	
Inicial	579	22	6	1	212	820
Filtro 1	240	4	0	0	124	
Filtro 2	1	2	0	0	1	
Filtro 3	43	1	0	0	9	

Doc rejeitados	284	7	0	0	134	425
Final	295	15	6	1	78	395

Fonte: Autor

Na sequência foram aplicados mais 5 filtros sendo: filtro 1 – duplicados identificados pelo *Mendeley*®, filtro 2 – duplicados identificados manualmente, filtro 3 – rejeitados na análise textual simples, filtro 4 – indisponíveis para acesso na íntegra e filtro 5 rejeitados na análise textual detalhada, conforme o Quadro 5.

Quadro 5. Testes para definição dos *Strings* de busca aplicados os cinco filtros no *Mendeley*®

<i>Mendeley</i> ® - Fase de Seleção						Total de Documentos
Base de Dados	Science Direct	Scopus	Web of Science	Scielo	Springer Link	
Filtro 1	62	0	0	0	0	62
Filtro 2	0	0	0	0	0	0
Filtro 3	138	7	6	1	11	163
Filtro 4	0	0	0	0	51	51
Filtro 5	32	0	0	0	1	33
Final	232	7	6	1	63	309

Fonte: Autor

Por fim, após todas as análises realizadas e com as aplicações dos filtros estabelecidos, as bases científicas (*ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo* e *SpringerLink*), resultaram em 63; 8; 0; 0 e 15 artigos respectivamente, que seriam analisados para a pesquisa.

1.3.2 Saída

Foram baixados e lidos na íntegra os 86 documentos como listado no Quadro 6, para posterior tabulação.

Quadro 6. Resultado final para definição dos *Strings* de busca

N.	Autor	Título	Contribuição
1	Charlton <i>et al.</i> (2009)	<i>The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass</i>	Artigo apresenta as oportunidades no mercado para uma biorrefinaria
2	Sánchez (2009)	<i>Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi</i>	Artigo com grande importância da aplicação de fungos para a deslignificação da biomassa, pois os mesmos podem oxidar e degradar polissacarídeos.
3	Varfolomeev <i>et al.</i> (2009)	<i>Energy Carriers from Renewable Sources: Chemical Aspects</i>	Um trabalho que apresenta uma visão global sobre a importância do uso de energias renováveis
4	Demain (2009)	<i>Biosolutions to the energy problem</i>	Artigo importante que deixa claro que o mercado mundial necessita e pode

			trabalhar em grande escala com energias renováveis principalmente com microorganismos na produção de energia provinda de material reciclado
5	Chandel <i>et al.</i> (2010)	<i>Key drivers influencing the commercialization of ethanol-based biorefineries</i>	Artigo importante que apresenta vários pontos sobre uma perspectiva de produção de bioetanol a partir resíduos agrícolas, onde neste modelo deve aplicar o pré-tratamento como fonte para quebra das estruturas lignocelulósicas.
6	Abbasi & Abbasi (2010)	<i>Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization</i>	O artigo faz um balanço das várias fontes de biomassa e das possíveis maneiras pelas quais ela pode ser utilizada para gerar energia, examinando principalmente as questões ambientais.
7	Saidur <i>et al.</i> (2011)	<i>A review on biomass as a Fuel for boilers</i>	O artigo transcreve sobre as mudanças climáticas e a perspectiva de mudança de uso de energias renováveis, como a biomassa que é uma das primeiras fontes de energia com propriedades muito específicas.
8	Takara & Khanal (2011)	<i>Green processing of tropical banagrass into bioFuel and biobased products: An innovative biorefinery approach</i>	Artigo apresentando as melhores características de cultivo e uso do capim-elefante seria um corte com aproximadamente 4 meses e que este pode ser utilizado desde o caule rente ao solo como as folhas, onde ele utilizou um pré-tratamento com ácido sulfúrico para o processo de deslignificação.
9	Duku <i>et al.</i> (2011)	<i>A comprehensive review of biomass resources and bioFuels potential in Ghana</i>	Artigo descreve a contribuição da produção de energia provinda da biomassa em Gana, mas que o grande problema são as pesquisas, mas mesmo assim ainda tem um grande potencial de crescimento do uso de energia provindo desta base.
10	(Xie <i>et al.</i> (2011)	<i>Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars</i>	Artigo importante sobre 5 cultivares de capim-elefante, onde os autores analisaram a constituição química em diferentes estágios para saber a % de lignina.
11	Yasuda <i>et al.</i> (2012)	<i>Ethanol production from non-pretreated napiergrass through a simultaneous saccharification and fermentation process followed by a pentose fermentation with Escherichia coli KO11</i>	Artigo sobre produção de bioetanol de capim-elefante utilizando <i>Escherichia coli</i> KO11. Obtendo bons resultados finais.
12	Ho <i>et al.</i> (2012)	<i>Development of cellulosic ethanol production process via co-culturing of artificial cellulosomal Bacillus and kefir yeast</i>	Artigo que combina dois microorganismos em um processo fermentativo, sendo <i>Bacillus</i> e outras combinações para saber a melhor resposta para a produção de açúcares redutíveis.
13	Puri <i>et al.</i> (2012)	<i>BioFuel production: Prospects, challenges and feedstock in Australia</i>	Artigo sobre o uso de energia provinda de recursos fósseis ainda são os mais utilizados na Austrália, mas a produção

			de biocombustíveis está na rota do governo nacional com a aplicação de tecnologias industriais.
14	Plácido <i>et al.</i> (2013)	<i>Evaluation of ligninolytic enzymes, ultrasonication and liquid hot water as pretreatments for bioethanol production from cotton gin trash</i>	Artigo sobre a aplicação de 3 pré-tratamentos diferentes e que o melhor foi a combinação da ultrassônica com a água quente para a produção de bioetanol de algodão
15	Ohimain (2013)	<i>A review of the Nigerian biofuel policy and incentives (2007)</i>	Artigo apresenta claramente os incentivos e as políticas de aplicação do uso de energias renováveis na Nigéria, o que pode emperrar são os conflitos entre povos e o governo.
16	Smith <i>et al.</i> (2013)	<i>Second generation bioFuels and bioinvasions: An evaluation of invasive risks and policy responses in the United States and Canada</i>	O artigo de revisão coloca que os governos americanos e canadenses devam aplicar políticas fortes para aumentar o uso de energias renováveis em seus países.
17	Wu <i>et al.</i> (2013)	<i>Application of new expansion pretreatment method on agricultural waste. Part I: Influence of pretreatment on the properties of lignin</i>	Artigo apresentando resultados da eficiência do uso de pré-tratamentos para remoção ou desestruturação da lignina em biomassa de arroz.
18	Lima <i>et al.</i> (2014)	Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production	Artigo de pesquisa comparando diversos materiais lignocelulósicos para produção de biocombustíveis
19	Carvalho-Neto <i>et al.</i> (2014)	<i>The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry</i>	Artigo sobre os benefícios do uso da cana como fonte de energia utilizando as biomassas para a indústria celulósica
20	Yasuda <i>et al.</i> (2014)	<i>Bio-ethanol production through simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of a low-moisture anhydrous ammonia (LMAA)-pretreated napiergrass (Pennisetum purpureum Schumach)</i>	Artigo o qual os autores comprovaram a alta eficiência na produção de bioetanol a partir da biomassa de CE utilizando alguns fungos para fermentação.
21	Perlatti <i>et al.</i> (2014)	<i>Green chemistry, sustainable agriculture and processing systems: a Brazilian overview</i>	Esta revisão discute os desenvolvimentos tecnológicos atuais e incipientes para o uso da biomassa para gerar produtos químicos de base biológica na última década, com foco nos conceitos de Química Verde para modelos sustentáveis de agricultura e processamento no Brasil
22	Knoll <i>et al.</i> (2014)	<i>Harvest Management of Tifton 85' Bermudagrass for Cellulosic Ethanol Production</i>	Artigo esclarece sobre as aplicações da biotecnologia utilizando o CE
23	Daher <i>et al.</i> (2014)	<i>Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil</i>	Artigo onde avaliou vários cultivares de CE onde avaliou-se as constituições químicas na região do RJ.
24	Cardona <i>et al.</i> (2014)	<i>Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass</i>	Artigo de pesquisa que apresentou respostas importantes da aplicação do pré-tratamento alcalino para a deslignificação da biomassa para a produção de bioetanol

25	López-Bellido <i>et al.</i> (2014)	<i>Energy crops: Prospects in the context of sustainable agriculture</i>	Artigo de revisão apresentando a eficiência de avaliar a porcentagem de celulose e lignina para a produção de bioetanol
26	Antonopoulou <i>et al.</i> (2015)	<i>The Effect of Aqueous Ammonia Soaking Pretreatment on Methane Generation Using Different Lignocellulosic Biomasses</i>	Artigo descreve sobre o uso de pré-tratamento aquoso onde solubilizou a hemicelulose e removeu parte da celulose
27	Bensah <i>et al.</i> (2015)	<i>African perspective on cellulosic ethanol production</i>	Artigo de revisão que apresenta um avanço na produção de bioetanol na África, mas que emperra nos custos das aplicações das enzimas.
28	Del Río <i>et al.</i> (2015)	<i>Differences in the chemical structure of the lignins from sugarcane bagasse and straw</i>	Artigo explicando sobre as composições da lignina como o conhecimento e a aplicação dos pré-tratamentos podem interferir nos resultados da deslignificação do bagaço da cana
29	Puspawati <i>et al.</i> (2015)	<i>The Production of Bioethanol Fermentation Substrate from Eucheuma cottonii Seaweed through Hydrolysis by Cellulose Enzyme</i>	Artigo de pesquisa que apresenta sobre a <i>Eucheuma cottonii</i> que é capaz de ser usado como substrato de fermentação de bioetanol na forma de açúcares de redução por hidrólise enzimática usando enzimas de celulose.
30	Gupta & Verma (2015)	<i>Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review</i>	Artigo de revisão que apresenta resultados sobre a conversão da celulose para o etanol onde requer novas tecnologias de pré-tratamento, enzimática e fermentação, para tornar todo o processo econômico.
31	Scholl <i>et al.</i> (2015a)	<i>Elephant grass (Pennisetum purpureum Schum.) pretreated via steam explosion as a carbon source for cellulases and xylanases in submerged cultivation</i>	O artigo apresentou resultados que indicaram que o CE pré-tratado usando explosão de vapor pode ser usada como substrato para a produção de enzimas para a hidrólise da biomassa lignocelulósica.
32	Fontoura <i>et al.</i> (2015)	<i>Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix?</i>	Artigo de revisão onde o mesmo apresenta valores para o investimento em energia limpa, além disso, as estratégias da Biorefinarias foram positivas, o que indicam que as mesmas utilizam o esquema de comercialização proposto neste estudo representam uma oportunidade viável e interessante para uma diversificação sustentável da matriz energética
33	Jin <i>et al.</i> (2015)	<i>High-pressure homogenization pretreatment of four different lignocellulosic biomass for enhancing enzymatic digestibility</i>	O artigo utilizou o pré-tratamento de HPH em diversas biomassas, o o melhor resultado na deslignificação foi utilizando o CE, com isso comprovou que o pré-tratamento do HPH pode aumentar a produção de biocombustíveis em uma condição leve sem adicionar quaisquer produtos químicos.
34	Scholl <i>et al.</i> (2015b)	<i>Ethanol production from sugars obtained during enzymatic hydrolysis of elephant grass (Pennisetum purpureum, Schum.)</i>	Artigo apresentou dados de maior produção de bioetanol de CE onde o mesmo foi pré-tratado com vapor d'água a quente, onde o mesmo gerou uma grande quantidade de compostos

		<i>pretreated by steam explosion</i>	inibitórios solúveis em água para hidrólise e fermentação
35	Wen <i>et al.</i> (2015)	<i>Comparison and evaluation of concurrent saccharification and anaerobic digestion of Napier grass after pretreatment by three microbial consortia</i>	Artigo onde foi aplicado o CE para a produção de biometano com a aplicação de três modelos de pré-tratamentos mais eficazes
36	Takara & Khanal (2015)	<i>Characterizing compositional changes of Napier grass at different stages of growth for bioFuel and biobased products potential</i>	Artigo sugeriu que o teor de celulose não muda significativamente em relação à idade
37	Rambo <i>et al.</i> (2015)	<i>Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities</i>	O artigo trabalhou com plantas diferenciadas para a produção o processo geral de produção do bioetanol, com grande eficácia para o açai.
38	Surendra & Khanal (2015)	<i>Effects of crop maturity and size reduction on digestibility and methane yield of dedicated energy crop</i>	O artigo coloca que a biomassa do CE apresentou a maior digestibilidade de celulose e hemicelulose quando seu corte foi aos 6 meses, enquanto a digestibilidade de celulose-perda e hemicelulose foram as mais baixas para a biomassa colhida aos 8 meses de maturação.
39	Ullah <i>et al.</i> (2015)	<i>Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: A critical review</i>	Artigo de revisão que apresenta os impactos e as viabilidades econômicas dos países para a produção de energias renováveis a partir de ligninas de biomassas
40	Ji & Long (2016)	<i>A review of the ecological and socioeconomic effects of biofuel and energy policy recommendations</i>	Artigo de revisão que apresenta dados sobre as políticas de incremento de energias renováveis nos países, frisando que os custos são os maiores empecilhos além do uso inadequado dos mesmos
41	Abdelaziz <i>et al.</i> (2016)	<i>Biological valorization of lowmolecular weight lignin</i>	Artigo de revisão sobre as fontes de lignina, os métodos de deslignificação, os caminhos biológicos para conversão das subpartículas de lignina e as ferramentas analíticas necessárias para caracterizar e avaliar os principais atributos de lignina
42	Zabed <i>et al.</i> (2016)	<i>Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches</i>	Artigo de revisão que apresenta uma visão geral sobre a diversidade de biomassa, as abordagens tecnológicas e contribuição microbiana para a conversão da lignina em Bioetanol
43	Ren <i>et al.</i> (2016)	<i>A review on bioconversion of lignocellulosic biomass to H₂: Key challenges and new insights</i>	Artigo de revisão apresentando sobre as possibilidades de produção de hidrogênio onde correlacionou os bioprocessos envolvidos, juntamente com os desafios e novos insights sobre a produção de biohidrogênio lignocelulósico.
44	Rabemanolontsoa & Saka (2016)	<i>Various pretreatments of lignocellulosics</i>	Artigo de revisão onde apresenta um histórico do pré-tratamento em biomassas, juntamente com as

			conversões químicas, físico-químicas e bioquímicas
45	Kim <i>et al.</i> (2016)	<i>A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass</i>	Artigo de revisão, onde é apresentada as principais tecnologias alcalinas de pré-tratamento com intuito de mudar as estruturas químicas e físicas da biomassa
46	Phitsuwan <i>et al.</i> (2015)	<i>Structural changes and enzymatic response of Napier grass (Pennisetum purpureum) stem induced by alkaline pretreatment</i>	Artigo apresentando resultados com aplicação de pré-tratamentos alcalinos no CE, sendo NaOH, Ca(OH) ₂ , NH ₃ , e H ₂ O ₂ (H ₂ O ₂) com melhor resultado NaOH
47	Coffin <i>et al.</i> (2016)	<i>Potential for Production of Perennial Biofuel Feedstocks in Conservation Buffers on the Coastal Plain of Georgia, USA</i>	Artigo de revisão que apresenta estimativas sobre a produção de biocombustíveis nas Planícies da Costa Oeste do Estado da Geórgia USA
48	Johansson & Rydberg (2017)	<i>Is an increased use of biofuels the road to sustainability?</i>	Artigo de revisão sobre o avanço das áreas com culturas para produção de biocombustíveis
49	He <i>et al.</i> (2017)	<i>Lignocellulosic butanol production from Napier grass using semi-simultaneous saccharification fermentation</i>	Artigo de pesquisa que apresenta resultados do CE com pré-tratamento NaOH e H ₂ SO ₄
50	Manisha & Yadav (2017)	<i>Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass</i>	Artigo de revisão onde é relatado a importância da aplicação de enzimas na fermentação de biomassa lignocelulósica
51	Mohapatra <i>et al.</i> (2017)	<i>Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review</i>	Artigo de revisão sobre a importância da aplicação de técnicas moleculares para a produção de bioetanol
52	Kuancha <i>et al.</i> (2017)	<i>Fermentable sugars production from lignocellulosic materials hydrolysis by thermophilic enzymes from Bacillus subtilis J12</i>	Artigo de pesquisa que apresenta alta eficiência na aplicação de <i>Bacillus subtilis</i> para a produção de açúcares
53	Agrawal <i>et al.</i> (2017)	<i>Investigating the enzyme-lignin binding with surfactants for improved saccharification of pilot scale pretreated wheat straw</i>	Artigo de pesquisa que investigou uma enzima específica para a pré-tratar palha de trigo
54	Rocha <i>et al.</i> (2017a)	<i>Prospecção tecnológica do capim elefante e sua relevância como matéria-prima para a produção energética</i>	Artigo de revisão que apresenta a importância do CE para produção de energias renováveis
55	Niemi <i>et al.</i> (2017)	<i>Production of sugars from grass silage after steam explosion or soaking in aqueous ammonia</i>	Artigo de pesquisa aplicando pré-tratamento ácido para a produção de açúcar
56	Renzaho <i>et al.</i> (2017)	<i>Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals</i>	Artigo de revisão que apresenta uma história do impacto da produção na produção de biocombustíveis na produção de alimentos

57	Ko <i>et al.</i> (2017)	<i>Bioethanol production from recovered napier grass with heavy metals</i>	Artigo de pesquisa mostra a importância da produção de bioetanol de CE recuperando metais pesados
58	Merino <i>et al.</i> (2017)	<i>Screening of Ionic Liquids for Pretreatment of Taiwan Grass in Q-Tube Minireactors for Improving Bioethanol Production</i>	Artigo de pesquisa utilizado o Screening para o pré-tratamento do capim Taiwan para a produção de bioetanol
59	Mithra <i>et al.</i> (2018)	<i>Comparison of ethanol yield from pretreated lignocellulose-starch biomass under fed-batch SHF or SSF modes</i>	Artigo de pesquisa onde foi comparado a produção de etanol a partir de estruturas lignocelulósicas entre hidrólise enzimática e fermentação na sequência ou em conjunto
60	Kumar & Ghosh (2018)	<i>Sustainable bio-energy potential of perennial energy grass from reclaimed coalmine spoil (marginal sites) of India</i>	Artigo de pesquisa que apresentou resultados de uso de energia sustentáveis para reduzir o uso de carvão
61	Kumari & Singh (2018)	<i>Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical review</i>	Artigo de revisão que apresenta pontos fortes e fracos do pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos para produção de biocombustíveis
62	Dhabhai <i>et al.</i> (2018)	<i>Agricultural byproducts-based biosorbents for purification of bioalcohols: a review</i>	Artigo de revisão do uso de produtos químicos para purificar ou limpar os biocombustíveis
63	Dhyani <i>et al.</i> (2018)	<i>A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass</i>	Artigo de revisão sobre a utilização da pirólise química nas biomassas lignocelulósicas
64	Kajina <i>et al.</i> (2018)	<i>Coupled effect of torrefaction and blending on chemical and energy properties for combustion of major open burned agriculture residues in Thailand</i>	Artigo de pesquisa apresentando possibilidades de uso e energias renováveis de diversas biomassas de alta disponibilidade na Tailândia
65	Sawatdeenarunat <i>et al.</i> (2018)	<i>Decentralized biorefinery for lignocellulosic biomass: Integrating anaerobic digestion with thermochemical conversion</i>	Artigo de pesquisa onde utilizou biorreatores para avaliar a digestão anaeróbica para quantificar celulose e lignina
66	Zhang <i>et al.</i> (2019)	<i>An optimum combined hydrolysis factor enhances hybrid Pennisetum pretreatment in bio-conversion</i>	Artigo de pesquisa que apresentou resultados eficientes na combinação de métodos para bioconversão de CE
67	Mohapatra <i>et al.</i> (2019)	<i>Engineering grass biomass for sustainable and enhanced bioethanol production</i>	Artigo de revisão sobre a aplicação da engenharia genética na eficiência da produção de bioenergia por biomassas
68	Farrokh <i>et al.</i> (2019)	<i>A thermogravimetric analysis of lignin char combustion</i>	Artigo de pesquisa explicando sobre a importância do conhecimento sobre combustão para a deslignificação
69	Gholizadeh <i>et al.</i> (2019)	<i>A mini review of the specialties of the bio-oils produced from pyrolysis of 20 different biomasses</i>	Artigo de revisão apresentando as suas características químicas de 20 diferentes biomassas quando produzido bio-óleo
70	Narinthorn <i>et al.</i> (2019)	<i>Alkaline and fungal pretreatments for improving methane potential of Napier grass</i>	Artigo de pesquisa aplicado dois pré-tratamentos alcalino e com fungo no CE para produção de metano

71	Bonfiglio <i>et al.</i> (2019)	<i>Pretreatment of switchgrass by steam explosion in a semi-continuous pre-pilot reactor</i>	Artigo de pesquisa utilizando pré-tratamento a explosão em semicondutores em reator
72	Dai <i>et al.</i> (2019)	<i>Integrated process of lignocellulosic biomass torrefaction and pyrolysis for upgrading bio-oil production: A state-of-the-art review</i>	Artigo de revisão onde utilizou a pirólise para a produção de bio-óleo
73	Camargos <i>et al.</i> (2019)	<i>Experimentally designed corn biomass fractionation to obtain lignin nanoparticles and fermentable sugars</i>	Artigo de pesquisa sobre um planejamento experimental para quantificação de lignina e celulose de biomassas
74	Bensah <i>et al.</i> (2019)	<i>Alkali and glycerol pretreatment of West African biomass for production of sugars and ethanol</i>	Artigo de pesquisa utilizando pré-tratamento alcalino em diversos materiais, mas o que se destacou foi o CE
75	Yaashikaa <i>et al.</i> (2019)	<i>Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstocks for remediation of environmental pollutants</i>	Artigo de revisão produção de biogás de diversas fontes de biomassa lignocelulósica
76	Shilpi <i>et al.</i> (2019)	<i>Waste to watt: Anaerobic digestion of wastewater irrigated biomass for energy and fertiliser production</i>	Artigo de pesquisa sobre produção de energia com o uso de manejo de irrigação e aplicação de fertilizantes
77	Kang <i>et al.</i> (2019)	<i>The effect of mechanical pretreatment on the anaerobic digestion of Hybrid Pennisetum</i>	Artigo de pesquisa apresentando resultados de pré-tratamento mecânico no CE
78	Burman <i>et al.</i> (2019)	<i>Lignocellulosic bioethanol production from grasses pretreated with acid mine drainage: Modeling and comparison of SHF and SSF</i>	Artigo de pesquisa sobre aplicações de equações empíricas modelando a concentração de glicose/etanol
79	Okolie <i>et al.</i> (2020)	<i>Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass</i>	Artigo de revisão que apresenta as potencialidades do uso de biomassas lignocelulósicas para a produção de bioplásticos
80	Shiba <i>et al.</i> (2020)	<i>A technology for pilot production of bacterial cellulose from oat hulls</i>	Artigo de pesquisa aplicando aveia para quantificar celulose por processos que envolvem bactérias
81	Cai <i>et al.</i> (2020)	<i>Effects of dry explosion pretreatment on physicochemical and Fuel properties of hybrid pennisetum (Pennisetum americanum x P. purpureum)</i>	Artigo de pesquisa apresentado o pré-tratamento de explosão a seco para converter biomassa de CE
82	Brito da Silva <i>et al.</i> (2020)	<i>Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models</i>	Artigo de revisão que apresenta as potencialidades da família do CE para produção de energias renováveis
83	Duarah <i>et al.</i> (2020)	<i>Technological advancement in the synthesis and applications of lignin-based nanoparticles derived from agro-industrial waste residues: A review</i>	Artigo de revisão sobre a aplicação de nanotecnologia para aplicar na deslignificação
84	Haldar & Purkait (2020)	<i>Lignocellulosic conversion into value-added products: A review</i>	Artigo de revisão sobre a importância da deslignificação para o uso de energias renováveis

85	Abraham <i>et al.</i> (2020)	<i>Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass</i>	Artigo de revisão mostrando a estratégia do uso do pré-tratamento na biomassa para a produção de biogás
86	Roy <i>et al.</i> (2020)	<i>Recent advances of greener pretreatment technologies of lignocellulose</i>	Artigo de revisão mostrando os avanços do uso da tecnologia do pré-tratamento em materiais lignocelulósicos

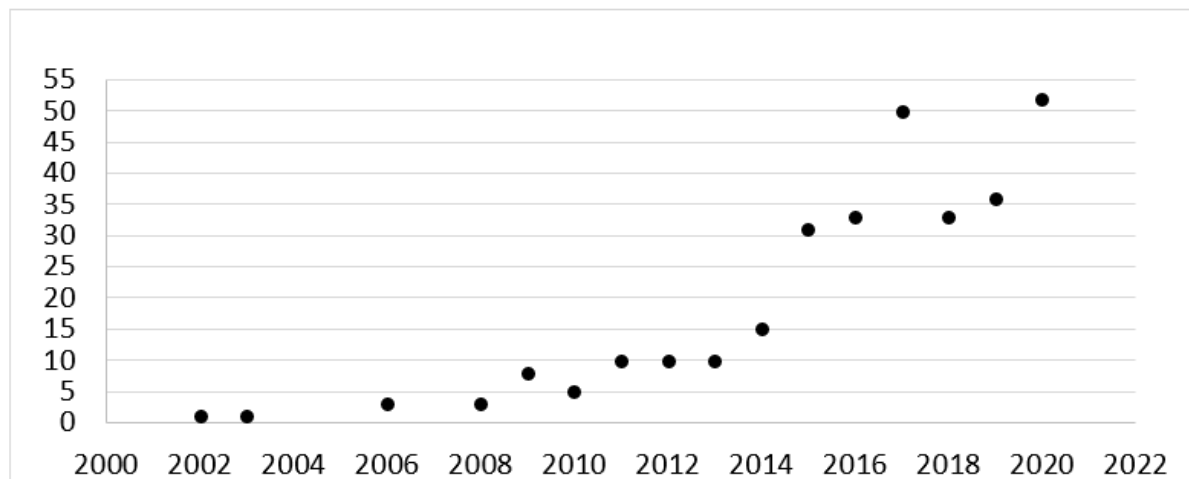
Fonte: Autor

O Quadro 6 exibe a lista de todos os 86 artigos selecionados para a pesquisa e indica a contribuição de cada um.

Com base nos critérios adotados nesta revisão sistemática, foi possível identificar um avanço nas produções científicas relacionados a aplicação do pré-tratamento no capim-elefante como biomassa para a produção de bioetanol, reforçando que esta pesquisa é um trabalho de cunho inédito quanto a aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino do capim-elefante, o que reforça a sua importância.

A Figura 2, apresenta o número de publicações por ano obtidas na pesquisa, quando utilizado as *Strings* (agriculture; elephant grass; *Pennisetum purpureum*; second-generation ethanol; biofuels; pretreatments; sodium hydroxide; lignin; Cellulosic; lignocellulosic biomass e *fuzzy logic*), nos modelos unidimensionais.

Figura 2. Publicações por ano relacionado ao tema



Fonte: Autor

A Figura 2, apresenta o número de publicações por ano, foram encontrados 395 documentos. Destes, 235 foram publicados nos últimos cinco anos (2015 a 2020), o que demonstra o avanço e relevância da temática abordada.

Na Figura 3 temos mais um resultado do software que considera as palavras-chave dos artigos selecionados na pesquisa.

Figura 3. Nuvem de palavras

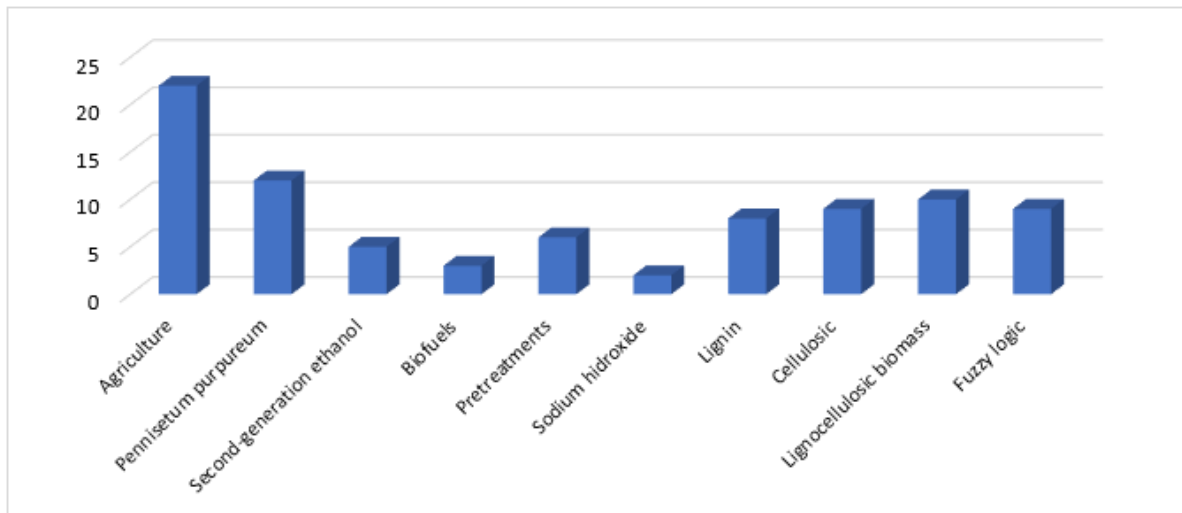


Fonte: Autor

Na Figura 3 apresenta-se a nuvem de palavras gerada a partir das palavras-chave dos artigos selecionados, com destaque às palavras: Biocombustíveis, capim-elefante, lógica *fuzzy*, pré-tratamento NaOH e energias renováveis.

Ao analisar os documentos na íntegra, foi possível categorizar os documentos por aplicabilidade, sendo: agriculture, *Pennisetum purpureum*, second-generation ethanol, biofuels, pretreatments, sodium hydroxide, lignin, Cellulosic, lignocellulosic biomass e *fuzzy logic*, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4. Número de documentos por palavra-chave



Fonte: Autor

A Figura 4, apresenta o número publicações separados pelas palavras-chave, de forma a identificar quais palavras mais que se destacariam mais na pesquisa. As palavras mais relevantes foram encontradas com maiores quantidades de artigos publicados, nesta sequência: Agriculture com 21 artigos, *Pennisetum purpureum* 12 artigos, Lignocellulosic biomass 9 artigos e Cellulosic 8 artigos.

Neste sentido, para o setor agroindustrial destaca-se os pontos agriculture, *Pennisetum purpureum*, lignocellulosic biomass e cellulosic, além do pretreatment e sodium hydroxide. Zhang *et al.* (2019), avaliam que para obter uma alta eficiência na produção de etanol de segunda geração a partir do uso de biomassa de capim-elefante, o pré-tratamento é de grande relevância, pois ele desestrutura toda a lignina facilitando a ação do fungo para a fermentação e conseqüentemente a produção do bioetanol (GODINHO *et al.*, 2019).

Conforme visto na Figura 4, o sodium hydroxide apareceu relativamente baixa a quantidade de artigos, entretanto Alonso (2018) cita que o hidróxido de sódio é considerado um pré-tratamento alcalino com alta resposta na deslignificação da biomassa.

1.4 Conclusões

Com a realização da pesquisa utilizando a RBS, foi possível identificar diversas aplicações e metodologias para o uso do pré-tratamento alcalino com NaOH na biomassa do capim-elefante para produção de bioetanol. Entretanto, reforça o ineditismo desta pesquisa no âmbito da aplicação da lógica *fuzzy* no pré-tratamento

do capim-elefante, tanto para quantificar a celulose, a hemicelulose e a lignina, além da produção do bioetanol.

Dos 86 documentos analisados nesta pesquisa, 100% foram de artigos de pesquisa quanto de artigo de revisão bibliográfica, o que demonstra uma relevância na academia quanto a pesquisa na linha de pesquisa quanto ao uso do capim-elefante na produção do bioetanol e, da mesma forma, que as pesquisas sobre a aplicação de pré-tratamento nas biomassas vêm ganhando importância nos últimos anos, sendo cada vez mais estudada e desenvolvida por pesquisadores da área.

Apesar de não apresentar nenhum artigo com referência específica da utilização da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino do capim-elefante, isso abre espaço para novas pesquisas, onde pode-se utilizar as mesmas linhas de trabalho com a aplicação da lógica *fuzzy* como um modelo de otimização nas variáveis independentes nos processos de produção do bioetanol.

Portanto, para trabalhos futuros, recomenda-se uma análise mais aprofundada em cada documento identificado (86), o que poderá gerar novas pesquisas como, por exemplo, a aplicação da lógica *fuzzy* na produção de etanol de segunda geração no capim-elefante utilizando o pré-tratamento alcalino.

Referências

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 919-937, abr. 2010.
- ABDELAZIZ, O. Y. *et al.* Biological valorization of low molecular weight lignin. **Biotechnology Advances**, v. 34, n. 8, p. 1318-1346, 2016.
- ABRAHAM, A. *et al.* Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 301, e122725, 2020.
- ADITIYA, H. B. *et al.* Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 631-653, 2016.
- AGRAWAL, R. *et al.* Investigating the enzyme-lignin binding with surfactants for improved saccharification of pilot scale pretreated wheat straw. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 411-418, 2017.
- AHMAD, M. S. *et al.* Bioenergy potential of *Wolffia arrhiza* appraised through pyrolysis, kinetics, thermodynamics parameters and TG-FTIR-MS study of the evolved gases. **Bioresource Technology**, v. 253, p. 297-303, 2018.

- ALONSO, E. The role of supercritical fluids in the fractionation pretreatments of a wheat bran-based biorefinery. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 133, p. 603-614, 2018.
- ANTONOPOULOU, G. *et al.* The Effect of Aqueous Ammonia Soaking Pretreatment on Methane Generation Using Different Lignocellulosic Biomasses. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, n. 3, p. 281–291, 2015.
- AQUINO, E. L. R. de *et al.* Ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel: uma revisão bibliográfica sistemática. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e57691110195, 2020.
- BENSAH, E. C. *et al.* African perspective on cellulosic ethanol production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1-11, 2015.
- BENSAH, E. C.; KÁDÁR, Z.; MENSAH, M. Y. Alkali and glycerol pretreatment of West African biomass for production of sugars and ethanol. **Bioresource Technology Reports**, v. 6, p. 123-130, 2019.
- BLOIS, H. D. *et al.* Silvicultura: Cenários Prospectivos para Geração de Energia Elétrica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 140-159, 2017.
- BONFIGLIO, F. *et al.* Pretreatment of switchgrass by steam explosion in a semi-continuous pre-pilot reactor. **Biomass and Bioenergy**, v. 121, p. 41-47, 2019.
- BRACARENSE, J. C.; DOS SANTOS, C. V.; MAYERLE, S. F. Tomada de decisão sob condições de risco e incerteza: uma aplicação da lógica *fuzzy* à bovinocultura de corte da região Serrana de Santa Catarina. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 19, n. 41, p. 73-101, 2013.
- BRITO DA SILVA, V. *et al.* Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. **Renewable Energy**, v. 146, p. 744-749, 2020.
- BURMAN, N. W.; SHERIDAN, C. M.; HARDING, K. G. Lignocellulosic bioethanol production from grasses pre-treated with acid mine drainage: Modeling and comparison of SHF and SSF. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, e100299, 2019.
- CAI, C. *et al.* Effects of dry explosion pretreatment on physicochemical and fuel properties of hybrid pennisetum (*Pennisetum americanum* × *P. purpureum*). **Bioresource Technology**, v. 297, e122508, 2020.
- CAMARGOS, C. H. M. *et al.* Experimentally designed corn biomass fractionation to obtain lignin nanoparticles and fermentable sugars. **Industrial Crops and Products**,

v. 140, e111649, 2019.

CARDONA, E. *et al.* Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, p. 41-47, 2014.

CARVALHO-NETTO, O. V. *et al.* The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 20, p.1-8, 2014.

CHANDEL, A. K. *et al.* Key drivers influencing the commercialization of ethanol-based biorefineries. **Journal of Commercial Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 239-257, 2010.

CHARLTON, A. *et al.* The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1147-1161, 2009.

COELHO, Y. C. DE M.; OLIVEIRA, E. M. DE; ALMEIDA, A. C. P. C. DE. Discussões e tendências das teses e dissertações sobre formação de professores de ciências em espaços não formais: uma Revisão Bibliográfica Sistemática. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 23, p. 1-18, 2021.

COFFIN, A. W. *et al.* Potential for Production of Perennial Biofuel Feedstocks in Conservation Buffers on the Coastal Plain of Georgia, USA. **Bioenergy Research**, v. 9, n. 2, p. 587-600, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º **Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**. Anais...Porto Alegre/RS: 2011Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>>

DAHER, R. F. *et al.* Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 4, p. 10898-10908, 2014.

DAI, L. *et al.* Integrated process of lignocellulosic biomass torrefaction and pyrolysis for upgrading bio-oil production: A state-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 20-36, 2019.

DEL RÍO, J. C. *et al.* Differences in the chemical structure of the lignins from sugarcane bagasse and straw. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 322-338, 2015.

DEMAIN, A. L. Biosolutions to the energy problem. **Journal of Industrial**

Microbiology and Biotechnology, v. 36, n. 3, p. 319-332, 2009.

DHABHAI, R.; NIU, C. H.; DALAI, A. K. Agricultural byproducts-based biosorbents for purification of bioalcohols: A review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 5, n. 1, p. 2-14, 2018.

DHYANI, V.; BHASKAR, T. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**, v. 129, p. 695-716, 2018.

DUARAH, P.; HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Technological advancement in the synthesis and applications of lignin-based nanoparticles derived from agro-industrial waste residues: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 1828-1843, 2020.

DUKU, M. H.; GU, S.; HAGAN, E. BEN. A comprehensive review of biomass resources and bioFuels potential in Ghana. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 404-415, 2011.

DUTRA, E. D. *et al.* Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of lignocellulosic biomass: status and perspectives. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 8, n. 1, p. 225-234, 2018.

EUSÉBIO, C.; JOÃO, M. Attitudes towards people with disabilities: A systematic literature review - Atitudes em relação às pessoas com deficiência: Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 26, n. 4, p. 689-710, 2020.

FARROKH, N. T. *et al.* A thermogravimetric analysis of lignin char combustion. **Energy Procedia**, v. 158, p. 1241-1248, 2019.

FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: Towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015.

FURLONG, V. B. *et al.* Fuzzy-enhanced modeling of lignocellulosic biomass enzymatic saccharification. **Energies**, v. 12, n. 11, p. 1-17, 2019.

GALVÃO, C. M.; SAWADA, N. O.; TREVIZAN, M. A. Revisão sistemática: recurso que proporciona a incorporação das evidências na prática da enfermagem. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 12, n. 3, p. 549-556, 2004.

GHOLIZADEH, M.; HU, X.; LIU, Q. A mini review of the specialties of the bio-oils produced from pyrolysis of 20 different biomasses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. 10, e109313, 2019.

GODINHO, E. Z. *et al.* Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino-oxidativo

sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiaçú.

Journal of Bioenergy and Food Science, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.

GOMES, B. L.; MARTELLI, F. H.; SILVA, W. T. L. DA. Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim- elefante, capim-mombaça, brachiaria, sorgo-Embrapa e bagaço de cana-de-açúcar. **III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management**. Anais...São Pedro/SP: III SIGERA, 2013

GUNASEELAN, V. N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A

review. **Biomass and Bioenergy**, v. 13, n. 1-2, p. 83-114, 1997.

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.

GUTIERREZ, E. C.; XIA, A.; MURPHY, J. D. Can slurry biogas systems be cost effective without subsidy in Mexico? **Renewable Energy**, v. 95, p. 22-30, 2016.

HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Lignocellulosic conversion into value-added products: A review. **Process Biochemistry**, v. 89, p. 110-133, 2020.

HE, C. R.; KUO, Y. Y.; LI, S. Y. Lignocellulosic butanol production from Napier grass using semi-simultaneous saccharification fermentation. **Bioresource Technology**, v. 231, p. 101-108, 2017.

HO, C. Y. *et al.* Development of cellulosic ethanol production process via co-culturing of artificial cellulosomal *Bacillus* and kefir yeast. **Applied Energy**, v. 100, p. 27-32, 2012.

JI, X.; LONG, X. A review of the ecological and socioeconomic effects of biofuel and energy policy recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 41-52, 2016.

JIN, S. *et al.* High-pressure homogenization pretreatment of four different lignocellulosic biomass for enhancing enzymatic digestibility. **Bioresource Technology**, v. 181, p. 270-274, 2015.

JOHANSSON, S.; RYDBERG, T. Is an increased use of biofuels the road to sustainability?: Consequences of the methodological approach. **European Physical Journal Plus**, v. 132, n. 2, p. 1-14, 1 fev. 2017.

KAJINA, W. *et al.* Coupled effect of torrefaction and blending on chemical and energy properties for combustion of major open burned agriculture residues in Thailand. **Renewable Energy**, v. 118, p. 113-121, 2018.

KANG, X. *et al.* The effect of mechanical pretreatment on the anaerobic digestion of Hybrid Pennisetum. **Fuel**, v. 252, n. 4, p. 469-474, 2019.

- KARAGÖZ, P. *et al.* Alkaline peroxide pretreatment of rapeseed straw for enhancing bioethanol production by Same Vessel Saccharification and Co-Fermentation. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 349-357, 2012.
- 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, 2016a.
- KNOLL, J. E. *et al.* Harvest Management of ‘Tifton 85’ Bermudagrass for Cellulosic Ethanol Production. **Bioenergy Research**, v. 7, n. 4, p. 1112-1119, 2014.
- KO, C. H. *et al.* Bioethanol production from recovered napier grass with heavy metals. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 1005-1010, 2017.
- KUANCHA, C. *et al.* Fermentable sugars production from lignocellulosic materials hydrolysis by thermophilic enzymes from *Bacillus subtilis* J12. **Energy Procedia**, v. 138, p. 151-156, 2017.
- KUMAR, S.; GHOSH, P. Sustainable bio-energy potential of perennial energy grass from reclaimed coalmine spoil (marginal sites) of India. **Renewable Energy**, v. 123, p. 475-485, 2018.
- KUMARI, D.; SINGH, R. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, n. 5, p. 877-891, 2018.
- LIMA, M. A. *et al.* Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. **Biotechnology for Biofuels**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2014.
- LÓPEZ-BELLIDO, L.; WERY, J.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J. Energy crops: Prospects in the context of sustainable agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 60, p. 1-12, 2014.
- LUCAS, C. A. Uma Introdução à Lógica *Fuzzy*. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011.
- MANISHA; YADAV, S. K. Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 245, p. 1727-1739, 2017.
- MARANZATO, F. P.; SALERNO, M. S. Integration between research and development: A dynamic capabilities perspective. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 58, n. 5, p. 460-474, 2018.
- MASSI, L. *et al.* Historical-critical pedagogy incorporation in science education: A

dialectic critical analysis of a systematic bibliographic review. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 2, p. 212-255, 2019.

MENEGOL, D. *et al.* Increased release of fermentable sugars from elephant grass by enzymatic hydrolysis in the presence of surfactants. **Energy Conversion and Management**, v. 88, p. 1252-1256, 2014.

MERINO, O. *et al.* Screening of Ionic Liquids for Pretreatment of Taiwan Grass in Q-Tube Minireactors for Improving Bioethanol Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 3, p. 733-742, 2017.

MINMUNIN, J.; LIMPITIPANICH, P.; PROMWUNGKWA, A. Delignification of Elephant Grass for Production of Cellulosic Intermediate. **Energy Procedia**, v. 79, p. 220-225, 2015.

MITHRA, M. G. *et al.* Comparison of ethanol yield from pretreated lignocellulo-starch biomass under fed-batch SHF or SSF modes. **Heliyon**, v. 4, n. 10, e00885, 2018.

MOHAPATRA, S. *et al.* Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 1007-1032, 2017.

MOHAPATRA, S. *et al.* Engineering grass biomass for sustainable and enhanced bioethanol production. **Planta**, v. 250, n. 2, p. 395-412, 2019.

NARINTHORN, R.; CHOORIT, W.; CHISTI, Y. Alkaline and fungal pretreatments for improving methane potential of Napier grass. **Biomass and Bioenergy**, v. 127, e105262, 2019.

NASSEF, A. M. *et al.* Application of *fuzzy* modelling and Particle Swarm Optimization to enhance lipid extraction from microalgae. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, p. 73-79, 2019.

NIEMI, P. *et al.* Production of sugars from grass silage after steam explosion or soaking in aqueous ammonia. **Industrial Crops and Products**, v. 98, p. 93-99, 2017.

OHIMAIN, E. I. A review of the Nigerian bioFuel policy and incentives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 246–256, 2013.

OKOLIE, J. A. *et al.* Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 2145-2169, 2020.

PAULA, P. R. P. *et al.* Composição bromatológica da silagem de capim- elefante BRS Capiaçú com inclusão fubá de milho. **Pubvet**, v. 14, n. 10, a680, p. 1-11, 2020.

PERLATTI, B.; FORIM, M. R.; ZUIN, V. G. Green chemistry, sustainable agriculture

- and processing systems: a Brazilian overview. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 5, p. 1-9, 2014.
- PHITSUWAN, P. *et al.* Structural features and enzymatic digestibility of Napier grass fibre treated with aqueous ammonia. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 32, p. 360-364, 2015.
- PLÁCIDO, J.; IMAM, T.; CAPAREDA, S. Evaluation of ligninolytic enzymes, ultrasonication and liquid hot water as pretreatments for bioethanol production from cotton gin trash. **Bioresource Technology**, v. 139, p. 203-208, 2013.
- PURI, M.; ABRAHAM, R. E.; BARROW, C. J. BioFuel production: Prospects, challenges and feedstock in Australia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 8, p. 6022-6031, 2012.
- PUSPAWATI, S. *et al.* The Production of Bioethanol Fermentation Substrate from *Eucheuma cottonii* Seaweed through Hydrolysis by Cellulose Enzyme. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 3, p. 200-205, 2015.
- RABEMANOLONTSOA, H.; SAKA, S. Various pretreatments of lignocellulosics. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 83-91, 2016.
- RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, p. 696-703, 2015.
- REN, N. Q. *et al.* A review on bioconversion of lignocellulosic biomass to H₂: Key challenges and new insights. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 92-99, 2016.
- RENZHO, A. M. N.; KAMARA, J. K.; TOOLE, M. Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 503-516, 2017.
- ROCHA, A. M. H. *et al.* Prospecção tecnológica do capim elefante e sua relevância como matéria-prima para a produção energética. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 475-499, 2017a.
- ROCHA, J. R. DO A. S. DE C. *et al.* Bioenergetic potential and genetic diversity of elephantgrass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017b.
- ROY, R.; RAHMAN, M. S.; RAYNIE, D. E. Recent advances of greener pretreatment technologies of lignocellulose. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 3, e100035, 2020.

- SAIDUR, R. *et al.* A review on biomass as a Fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.
- SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 185-194, 2009.
- SAWATDEENARUNAT, C. *et al.* Decentralized biorefinery for lignocellulosic biomass: Integrating anaerobic digestion with thermochemical conversion. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 140-147, 2018.
- SCHOLL, A. L. *et al.* Elephant grass pretreated by steam explosion for inducing secretion of cellulases and xylanases by *Penicillium echinulatum* S1M29 solid-state cultivation. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 97-107, 2015a.
- SCHOLL, A. L. *et al.* Ethanol production from sugars obtained during enzymatic hydrolysis of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated by steam explosion. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 228-237, 2015b.
- SHILPI, S. *et al.* Waste to watt: Anaerobic digestion of wastewater irrigated biomass for energy and fertiliser production. **Journal of Environmental Management**, v. 239, n. 8, p. 73-83, 2019.
- SINGH, S. K.; DHEPE, P. L. Isolation of lignin by organosolv process from different varieties of rice husk: Understanding their physical and chemical properties. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 310-317, 2016.
- SKIBA, E. A. *et al.* A technology for pilot production of bacterial cellulose from oat hulls. **Chemical Engineering Journal**, v. 383, e123128, 2020.
- SMITH, A. L. *et al.* Second generation biofuels and bioinvasions: An evaluation of invasive risks and policy responses in the United States and Canada. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 30-42, 2013.
- SURENDRA, K. C.; KHANAL, S. K. Effects of crop maturity and size reduction on digestibility and methane yield of dedicated energy crop. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 187-193, 2015.
- TAKARA, D.; KHANAL, S. K. Green processing of tropical banagrass into biofuel and biobased products: An innovative biorefinery approach. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 1587-1592, 2011.
- TAKARA, D.; KHANAL, S. K. Characterizing compositional changes of Napier grass at different stages of growth for biofuel and biobased products potential. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 103-108, 2015.
- TIMILSENA, Y. P. *et al.* Effect of different pretreatments on delignification pattern

and enzymatic hydrolysability of miscanthus, oil palm biomass and typha grass.

Bioresource Technology, v. 135, p. 82-88, 2013.

ULLAH, K. *et al.* Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 682-698, 2015.

VARFOLOMEEV, S. D.; MOISEEV, I. I.; MYASOEDOV, B. F. Energy carriers from renewable sources: Chemical aspects. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v. 79, n. 4, p. 334-344, 2009.

VASCONCELOS DE ALMEIDA SÁ, Y.; CHIUN WEN, T. Artificial Intelligence (*fuzzy Logic*) for local safety stock forecasting in multinational companies. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.

WEN, B. *et al.* Comparison and evaluation of concurrent saccharification and anaerobic digestion of Napier grass after pretreatment by three microbial consortia. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 102-111, 2015.

WU, M. *et al.* Application of new expansion pretreatment method on agricultural waste. Part I: Influence of pretreatment on the properties of lignin. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 887-895, 2013.

XIE, X. M. *et al.* Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1732-1738, 2011.

YAASHIKAA, P. R. *et al.* Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstocks for remediation of environmental pollutants. **Bioresource Technology**, v. 292, e122030, 2019.

YASUDA, M. *et al.* Ethanol production from non-pretreated napiergrass through a simultaneous saccharification and fermentation process followed by a pentose fermentation with *Escherichia coli* KO11. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 114, n. 2, p. 188-192, 2012.

YASUDA, M. *et al.* Bio-ethanol production through simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of a low-moisture anhydrous ammonia (LMAA)-pretreated napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **SpringerPlus**, v. 3, n. 33, p. 1-8, 2014.

ZABED, H. *et al.* Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 751-774, 2016.

ZHANG, J. *et al.* An optimum combined hydrolysis factor enhances hybrid

Pennisetum pretreatment in bio-conversion. **Cellulose**, v. 26, n. 15, p. 8439-8451, 2019.

CAPÍTULO 2

PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO COM NaOH NO CAPIM-elefante *Pennisetum purpureum*

RESUMO: Políticas globais estão sendo aprimoradas no âmbito de sustentabilidade, para que possa vir a reduzir significativamente a emissão de gases do efeito estufa, um dos pilares é a produção dos biocombustíveis e o capim-elefante (CE) (*Pennisetum purpureum*), apresenta-se como uma fonte alternativa promissora de matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração (EtOH2G). Para que isso ocorra, uma operação química deve ocorrer antes desta fermentação, o pré-tratamento. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o pré-tratamento hidrotérmico alcalino de hidróxido de sódio (NaOH) no capim-elefante, em diferentes temperaturas e concentrações sobre os teores de lignina e celulose. Foi utilizado como matéria-prima, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), cultivar BRS Capiáçu, produzido no campo da Fazenda Brizantha, distrito de São Miguel localizado no município de Toledo/PR. Avaliou-se a quantificação do capim-elefante *in natura* e pré-tratados com NaOH em um Delineamento Inteiramente Casualizado, no esquema fatorial 5x5 (5 níveis de temperatura e 5 níveis de concentrações sobre os teores de lignina e celulose) em quadruplicata. Utilizou-se o software STATISTICA™, versão 8.0, da STATSOFT, a um nível de significância nas análises estatísticas de 1% ($\alpha = 0,01$). Os resultados indicaram um aumento na concentração de celulose associado a uma diminuição do teor de lignina utilizando o pré-tratamento do capim-elefante com NaOH, sendo os melhores resultados (54,5% de celulose e 9,4% de lignina) obtidos a uma concentração de NaOH de 1,5% e uma temperatura de 100°C. Conclui-se que, dentre os ensaios analisados, os teores de celulose variaram de 35,0 a 54,5%. Em relação à lignina, os materiais apresentaram uma variação de 9,4 a 23,6% de componente. Com isso, confirma que o uso do NaOH como substância para o pré-tratamento da biomassa é promissor para a produção de EtOH2G, onde apresentou um alto teor de celulose e principalmente foi evidenciado a grande remoção da lignina o qual está relacionado em uma estrutura complexa à celulose, dificultando a acessibilidade das celulasas a este carboidrato.

PALAVRA-CHAVE: *Pennisetum purpureum*. Pré-tratamento. Hidróxido de sódio.

ALKALINE NaOH PRETREATMENT OF ELEPHANT GRASS *Pennisetum purpureum*

ABSTRACT: With global warming resulting from the emission of greenhouse gases, due to the burning of fossil fuels, world policies have pointed to the need for the production of biofuels and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) presents itself as an alternative source promising raw material for the production of second-generation ethanol. For this to occur, a chemical operation must take place before this fermentation, the pre-treatment. Given the above, the objective of this work was to evaluate the alkaline hydrothermal pretreatment of sodium hydroxide (NaOH) in elephant grass, at different temperatures and concentrations on the contents of lignin and cellulose. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.), cultivar BRS Capiáçu, produced in the Fazenda Brizantha field, district of São Miguel located in the city of Toledo/PR, was used as raw material. The quantification of elephant grass *in natura* and pre-treated with NaOH was evaluated in a 2⁵ factorial experimental design (two

variables and five levels). The STATISTICA™ software, version 8.0, from STATSOFT was used, at a significance level of 1% in the statistical analysis ($\alpha = 0.01$). The results indicated an increase in the cellulose concentration associated with a decrease in the lignin content using the pre-treatment of elephant grass with NaOH, with the best results (54.5% of cellulose and 9.4% of lignin) obtained in condition of the central point of the factorial design 2^5 , which corresponds to a NaOH concentration of 1.5% and a temperature of 100°C. It is concluded that, among the analyzed tests, the cellulose contents ranged from 35.0 to 54.5%. In relation to lignin, the materials presented a variation of 9.4 to 23.6% of component. Thus, it confirms that the use of NaOH as a substance for the pre-treatment of biomass is promising for the production of 2G EtOH, where it presented a high cellulose content and mainly evidenced the great removal of lignin which is related in a structure complex to cellulose, hindering the accessibility of cellulases to this carbohydrate.

KEYWORDS: *Pennisetum purpureum*. Pretreatment. Sodium hydroxide.

2.1 INTRODUÇÃO

O Produto Interno Bruto (PIB) é um dos indicadores que apresentam o crescimento de uma nação (CAETANO *et al.*, 2019). Mesmo com a pandemia ainda sem controle no mundo, alguns países como o Brasil vêm apresentando números crescentes neste indicador econômico (MENELAU *et al.*, 2019).

Além do Brasil, diversos outros países também estão conseguindo se “reerguer” perante esta doença que assolou o mundo em apenas 12 meses, um dos países é a China (WRIGHT, 2006). Este crescimento global gera uma alta demanda energética, principalmente com o uso de energias não renováveis como os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) (ATTARD *et al.*, 2020). E com este consumo excessivo, aumenta cada vez mais os danos ao meio ambiente, com a liberação de gás carbônico em altas dosagens, dentre outros fatores (GHOLIZADEH *et al.*, 2019).

Surgindo assim, a necessidade de pesquisas que busquem novas fontes energéticas, principalmente renováveis, e uma opção viável são os biocombustíveis (BERA *et al.*, 2019). Os combustíveis chamados de renováveis que apresentam benefícios diretos e indiretos para uma nação, gerando empregos, reduzindo o volume de gás carbônico no meio ambiente considerado um dos precursores do efeito estufa mundial (CHARLTON *et al.*, 2009).

Os biocombustíveis mais conhecidos são: o biodiesel e o bioetanol Tran *et al.* (2011), sendo que o bioetanol pode ser produzido em 3 gerações diferentes (GOMES *et al.*, 2013). O etanol de primeira geração EtOH1G pode ser obtido a partir de diversas

matérias-primas diretas como a cana-de-açúcar, o de segunda geração EtOH2G são produzidos a partir principalmente da biomassa e a terceira geração EtOH3G produzido por macro e microalgas (BENSAH *et al.*, 2015).

A biomassa é o nome dado à massa biológica base da produção de energia a partir da decomposição de resíduos orgânicos Wang *et al.* (2017), pode ser de origem animal ou vegetal como por exemplo o capim-elefante.

Tendo como nome científico *Pennisetum purpureum*, o capim-elefante (CE) (Neto *et al.*, 2019), é uma espécie de clima tropical que apresenta metabolismo do tipo C₄ (alta taxa fotossintética) e principalmente apresenta altas produtividades na faixa de 45 toneladas de massa seca por hectare por ano (ton MS ha⁻¹ ano⁻¹), enquanto a cana-de-açúcar e o milho produz aproximadamente 21 ton ha⁻¹ (açúcar e bagaço) e 13 ton ha⁻¹ (grãos e fogões), respectivamente (JENNEWEIN *et al.*, 2017).

O capim-elefante além da alta produtividade, é considerada uma planta que responde com produções no verão a cada 6 meses, em regiões chuvosas e com temperaturas altas pode-se colher até 4 vezes ao ano Godinho *et al.* (2019), entretanto para a produção do E2G é necessário principalmente utilizar um modelo de pré-tratamento nas biomassas.

Pré-tratamento é um processo industrial o qual deve ser aplicado um modelo de desestruturação no material lignocelulósico da célula vegetal, podendo ser químico, físico e biológico, com intuito de remover o máximo de lignina e conseqüentemente aumentar a área superficial da celulose facilitando a digestão enzimática (MINMUNIN *et al.*, 2015).

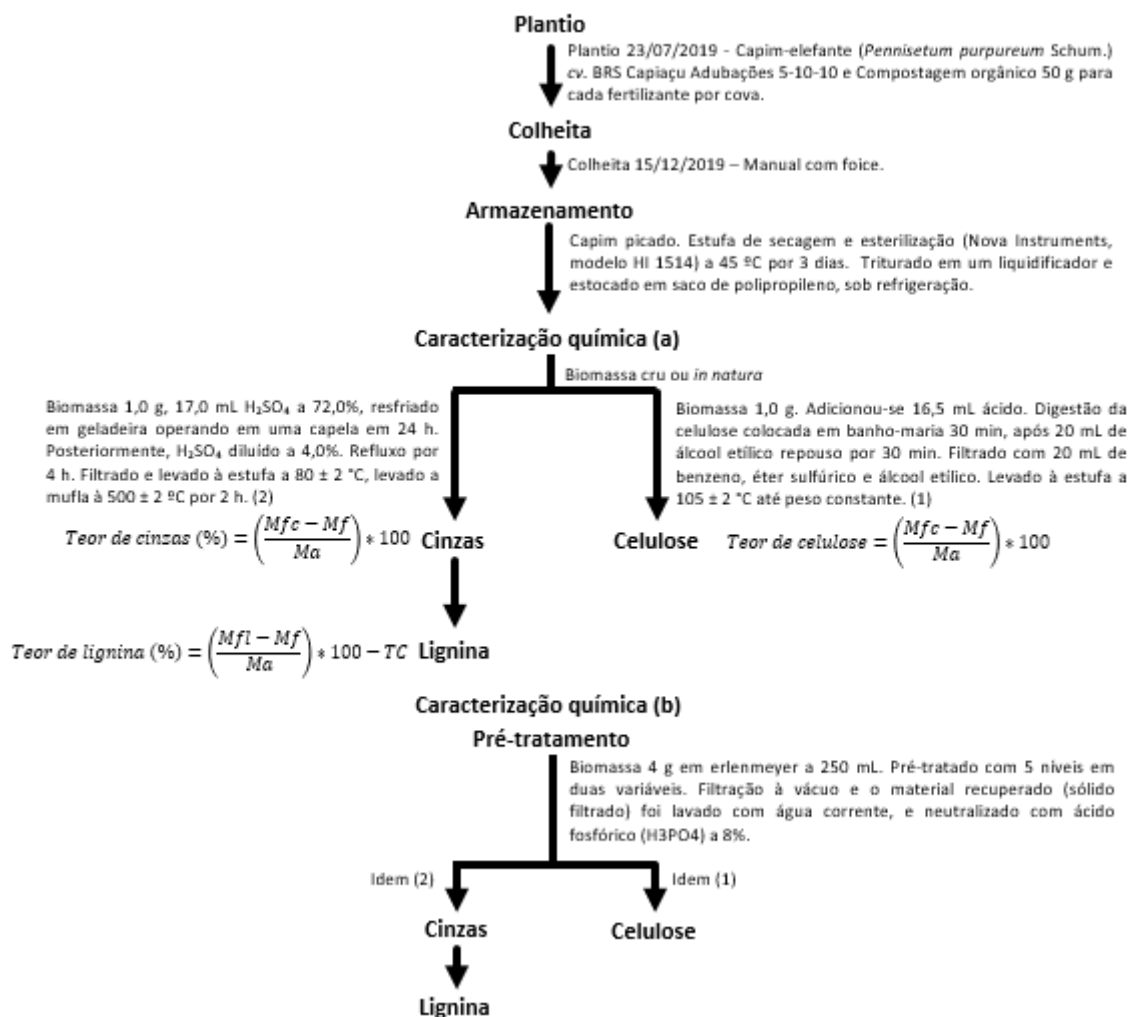
Materiais celulósicos ou lignocelulósicos são termos genéricos e utilizados para descrever as estruturas internas da maioria dos vegetais (CHANDEL *et al.*, 2010). A composição dos materiais lignocelulósicos depende do tipo de vegetal e do seu período vegetativo, sendo esta a matéria-prima mais abundante para a humanidade com possibilidade de adição de valor para produção de bioenergia (TRAN *et al.*, 2011).

Com isso, utilizou-se como hipótese da pesquisa qual a diferença na exposição da celulose em uma biomassa cru ou *in natura* para uma pré-tratada com hidróxido de sódio. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o pré-tratamento hidrotérmico alcalino de hidróxido de sódio (NaOH) no capim-elefante, em diferentes temperaturas e concentrações sobre os teores de lignina e celulose.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta um fluxograma com a sequência dos procedimentos experimentais realizados neste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma das metodologias experimentais para a caracterização química a partir de pré-tratamento de NaOH do capim-elefante



Fonte: Autor

Foi realizado o plantio do CE (*Pennisetum purpureum* Schum) no dia 23 de julho de 2019, da cultivar BRS Capiçu. 15 dias antes do plantio foi aplicado na área o fertilizante 5-10-10 (NPK) com uma compostagem orgânica totalizando 200 kg por hectare.

Não foi realizada nenhuma aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas na área, pois, não ocorreu nenhuma infestação de plantas daninhas (antes do plantio a área foi capinada com uma enxada simples), insetos e fungos.

A colheita ocorreu no mês de dezembro de 2019, sendo realizado uma colheita manual, utilizando uma foice simples. Após a colheita, o CE picado e colocado em bandejas e acondicionou-os em uma estufa de secagem e esterilização (Nova Instruments, modelo HI 1514) no laboratório da Universidade Estadual do Oeste do Paraná a 45 °C por 3 dias.

Posterior a secagem, o material foi triturado em um liquidificador simples até reduzir pequenas partículas de biomassa e com isso foram colocados em um saco plástico e levado a geladeira para manter as qualidades físicas e químicas do material.

Na sequência a biomassa foi caracterizada quimicamente qualificando a porcentagem de celulose e lignina, este material foi chamado quantificação química da biomassa *in natura*. Por fim, foi realizado pré-tratamento no CE utilizando hidróxido de sódio (NaOH) Delineamento Inteiramente Casualizado, no esquema fatorial 5x5 (5 níveis de temperatura e 5 níveis de concentrações sobre os teores de lignina e celulose), para que pudesse quantificar quimicamente a biomassa utilizando o NaOH, para ambas as qualificações químicas, o experimento foi realizado em quadruplicatas (4 repetições).

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO REALIZADO

2.2.1.1 CAPIM-ELEFANTE (BIOMASSA)

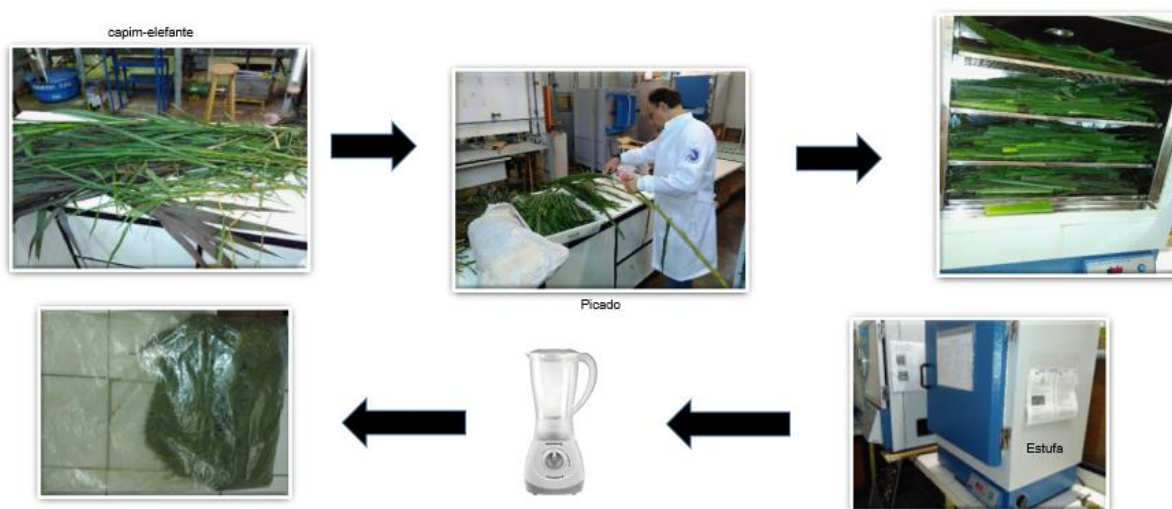
Foi utilizado como matéria-prima, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), cultivar BRS Capiaçú, produzido no campo da Fazenda Brizantha, distrito de São Miguel localizado no município de Toledo/PR, Brasil (24°81'26.0" S 53°86'12.1" W, a 417 m de altitude), o solo não necessitou de correções com calcário e/ou com uma adubação no plantio de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) específica, pois apresentou as seguintes características nutricionais resultante da análise de solo: K = 1,06 cmol_c dm⁻³; Ca = 10,81 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,10 cmol_c dm⁻³; P = 49,40 mg dm⁻³ pelo extrator de Mehlich⁻¹; Al⁺ = 0,2 cmol_c dm⁻³; H + Al = 3,71 cmol_c dm⁻³; pH em H₂O = 5,54 e saturação de base = 60,00%. Mesmo não necessitando de correções pontuais, foi aplicado aos 25 dias após o transplante das mudas 50 g por muda do fertilizante 5-10-10 e de esterco bovino em forma de compostagem na mesma dosagem.

Os canteiros eram de 8,0 m², o plantio das mudas do capim-elefante ocorreu no dia 23 de julho de 2019, com um espaçamento recomendado de 0,50 m entre plantas e entre linhas, conforme Paula *et al.* (2020), a colheita foi realizada no dia 15 de dezembro de 2019.

As análises foram feitas em folhas de plantas novas com menos de 1 ano de plantio Godinho *et al.* (2019), relataram que folhas mais jovens contêm maior concentração de celulose.

Após a colheita, o capim foi levado ao laboratório, picado com tesoura simples, colocado em bandejas de alumínio e foi levado a estufa de secagem e esterilização (Nova Instruments, modelo HI 1514) a 45 °C por 3 dias. Em seguida foi triturado em um liquidificador e estocado em saco de polipropileno, sob refrigeração em uma geladeira, até o uso, utilizando a metodologia de Siqueira *et al.* (2016), conforme a Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das metodologias experimentais para o armazenamento da biomassa



Fonte: Autor

2.2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

2.2.2.1 QUANTIFICAÇÃO DO CAPIM-ELEFANTE

Para a quantificação do capim-elefante foi usado o método de Van Soest (1963) adaptado por Siqueira *et al.* (2016), para determinar as quantidades de fibras de celulose e lignina.

2.2.2.2 DETERMINAÇÃO DA CELULOSE

O capim-elefante foi analisado de acordo com o método de Siqueira *et al.* (2016), onde pesou-se 1,0 g da amostra da biomassa e adicionou-se 16,5 mL de uma solução de reagente ácido, previamente preparado com ácido acético glacial a 72,73%, água destilada 18,18% e ácido nítrico 9,09%, ou seja, 12 mL de ácido acético glacial, 3 mL de água destilada e 1,5 mL de ácido nítrico. Posteriormente foi realizada a etapa de digestão da celulose, onde a amostra foi colocada em banho-maria, em ebulição, por 30 min. Após a digestão foi adicionado 20 mL de álcool etílico deixando-os em repouso por 30 min.

Na sequência, os materiais foram filtrados, onde adicionou-se 20 mL de benzeno e 20 mL de éter sulfúrico e lavado com 20 mL de álcool etílico. O conteúdo filtrado foi levado à estufa a 105 ± 2 °C até peso constante. O teor de celulose foi calculado utilizando a Equação 1:

$$\text{Teor de celulose} = \left(\frac{M_{fc} - M_f}{M_a} \right) * 100 \quad (1)$$

Sendo:

M_{fc} = massa funil + celulose (g);

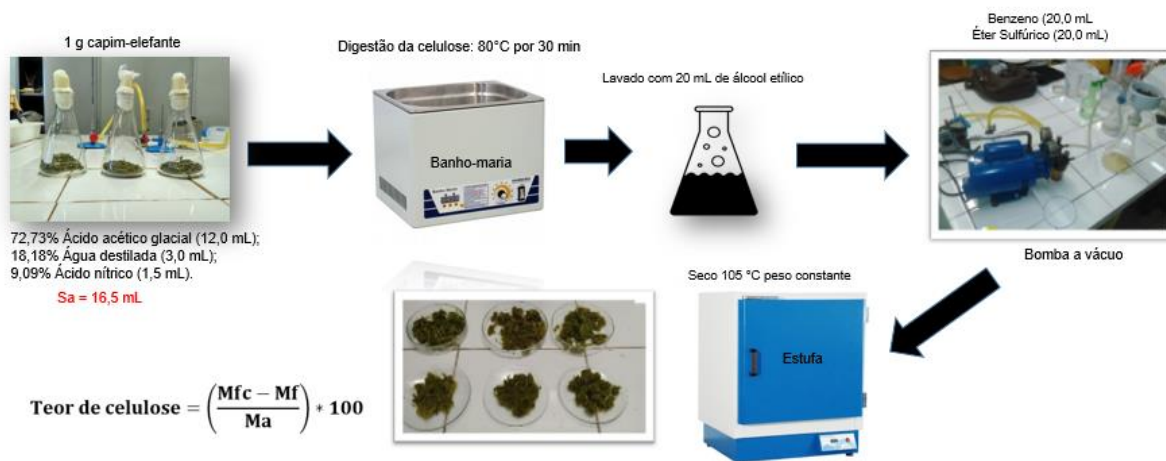
M_f = massa do funil (g);

M_a = Massa da amostra (g);

Teor de celulose (%)

Metodologia da análise da celulose (%) apresentada em forma de fluxograma na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de análise da celulose (%)



Fonte: Autor

2.2.2.3 DETERMINAÇÃO DA LIGNINA

A determinação da lignina seguiu o método proposto e adaptado por (SIQUEIRA *et al.*, 2016). Adicionou-se 1,0 g da biomassa tratada e transferiu-se cada amostra para um béquer onde adicionou-se 17,0 mL de ácido sulfúrico a 72,0%, resfriado em geladeira de 10 a 15 °C antes do uso. Agitou-se vigorosamente o material com um bastão de vidro, até homogeneização, formando uma pasta. As amostras foram mantidas em uma capela para deixar em digestão por 24 h. Posteriormente, o ácido sulfúrico que estava na digestão com o capim foi diluído para 4,0% adicionando-se 289,0 mL de água destilada. O conteúdo foi transferido para um balão de fundo redondo de 500 mL e mantido em refluxo por 4 h. O conteúdo do balão foi filtrado e levado à estufa a 80 ± 2 °C até massa constante. Após a secagem em estufa, o material levado a mufla à 500 ± 2 °C por 2 h. A amostra foi pesada e incinerada, para que pudesse determinar o teor de cinzas a partir da Equação 2 e conseqüentemente onde se calculou o teor de lignina presente no capim pela Equação 3.

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = \left(\frac{M_{fc} - M_f}{M_a} \right) * 100 \quad (2)$$

$$\text{Teor de lignina (\%)} = \left(\frac{M_{fl} - M_f}{M_a} \right) * 100 - TC \quad (3)$$

Sendo:

M_f = massa do funil (g);

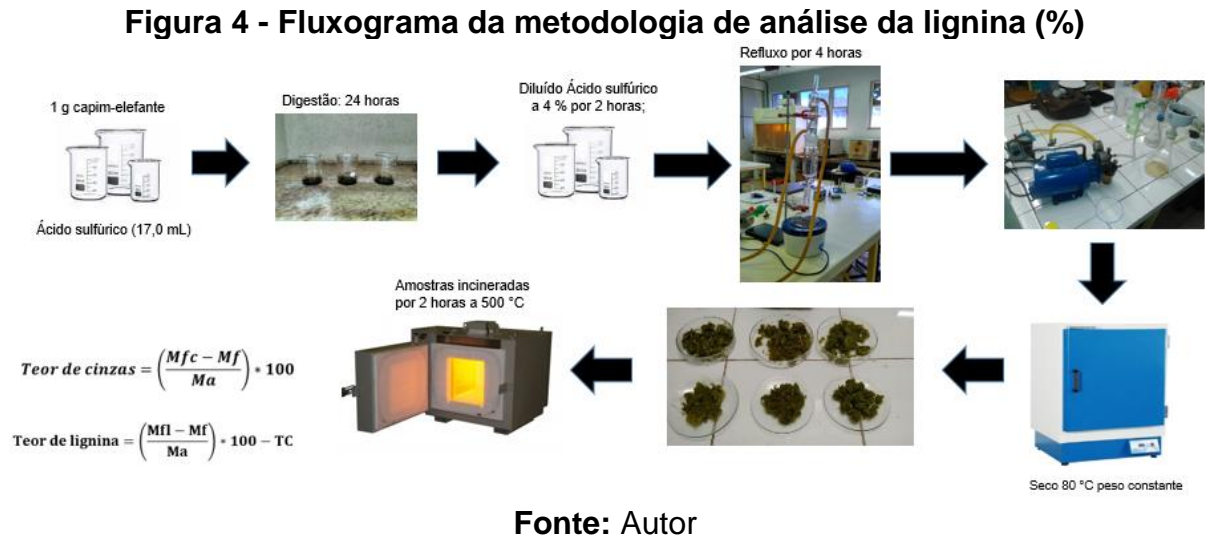
M_a = Massa da amostra (g);

M_{fl} = massa funil + lignina após a secagem na estufa (g);

M_{fc} = massa do funil + cinzas após a calcinação em mufla (g);

Teor de lignina (%)

Metodologia da análise da lignina (%) apresentada em forma de fluxograma na Figura 4.



2.2.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CAPIM-ELEFANTE CRU OU *IN NATURA*

Utilizando como base de partida da caracterização química do capim-elefante, foi avaliado a porcentagem de celulose e lignina antes do pré-tratamento, chamado de *in natura*, para que pudesse discorrer as perdas da lignina no processo de deslignificação e a maior exposição da celulose na célula da biomassa.

2.2.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CAPIM-ELEFANTE COM O PRÉ-TRATAMENTO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH)

O tratamento com NaOH foi realizado de acordo com procedimento descrito e adaptado por (SIQUEIRA *et al.*, 2016). Cada amostra analisada possuía 4 g de biomassa seca e triturada. Esta amostra era colocada em um erlenmeyer de 250 mL.

As dosagens de NaOH por amostra e as temperaturas aplicadas em cada vidraria é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentração e volume de NaOH aplicados nas amostras com o capim-elefante

Concentração (%) NaOH	Volume (mL) NaOH
0,5	10,0
1,0	20,0
1,5	30,0

2,0	40,0
2,5	50,0

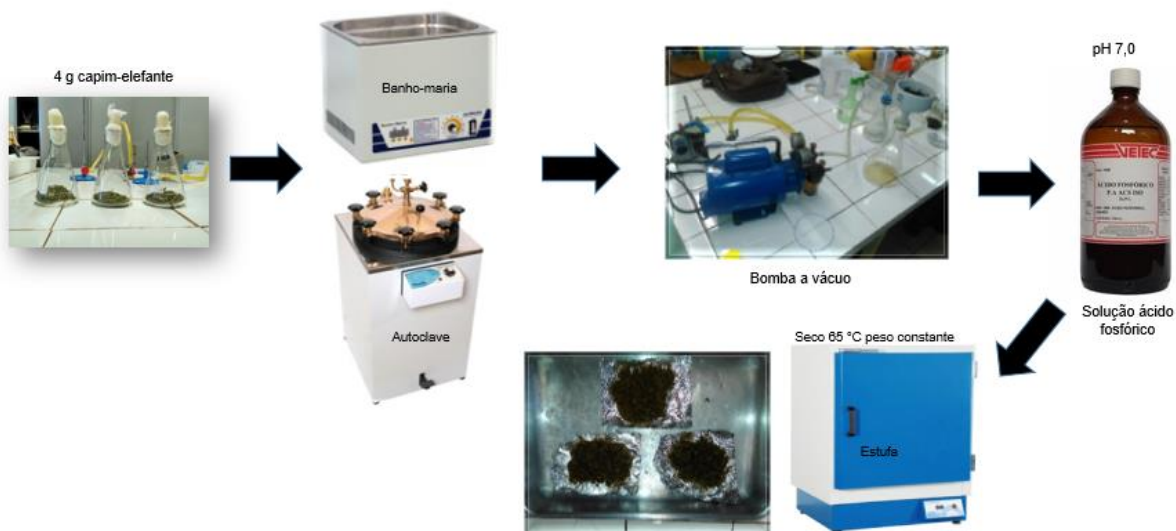
Fonte: Autor

A Tabela 1, apresenta os valores utilizados nas concentrações de NaOH e seu respectivo volume em mL no experimento.

A Tabela 2, apresenta os valores utilizados nas concentrações e temperaturas do DIC (5 x 5), sendo as concentrações de 0,5 a 2,5% de NaOH e as temperaturas de 80 a 120°C, sendo utilizado dois equipamentos diferentes para algumas temperaturas, quando as amostras precisavam aquecer de 80 a 100°C elas eram colocadas em banho-maria por 30 min. Para as temperaturas de 110 a 120°C, amostras foram colocadas na autoclave também por 30 min.

Após as amostras terem sido pré-tratadas, as suspensões foram submetidas à filtração à vácuo e o material recuperado (sólido filtrado) foi lavado com água corrente, e neutralizado com ácido fosfórico (H_3PO_4) a 8% e, levado a estufa de secagem e esterilização (Nova Instruments, modelo HI 1514) a 65 °C por 2 dias, a metodologia foi adaptada de Krishna *et al.* (2010), conforme Figura 5.

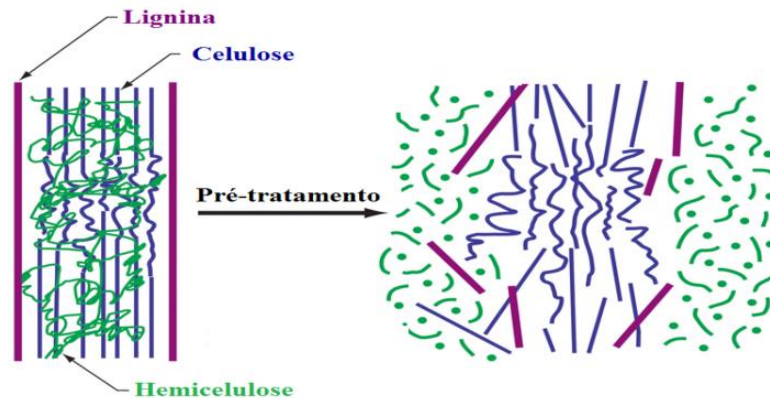
Figura 5 - Fluxograma da metodologia do pré-tratamento com NaOH na biomassa



Fonte: Autor

Por isso, o objetivo do pré-tratamento é desestruturar o componente de lignina e interromper a estrutura cristalina da celulose para aumentar a acessibilidade da enzima de hidrólise, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Fracionamento dos constituintes da biomassa após pré-tratamento



Fonte: Godinho (2019)

Foi utilizado um Delineamento Inteiramente Casualizado, no esquema fatorial 5x5 (5 níveis de temperatura e 5 níveis de concentrações sobre os teores de lignina e celulose), com quatro repetições no software ACTION® ACDPRO e ACDQLT ambos na versão 3.0.0, no qual foram definidos os níveis das variáveis de acordo com a matriz pré-estabelecida com duas variáveis com cinco níveis em ambas, conforme a Tabela 2. Com um nível de significância nas análises estatísticas de 1% ($\alpha = 0,01$). Foi também calculada a análise de variância (ANOVA) do planejamento de modo a verificar a adequabilidade ou o grau de ajuste da regressão obtida.

Tabela 2 - Valores codificados e reais das variáveis independentes em um DIC fatorial (5x5)

X ₁ (C) - %	-1,41421	-1,00000	0,00000	1,00000	1,41421
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
X ₂ (T) - °C	-1,41421	-1,00000	0,00000	1,00000	1,41421
	80	90	100	110	120

Legenda: **C:** concentração de NaOH; **T:** temperatura

Fonte: Autor

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA CRU OU *IN NATURA*

A Tabela 3, apresenta os resultados da caracterização química do capim-elefante antes do pré-tratamento, ou seja, *in natura*.

Tabela 3 - Caracterização do capim-elefante cru ou *in natura*

Caracterização	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Celulose (%)	32,0	32,5	31,5	31,2
Lignina (%)	20,0	20,3	19,7	19,4

Fonte: Autor

A Tabela 3 apresenta a composição físico-química do capim-elefante em termos de teor de celulose e de lignina tanto. Esta diferença entre a quantidade de lignina maior que a celulose se dá porque, existe uma clivagem de ligações de éter e uma hidrólise das ligações internas da lignina, assim como as ligações lignina-hemicelulose (NETO *et al.*, 2013).

Wanderley *et al.* (2013) quantificaram a porcentagem de celulose e lignina utilizando o bagaço da cana-de-açúcar como biomassa, em estágio inicial da planta, conseguiram resultados de 42,8 e 22,1%, respectivamente. Reafirmando os resultados apresentados na Tabela, com a utilização do capim-elefante.

Guilherme *et al.* (2015) em um trabalho de pesquisa avaliando a porcentagem de celulose e lignina na cana-de-açúcar, conseguiram resultados próximos aos apresentados na Tabela, pois com poucas variações, com uma diferença de celulose a $\pm 2,0\%$ e para a lignina $\pm 3,5\%$, esta diferença pode ser descrita na literatura, porque os autores estavam utilizando uma biomassa diferente ou até mesmo o tipo de solo, etc.

Sânches *et al.* (2019) analisaram a composição química do capim-elefante em relação a porcentagem de celulose e lignina em plantas de 30 a 90 dias pós época de colheita, onde obtiveram 10,52 e 14,83% de lignina para folha e caule, respectivamente e, 41,55 e 49,08% de celulose, na folha e no caule. Estes valores estão próximos aos valores encontrados nas análises desta pesquisa apresentada na Tabela.

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA COM O PRÉ-TRATAMENTO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH)

As Tabelas (4 e 5), apresentam os resultados após o pré-tratamento no capim-elefante com NaOH, nas cinco temperaturas de (80 a 120°C) e concentrações diferentes (0,5 a 2,5%), para a quantificação da celulose na (Tabela 4) e na lignina na (Tabela 5).

Tabela 4 - Resumo da interação Temperatura Fator A x Concentração de NaOH Fator B para caracterização da celulose (%)

Variáveis	Fator B1	Fator B2	Fator B3	Fator B4	Fator B5
Fator A1	35,0 Ed	36,3 Dc	38,3 Eb	38,7 Ea	38,4 Eb
Fator A2	39,1 Dc	39,4 Cb	38,6 Dd	39,5 Dab	39,7 Da
Fator A3	52,4 Ad	52,4 Ad	54,5 Aa	53,3 Ab	52,7 Ac
Fator A4	47,7 Bcd	47,6 Bd	48,9 Ba	47,8 Bc	48,3 Bb
Fator A5	46,3 Cb	47,8 Ba	42,4 Cd	45,3 Cc	46,4 Cb
Média	44,1	44,7	44,5	44,9	45,1

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna e letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha. **Fator A1:** Temperatura 80°C; **Fator A2:** Temperatura 90°C; **Fator A3:** Temperatura 100°C; **Fator A4:** Temperatura 110°C e **Fator A5:** Temperatura 120°C. **Fator B1:** Concentração NaOH 0,5%; **Fator B2:** Concentração NaOH 1,0%; **Fator B3:** Concentração NaOH 1,5%; **Fator B4:** Concentração NaOH 2,0% e **Fator B5:** Concentração NaOH 2,5%.

Fonte: Autor

Tabela 5 - Resumo da interação Temperatura Fator A x Concentração de NaOH Fator B para caracterização da lignina (%)

Variável	Fator B1	Fator B2	Fator B3	Fator B4	Fator B5
Fator A1	21,1 Bc	23,1 Ba	22,2 Ab	23,1 Aa	21,5 Abc
Fator A2	23,6 Aa	24,4 Aa	19,0 Bb	18,1 Bc	18,5 Bbc
Fator A3	9,4 Ec	10,0 Eab	10,2 Ea	9,5 Ec	9,7 Ebc
Fator A4	11,5 Db	12,4 Da	11,4 Db	12,1 Da	12,3 Da
Fator A5	14,1 Cb	14,5 Cab	14,8 Ca	14,0 Cb	14,1 Cb
Média	15,9	16,9	15,5	15,3	15,2

Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna e letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha. **Fator A1:** Temperatura 80°C; **Fator A2:** Temperatura 90°C; **Fator A3:** Temperatura 100°C; **Fator A4:** Temperatura 110°C e **Fator A5:** Temperatura 120°C. **Fator B1:** Concentração NaOH 0,5%; **Fator B2:** Concentração NaOH 1,0%; **Fator B3:** Concentração NaOH 1,5%; **Fator B4:** Concentração NaOH 2,0% e **Fator B5:** Concentração NaOH 2,5%.

Fonte: Autor

Foram avaliados os efeitos da temperatura e da concentração no pré-tratamento alcalino com NaOH sobre os conteúdos de celulose e lignina no capim-elefante, onde os melhores resultados apresentados para celulose é a maior exposição da % da celulose e em contrapartida para a lignina o menor valor, pois o mesmo foi deslignificado, representado na temperatura a 100°C.

Conforme dados apresentados por Minmunin *et al.* (2015) utilizando também uma concentração de NaOH a 4,0% para o pré-tratamento no capim-elefante, obtiveram melhores resultados tanto para celulose quanto para lignina, entre 60,2 a 68,5% e 6,5 a 8,2%, respectivamente.

A biomassa utilizada neste estudo apresentou inicialmente 32,0% de lignina sem aplicar qualquer pré-tratamento, em um experimento em paralelo. Após o pré-tratamento com NaOH os valores médios da lignina ficaram entre 9,47 a 23,6%. Assim, no que se refere a deslignificação do capim, para o menor valor (9,47%) a perda foi de 22,53% e para o maior valor (23,6%) 8,4%.

Confirmando com os dados apresentados nas Tabelas (3 e 4), com os melhores resultados de celulose a 54,5% e 9,4% de lignina Phitsuwan *et al.* (2016) utilizaram o capim-elefante também como biomassa e pré-tratando com NaOH a 2,0% com uma temperatura de 121°C, o mesmo removeu 84,1% de lignina, partindo de 21,3% na biomassa *in natura*, resultou em 3,3% de lignina.

Gouveia *et al.* (2009) trabalhando com pré-tratamento de NaOH no bagaço de cana-de-açúcar a 1,0% de NaOH a 15, 30 e 60 min obtiveram valores de celulose entre 34,7 a 35,3%, respectivamente. No mesmo experimento, a deslignificação da biomassa foi de 74,0%, chegando a níveis de 7,0% final de lignina, comparando com os resultados das Tabelas (4 e 5), o pré-tratamento com capim-elefante foi mais eficiente na disponibilidade de celulose e menos eficiente para a deslignificação da lignina em relação a cana-de-açúcar.

A Tabela 6 apresenta a composição estrutural do capim-elefante considerando a porcentagem final de celulose e de lignina.

Tabela 6 - Composição estrutural do capim-elefante

Amostra	Celulose (%)	Lignina (%)	Referência
<i>In natura</i>	22,6	19,4	(ELIANA <i>et al.</i> , 2014)
<i>In natura</i>	32,0	20,0	Este trabalho
Hidróxido de sódio	31,2	6,8	(ELIANA <i>et al.</i> , 2014)
Hidróxido de sódio	54,5	9,4	Este trabalho

Fonte: Adaptado autor

Os resultados da Tabela 6, reforçam os dados da pesquisa, pois ao pré-tratar o capim-elefante com NaOH, foi obtido 54,5% de celulose e 9,4% de lignina final. Quando comparado a mesma biomassa *in natura*, o resultado da exposição da celulose foi maior para esta pesquisa, em relação a literatura, sendo 32,0% e 20,0%, respectivamente.

Na Tabela 7, é possível visualizar a composição química de diferentes amostras de capim-elefante. De acordo com a literatura citada, os teores de celulose estão na faixa de 36,4 a 75,6%, a lignina de 0,00 a 53,1% (PENSRI *et al.*, 2016).

Tabela 7 - Caracterização do capim-elefante *in natura* e pré-tratado com NaOH a 1,0; 2,0 e 3,0%

Amostra	Celulose (%)	Lignina (%)	Referência
<i>In natura</i>	36,4	0,0	(PENSRI <i>et al.</i> , 2016)
Alcalino NaOH 1,0 %	64,0	53,1	(PENSRI <i>et al.</i> , 2016)
Alcalino NAOH 2,0 %	69,3	28,1	(PENSRI <i>et al.</i> , 2016)
Alcalino NAOH 3,0 %	75,6	13,9	(PENSRI <i>et al.</i> , 2016)

Fonte: Adaptado autor

Entretanto, é possível verificar uma diferença entre os teores de celulose e lignina nas diferentes temperaturas e concentrações. Isso pode ser confirmado por meio da análise de variância (ANOVA) dos experimentos, conforme as Tabelas (8 e 9).

Tabela 8 - Análise de variância para efeitos principais e interações celulose (%)

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P
Fator A	4	330,97	82,744	52266**	< 0,0001
Fator B	4	1,2558	0,3139	198,31**	< 0,0001
Fator A x Fator B	16	11,667	0,7292	460,61**	< 0,0001
Resíduo	50	0,0792	0,0016	–	–
Total	74	343,98	–	–	–

Legenda: **Fator A:** Temperatura 80 a 120°C; **Fator B:** Concentração 0,5 a 2,5%. **GL:** Graus de liberdade; **SQ:** Soma dos quadrados; **QM:** Quadrado médio; **F:** Teste F; **P:** p-valor.

** diferença de 1% probabilidade

Fonte: Autor

Tabela 9 - Análise de variância para efeitos principais e interações lignina (%)

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P
Fator A	4	7,2884	1,8221	6556,4**	< 0,0001
Fator B	4	0,0723	0,0181	65,069**	< 0,0001
Fator A x Fator B	16	0,2335	0,0146	52,509**	< 0,0001
Resíduo	50	0,0139	0,0003	–	–
Total	74	7,6081	–	–	–

Legenda: **Fator A:** Temperatura 80 a 120°C; **Fator B:** Concentração 0,5 a 2,5%. **GL:** Graus de liberdade; **SQ:** Soma dos quadrados; **QM:** Quadrado médio; **F:** Teste F; **P:** p-valor.

** diferença de 1% probabilidade

Fonte: Autor

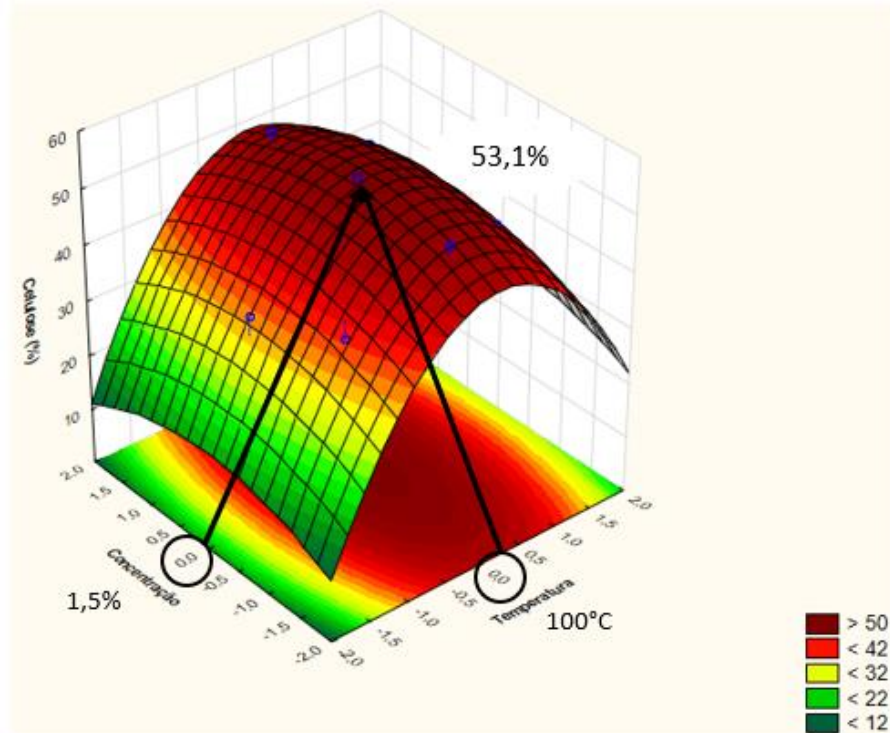
Conforme as Tabelas (8 e 9), a ANOVA apresenta os resultados do p-valor do planejamento experimental fatorial 2⁵ das variáveis temperatura e concentração, onde para todas as temperaturas, todas as concentrações e a interação entre ambas os resultados tiveram diferenças significativas (p-valor < 0,01).

Com os resultados, o autor pode estimar uma adequada validação tanto para a análise química da biomassa para a celulose quanto para a lignina, com isso estes valores podem fortalecer as avaliações realizadas.

A validação dos dados apresentou resultados satisfatórios, pois ambas as variáveis e a sua correlação diferiram pelo teste aplicado nos níveis da celulose e da lignina, assim utilizando o coeficiente de determinação (R^2), em 0,89 (temperatura); 0,92 (concentração) e 0,90 (correlação temperatura x concentração) para celulose. Já para a lignina 0,91 (temperatura); 0,95 (concentração) e 0,92 (correlação temperatura x concentração). Amorin et al. (2018), apresentam resultados satisfatórios na modelagem estatística quando a determinação do coeficiente de análise de regressão estiver mais próxima de 1.

A Figura 7 apresenta a superfície de resposta obtida para a porcentagem de celulose. Observa-se um comportamento com um pico de concentração de celulose no ponto central do DIC fatorial, nos melhores pontos a 100 °C e 1,5%, na temperatura e concentração respectivamente.

Figura 7 - Superfície de resposta da celulose para diferentes níveis de temperatura (T) e da concentração de NaOH (C) obtidas pelo DIC fatorial (5 x 5)



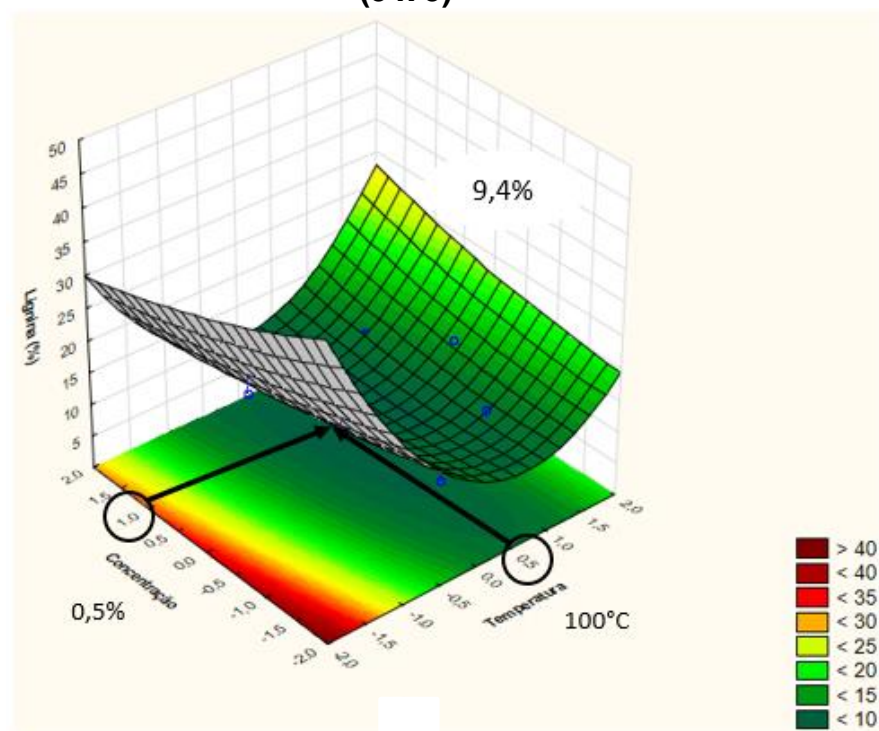
Fonte: Autor

De modo geral, comparando-se os resultados obtidos de celulose nos ensaios com os seus respectivos controles verificaram-se valores mais altos para os ensaios do ponto central (0,0 e 0,0), ou seja, nestes ensaios obtiveram-se valores mais altos de celulose em relação aos demais ensaios. Nos demais ensaios verificou-se perda de celulose, o que pode ser decorrente de combinações inadequadas das variáveis temperatura e concentração de NaOH.

A celulose apresentou a média de 53,1% para as diferentes temperaturas e concentrações de NaOH. Neste mesmo sentido, utilizando o capim-elefante como biomassa pré-tratando com NaOH a 1% nas temperaturas específicas de 80°C Godinho *et al.* (2019) verificaram que os valores médios de celulose ficaram em torno de 56,9%. Estes valores estão próximos dos resultados apresentados no ponto máximo da Figura 7.

A Figura 8 apresenta a superfície de resposta obtida para a % de lignina. Observa-se um que os melhores resultados são nos níveis mais baixos de lignina, ou seja, comprovando a deslignificação final com a utilização do planejamento experimental no ponto central do ensaio.

Figura 8 - Superfície de resposta da lignina para diferentes níveis de temperatura, em (°C) e da concentração de NaOH (%) obtidas pelo DIC fatorial (5 x 5)



Fonte: Autor

A Figura 8, demonstra a superfície de resposta dos resultados de lignina, ou seja, comprovou que quanto menor a (%) lignina melhor, comprovando o resultado está de acordo com a análise estatística, pois o resultado está muito próximo do ponto central.

Portanto, o melhor resultado em termos de liberação da celulose do capim-elefante foi aquele realizado com NaOH a uma temperatura de 100°C e uma concentração de 1,5%, com 53,1%, já para a remoção de lignina o melhor resultado foi quando utilizado uma temperatura de 100°C e uma concentração de 0,5%, obtendo-se uma média de 9,4%.

2.4 CONCLUSÕES

Os resultados indicaram um aumento na concentração de celulose associado a uma diminuição do teor de lignina utilizando o pré-tratamento do capim-elefante com NaOH, sendo os melhores resultados (54,5% de celulose e 9,4% de lignina) obtidos na condição do ponto central do planejamento fatorial 2⁵, que corresponde a concentração de NaOH de 1,5% e uma temperatura de 100°C. O emprego do DIC fatorial (5 x 5) contribuiu para uma otimização rápida e eficiente do processo e forneceu informações importantes sobre a interação entre as variáveis.

Conclui-se que, dentre os ensaios analisados, os teores de celulose variaram de 35,0 a 54,5%. Em relação à lignina, os materiais apresentaram uma variação de 9,4 a 23,6% de componente. Com isso, confirma que o uso do NaOH como substância para o pré-tratamento da biomassa é promissor para a produção de EtOH2G, onde apresentou um alto teor de celulose e principalmente foi evidenciado a grande remoção da lignina o qual está relacionado em uma estrutura complexa à celulose, dificultando a acessibilidade das celulasas a este carboidrato.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN-FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. Ouro Fino, MG: Agronômica Ceres, 573p., 2018.
- ATTARD, T. M.; CLARK, J. H.; MCELROY, C. R. Recent developments in key biorefinery areas. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 21, p. 64–74, 1 fev. 2020.
- BENSAH, E. C. *et al.* African perspective on cellulosic ethanol production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1-11, 2015.
- BERA, T. *et al.* Influence of select bioenergy by-products on soil carbon and microbial activity: A laboratory study. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 1354-1363, 2019.
- CAETANO, F. A. DE O.; ARAÚJO, J. A. DE; KHAN, A. S. Fatores condicionantes do desenvolvimento socioeconômico na América Latina: uma análise sob a perspectiva do PIB e dos indicadores globais de governança. **Interações** (Campo Grande), p. 95-109, 2019.
- CHANDEL, A. K. *et al.* Key drivers influencing the commercialization of ethanol-based biorefineries. **Journal of Commercial Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 239-257, 2010.
- CHARLTON, A. *et al.* The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1147-1161, 2009.
- ELIANA, C. *et al.* Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, n. 6, p. 41-47, 2014.
- GHOLIZADEH, M.; HU, X.; LIU, Q. A mini review of the specialties of the bio-oils produced from pyrolysis of 20 different biomasses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. 8, e109313, 2019.
- GODINHO, E. Z. *et al.* Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino-oxidativo sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiapu. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.
- GOMES, B. L.; MARTELLI, F. H.; SILVA, W. T. L. DA. **Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim-elefante, capim-mombaça, brachiaria, sorgo-Embrapa e bagaço de cana-de-açúcar**. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. Anais... São Pedro/SP: III SIGERA, 2013
- GOUVEIA, E. R. *et al.* Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.

GUILHERME, A. A. *et al.* Evaluation of composition characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 1, p. 23-33, 2015.

JENNEWEIN, S. P. *et al.* Four Biofuel Species' Responses to Periodic Flooding and High Water Tables on a Florida Histosol. **Bioenergy Research**, v. 10, n. 3, p. 688-699, 2017.

MENELAU, S. *et al.* contexto dos BRICS: reflexões e interfaces. **Cad. EBAPE.BR** (Rio de Janeiro), v. 17, n. 4, p. 1094-1114, 2019.

MINMUNIN, J.; LIMPITIPANICH, P.; PROMWUNGKWA, A. Delignification of Elephant Grass for Production of Cellulosic Intermediate. **Energy Procedia**, v. 79, p. 220-225, 2015.

NETO, J. M. *et al.* Study of kinetic parameters in a mechanistic model for enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse subjected to different pretreatments. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 36, n. 11, p. 1579-1590, 2013.

NETO, J. V. E. *et al.* Structural and productive characteristics in intraspecific and interspecific hybrids of elephantgrass. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 20, n. 1-11, e-46788, 2019.

PAULA, P. R. P. *et al.* Composição bromatológica da silagem de capim- elefante BRS Capiáçu com inclusão fubá de milho. **Pubvet**, v. 14, n. 10, a680, p. 1-11, 2020.

PENSRI, B. *et al.* Potential of Fermentable Sugar Production from Napier cv. Pakchong 1 Grass Residue as a Substrate to Produce Bioethanol. **Energy Procedia**, v. 89, p. 428-436, 2016.

PHITSUWAN, P.; SAKKA, K.; RATANAKHANOKCHAI, K. Structural changes and enzymatic response of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) stem induced by alkaline pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 247-256, 2016.

SÂNCHEZ, S. S. C. *et al.* Light interception, chemical, and productive characteristics of elephant grass subjected to different cutting intervals. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2351-2362, 2019.

SIQUEIRA, L. N. DE *et al.* Rendimento de hidrólise e produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim elefante. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 3, n. 4, p. 191-196, 2016.

TRAN, N. *et al.* Optimizing biofuel production: An economic analysis for selected biofuels feedstock production in Hawaii. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1756-1764, 2011.

WANDERLEY, M. C. DE A. *et al.* Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 448-453, 2013.

WANG, S. *et al.* Ultrasound assisted alkaline pretreatment to enhance enzymatic saccharification of grass clipping. **Energy Conversion and Management**, v. 149, p. 409-415, 2017.

WRIGHT, L. Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 8-9, p. 706-714, 2006.

CAPÍTULO 3

OTIMIZAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO DO CAPIM-ELEFANTE COM O USO DA LÓGICA FUZZY

RESUMO: Com a crescente demanda mundial de energia, a busca por novas fontes primárias como as energias renováveis estão cada vez mais em alta, dentro destas fontes é a biomassa por ser uma fonte abundante em todo o globo terrestre. As biomassas possuem lignina, hemicelulose e celulose. Para maior eficiência destas células, a biomassa precisa passar por um pré-tratamento, que podem diferentes substâncias químicas, temperaturas, etc., o que pode onerar o processo de produção de bioetanol. Por isso, as indústrias estão utilizando alguns modelos matemáticos que otimizam os processos internos, como a lógica *fuzzy*, pois ela utiliza valores linguísticos ao invés de numéricos, o que proporciona a adição da incerteza no problema, melhor compreensão por parte de não especialistas, respostas mais rápidas e menores custos computacionais. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi otimizar as variáveis independentes no pré-tratamento alcalino com NaOH no capim-elefante para quantificar a porcentagem de celulose e da lignina utilizando a lógica *fuzzy*. Para os valores de entrada deste sistema foram utilizadas as variáveis de concentração de NaOH e temperatura e para as saídas as porcentagens de celulose e lignina. A interpretação do uso da lógica *fuzzy* neste experimento utilizando dados reais de laboratório, conseguiu otimizar qual melhor concentração de NaOH e qual melhor temperatura em um pré-tratamento alcalino com NaOH para quantificar a celulose e a lignina, as concentrações entre 1,15 a 2,15%, com temperaturas entre 100,0 a 102,5°C para a maior exposição da celulose e 0,0 a 1,15% para as concentrações e temperaturas entre 85,5 a 91,5°C para deslignificação.

PALAVRAS-CHAVE: *Pennisetum purpureum*. Lógica nebulosa. Lógica *fuzzy*. Hidróxido de sódio.

OPTIMIZATION OF ELEPHANT GRASS PRE-TREATMENT USING FUZZY LOGIC

ABSTRACT: With the growing global demand for energy, the search for new primary sources such as Renewable Energy is increasingly on the rise, within these sources is biomass or being an abundant source across the globe. Biomass contain lignin, hemicellulose and cellulose. For greater efficiency of these cells, the biomass needs to go through a pre-treatment, which can be different chemical substances, temperatures, etc., which can burden the bioethanol production process. Therefore, industries are using some mathematical models that optimize internal processes, such as *fuzzy* logic, as it uses linguistic values instead of numerical values, which provides the addition of uncertainty in the problem, better understanding by non-specialists, answers faster and lower computational costs. Given the above, the objective of this work was to optimize the independent variables in the alkaline pre-treatment with NaOH in elephant grass to quantify the percentage of cellulose and lignin using *fuzzy* logic. For the input values of this system, the variables of NaOH concentration and temperature were used, and for the outputs the percentages of cellulose and lignin. The interpretation of the use of *fuzzy* logic in this experiment using real laboratory data, managed to optimize the best NaOH concentration and the best temperature in an alkaline pre-treatment with NaOH to quantify cellulose and lignin, concentrations between 1.15 to 2 0.15%, with temperatures between 100.0 to 102.5°C for the highest

exposure of cellulose and 0.0 to 1.15% for concentrations and temperatures between 85.5 to 91.5°C for delignification.

KEYWORDS: *Pennisetum purpureum*. Fuzzy logic. Sodium hydroxide.

3.1 INTRODUÇÃO

A produção de energia mundial caminha para ser alterada nos próximos anos Godoy *et al.* (2020). Dentre as fontes principais, existem as energias produzidas por recursos não renováveis (petróleo, gás, etc.) Saidur *et al.* (2019) e, as renováveis (água, sol, vento, biomassa, etc.) (GODINHO *et al.*, 2019).

Uma fonte se destaca neste meio é a biomassa, que é abundante em todo o globo terrestre Caneppele *et al.* (2020), esta pode ser provinda de lixo, plantas, materiais descartáveis da indústria, etc.

A biomassa por ser uma matéria de resíduo de algum processo inicial com a planta, por isso, ela é formada por estruturas lignocelulósicas Jin *et al.* (2016), esta estrutura é um complexo de lignina, hemicelulose e celulose (GODINHO *et al.*, 2019). A celulose dentro do processo de produção de energia como o bioetanol é a que mais se destaca, pois quanto maior a exposição da celulose em uma biomassa maior a eficiência energética do processo Cai *et al.* (2016), em contrapartida a lignina deve ter uma porcentagem menor, sendo chamado este processo de deslignificação (RUEDA *et al.*, 2016).

Este processo de deslignificação e maior exposição da celulose na célula é chamado de pré-tratamento (NIKOLIC *et al.*, 2017). Dentro do pré-tratamento existem vários modelos e diversos produtos que podem ser utilizados na indústria, como o processo biológico, o físico e o químico, dentre outros Zabed *et al.* (2016), as substâncias também são diversas como o sulfato ferroso, o peróxido de hidrogênio, o hidróxido de sódio, sendo este último o mais utilizado e com as melhores respostas nos processos químico (KIM *et al.*, 2016).

Nos pré-tratamentos algumas variáveis podem ser manipuladas para que possa encontrar a melhor resposta para aumentar a celulose e diminuir a lignina Godinho *et al.* (2019), como a concentração, a temperatura, o tempo de exposição da biomassa, etc. (HALDAR e PURKAIT, 2020b).

Existem modelos matemáticos que otimizam os processos, como a lógica *fuzzy*, que é uma teoria utilizada de duas formas: apresentar resultados de dados da

lógica clássica para uma que tenha uma linguagem acessível e, quando se aplica esta lógica o modelo é formado por conjuntos *fuzzy*, onde é aplicada diversas teorias e tecnologias para processar as informações imprecisas, por exemplo, em processos de tomada de decisão (CANEPPELE *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi otimizar as variáveis independentes no pré-tratamento alcalino com NaOH no capim-elefante para quantificar a porcentagem de celulose e da lignina utilizando a lógica *fuzzy*.

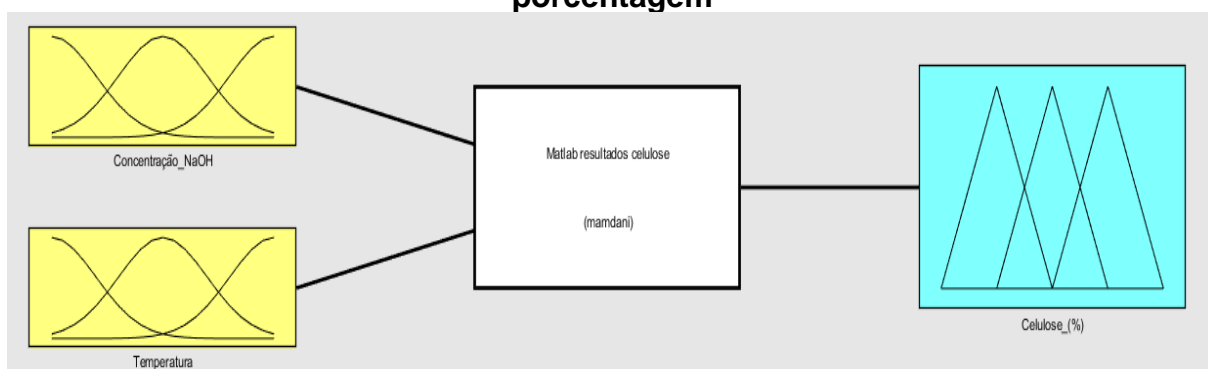
3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de entrada e saída (*input* e *output*) foram coletados do experimento da própria tese, referente ao capítulo 2, onde foi selecionado o capim-elefante como biomassa. Nele foi aplicado um pré-tratamento alcalino com NaOH, com 2 variáveis independentes (concentração e temperatura) em 5 níveis, sendo para a concentração de 0,5 a 2,5% e para a temperatura de 80 a 120°C, quantificando assim as características lignocelulósicas conforme o autor (GODINHO *et al.*, 2019).

3.2.1 MODELAGEM FUZZY

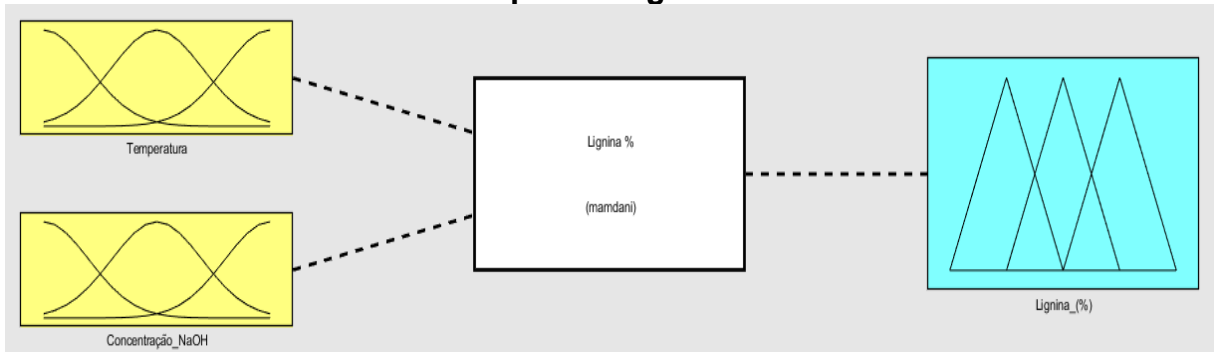
Para a criação de um sistema baseado em regras *fuzzy*, foi necessário definir um processador de entrada ou *input* com um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída ou *output*, que gera um número real como saída. As Figuras (1 e 2) mostram os sistemas baseado em regras *fuzzy* proposto para a celulose e lignina, respectivamente.

Figura 1 - Sistema baseado em regras *fuzzy* para determinação da celulose, em porcentagem



Fonte: Autor

Figura 2 - Sistema baseado em regras *fuzzy* para determinação da lignina, em porcentagem



Fonte: Autor

As variáveis de entrada do sistema baseado em regras *fuzzy* proposto foram a “Concentração” e “Temperatura” no pré-tratamento alcalino da biomassa do capim-elfante, tanto para a celulose quanto para a lignina. Para a variável de concentração, foram definidas 9 funções de pertinência denominadas para a concentração: “CNaOH1”, “CNaOH2”, “CNaOH3”, “CNaOH4”, “CNaOH5”, “CNaOH6”, “CNaOH7”, “CNaOH8”, “CNaOH9”, já para a temperatura, 5 funções de pertinência: “T1”, “T2”, “T3”, “T4”, “T5”.

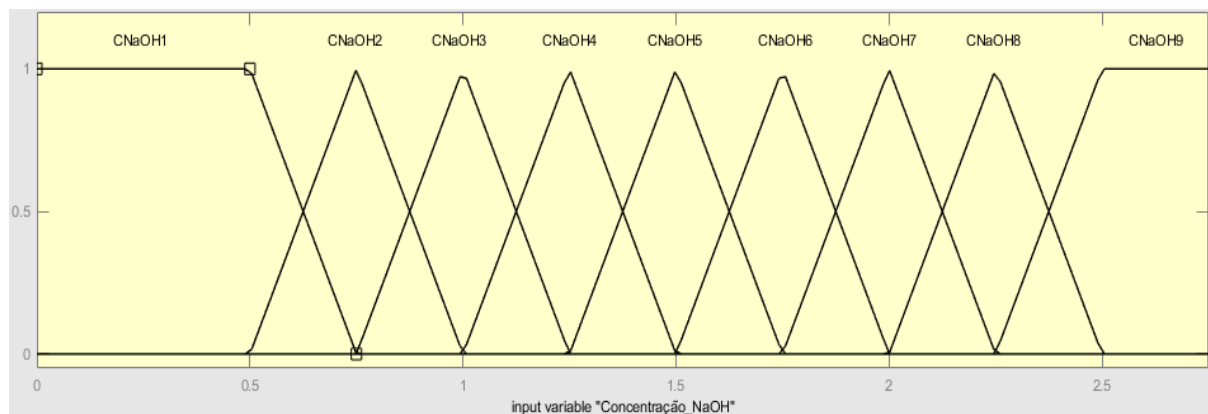
A Tabela 1 e a Figura 3, apresentam os valores de pertinência da variável de entrada para a concentração de NaOH (%) para a saída da celulose e lignina, ambos em porcentagem.

Tabela 1 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada - Concentração de NaOH

Conjuntos <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
[-70 0 0,5 0,75]	Trapezoidal	CNaOH1
[0,5 0,75 1,0]	Triangular	CNaOH2
[0,75 1,0 1,25]	Triangular	CNaOH3
[1,0 1,25 1,5]	Triangular	CNaOH4
[1,25 1,5 1,75]	Triangular	CNaOH5
[1,5 1,75 2,0]	Triangular	CNaOH6
[1,75 2,0 2,25]	Triangular	CNaOH7
[2,0 2,25 2,5]	Triangular	CNaOH8
[2,25 2,5 2,75 70]	Trapezoidal	CNaOH9

Fonte: Autor

Figura 3 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* da variável de entrada – Concentração de NaOH



Fonte: Autor

Observando os valores de pertinência da Tabela 1, juntamente com a Figura 3, o range de concentração foi definido entre 0,0 a 2,75%, ou seja, descrito no software [0,0 2,75]. Estes valores de pertinência foram estruturados em função dos dados reais do experimento em laboratório, onde os 5 níveis foram divididos em 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25 e 2,5% de NaOH.

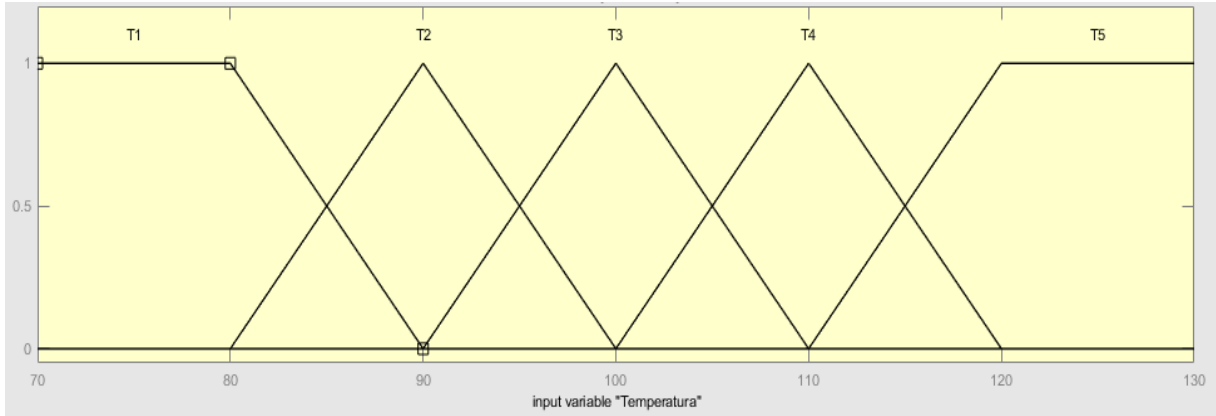
A Tabela 2 e a Figura 4, apresentam os valores de pertinência da variável de entrada para a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) com as saídas da celulose e da lignina, ambos em porcentagem.

Tabela 2 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada - Temperatura

Conjuntos <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
[-2000 70 80 90]	Trapezoidal	T1
[80 90 100]	Triangular	T2
[90 100 110]	Triangular	T3
[100 110 120]	Triangular	T4
[110 120 130 2000]	Trapezoidal	T5

Fonte: Autor

Figura 4 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* da variável de entrada – Temperatura



Fonte: Autor

Conforme apresentado os valores de pertinência da Tabela 2, juntamente com a Figura 4, definiu-se que o range de temperatura é entre 70,0 a 130,0°C, ou seja, descrito no software [70,0 130,0]. Estes valores de pertinência foram estruturados em função dos dados reais do experimento em laboratório, onde os 5 níveis foram divididos em 80,0; 90,0; 100,0; 110,0 e 120,0°C de temperatura.

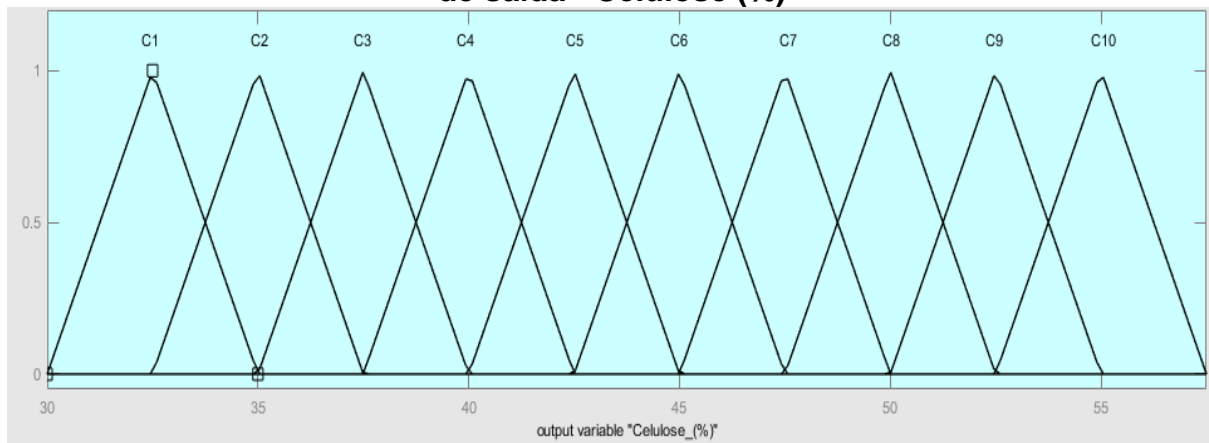
Foram definidas duas variáveis em sistemas separados, uma a celulose e outra a lignina. A primeira variável de saída do sistema *fuzzy*, foi a celulose, onde gerou um número real no intervalo [30,0 57,5], estes valores foram selecionados do experimento real praticado no laboratório, tendo como maior valor de exposição da celulose a 54,47% e o menor 35,0%. As funções de pertinência (10) desta variável foram todas do tipo triangulares, sendo que os conjuntos “C1”, “C2”, “C3”, “C4”, “C5”, “C6”, “C7”, “C8”, “C9” e “C10”, conforme a Tabela 3 e a Figura 5.

Tabela 3 - Definição das funções de pertinência da variável de saída - Celulose (%)

Conjuntos <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
[30 32,5 35]	Triangular	C1
[32,5 35 37,5]	Triangular	C2
[35 37,5 40]	Triangular	C3
[37,5 40 42,5]	Triangular	C4
[40 42,5 45]	Triangular	C5
[42,5 45 47,5]	Triangular	C6
[45 47,5 50]	Triangular	C7
[47,5 50 52,5]	Triangular	C8
[50 52,5 55]	Triangular	C9
[52,5 55 57,5]	Triangular	C10

Fonte: Autor

Figura 5 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* da variável de saída - Celulose (%)



Fonte: Autor

Conforme apresentado os valores de pertinência da Tabela 3, juntamente com a Figura 5, o range de temperatura é entre 30,0 a 57,5%, ou seja, descrito [30,0 57,5]. Estes valores de pertinência foram estruturados em função dos resultados de celulose, em porcentagem do experimento, com o menor e o maior valor, 35,0 e 55,0%, respectivamente.

A segunda variável de saída do sistema *fuzzy* foi a lignina, em porcentagem, o que gerou um número real no intervalo [9,0 25,0], também retirado dos resultados reais aplicados em laboratório, tendo como a maior deslignificação 9,0% e a menor deslignificação 25,0%. As funções de pertinência (16) desta variável foram todas do tipo triangulares, pois se ajustou melhor no modelo aplicado, sendo que os conjuntos “L1”, “L2”, “L3”, “L4”, “L5”, “L6”, “L7”, “L8”, “L9”, “L10”, “L11”, “L12”, “L13”, “L14”, “L15” e “L16”, conforme a Tabela 4 e a Figura 6.

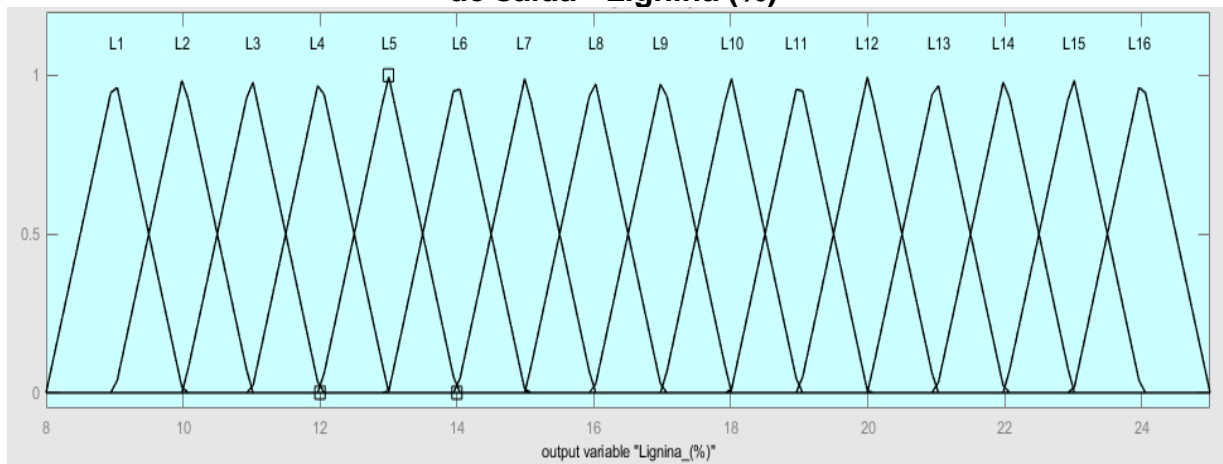
Tabela 4 - Definição das funções de pertinência da variável de saída - Lignina (%)

Conjuntos <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
[8 9 10]	Triangular	L1
[9 10 11]	Triangular	L2
[10 11 12]	Triangular	L3
[11 12 13]	Triangular	L4
[12 13 14]	Triangular	L5
[13 14 15]	Triangular	L6
[14 15 16]	Triangular	L7
[15 16 17]	Triangular	L8
[16 17 18]	Triangular	L9

[17 18 19]	Triangular	L10
[18 19 20]	Triangular	L11
[19 20 21]	Triangular	L12
[20 21 22]	Triangular	L13
[21 22 23]	Triangular	L14
[22 23 24]	Triangular	L15
[23 24 25]	Triangular	L16

Fonte: Autor

Figura 6 - Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* da variável de saída - Lignina (%)



Fonte: Autor

Conforme apresentado os valores de pertinência da Tabela 4, juntamente com a Figura 6, o range de temperatura é entre 9,0 a 25,0%, ou seja, descrito [9,0 25,0]. Estes valores de pertinência foram estruturados em função dos resultados de lignina, em porcentagem do experimento, com o menor e o maior valor, 9,0 e 25,0%, respectivamente.

Para a obtenção da base de regras do sistema *fuzzy*, considerou-se as 25 possibilidades entre ambas as pertinências, criando assim, um modelo (5x5) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das duas variáveis de entrada. A combinação foi realizada correlacionando as pertinências da concentração com as pertinências da temperatura em cada pertinência das saídas (celulose e lignina). A Tabela 5 exhibe os pontos de cada variável assim considerada e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas.

Tabela 5 - Combinações das variáveis de entrada gerando pontos nas variáveis de saída dos conjuntos *fuzzy* para a geração da Base de Regras

[°C]	Temperatura	[%]	Concentração	Celulose (%) Matlab	Lignina (%) Matlab
------	-------------	-----	--------------	---------------------	--------------------

T1	80	CNaOH1	0,50	C1	L13
T1	80	CNaOH2	0,75	C3	L14
T1	80	CNaOH3	1,00	C3	L15
T1	80	CNaOH4	1,25	C4	L14
T1	80	CNaOH5	1,50	C3	L14
T1	80	CNaOH6	1,75	C3	L14
T1	80	CNaOH7	2,00	C4	L15
T1	80	CNaOH8	2,25	C3	L14
T1	80	CNaOH9	2,75	C4	L13
T2	90	CNaOH1	0,50	C4	L15
T2	90	CNaOH2	0,75	C4	L16
T2	90	CNaOH3	1,00	C4	L16
T2	90	CNaOH4	1,25	C3	L13
T2	90	CNaOH5	1,50	C3	L10
T2	90	CNaOH6	1,75	C3	L10
T2	90	CNaOH7	2,00	C4	L10
T2	90	CNaOH8	2,25	C4	L11
T2	90	CNaOH9	2,75	C4	L11
T3	100	CNaOH1	0,50	C9	L1
T3	100	CNaOH2	0,75	C9	L2
T3	100	CNaOH3	1,00	C9	L2
T3	100	CNaOH4	1,25	C10	L2
T3	100	CNaOH5	1,50	C10	L2
T3	100	CNaOH6	1,75	C10	L2
T3	100	CNaOH7	2,00	C10	L1
T3	100	CNaOH8	2,25	C10	L2
T3	100	CNaOH9	2,75	C9	L2
T4	110	CNaOH1	0,50	C7	L3
T4	110	CNaOH2	0,75	C7	L4
T4	110	CNaOH3	1,00	C7	L5
T4	110	CNaOH4	1,25	C8	L4
T4	110	CNaOH5	1,50	C8	L5
T4	110	CNaOH6	1,75	C8	L4
T4	110	CNaOH7	2,00	C7	L4
T4	110	CNaOH8	2,25	C8	L4
T4	110	CNaOH9	2,75	C8	L5
T5	120	CNaOH1	0,50	C6	L6
T5	120	CNaOH2	0,75	C6	L6
T5	120	CNaOH3	1,00	C7	L7
T5	120	CNaOH4	1,25	C6	L7
T5	120	CNaOH5	1,50	C5	L7
T5	120	CNaOH6	1,75	C5	L6
T5	120	CNaOH7	2,00	C6	L5
T5	120	CNaOH8	2,25	C6	L6
T5	120	CNaOH9	2,75	C7	L6

Fonte: Autor

Os dados de pertinência de saída foram determinados em relação aos valores reais calculados em relação ao pré-tratamento alcalino de NaOH na biomassa do capim-elefante. Minmunin *et al.* (2015) apresentaram dados em resultados de pesquisa, classificando os valores de celulose e lignina, entre 30,0 a 57,5% para a celulose e 9,0 a 25,0% para a lignina. Utilizando os resultados reais com os resultados de pesquisa literárias, o modelo foi discriminado, assim:

- Se T1 e CNaOH1, então para a pertinência de saída da celulose é C1;

- Se T1 e CNAOH2, então para a pertinência de saída da celulose é C3;
- Se T1 e CNAOH3, então para a pertinência de saída da celulose é C3;
- Se T1 e CNAOH4, então para a pertinência de saída da celulose é C4;
- Se T1 e CNAOH5, então para a pertinência de saída da celulose é C3;
- Se T1 e CNAOH6, então para a pertinência de saída da celulose é C3;
- Se T1 e CNAOH7, então para a pertinência de saída da celulose é C4;
- Se T1 e CNAOH8, então para a pertinência de saída da celulose é C3.
- Se T1 e CNAOH9, então para a pertinência de saída da celulose é C4...

Foi empregado como método de inferência o de Mandani para o cálculo do valor numérico da variável de saída.

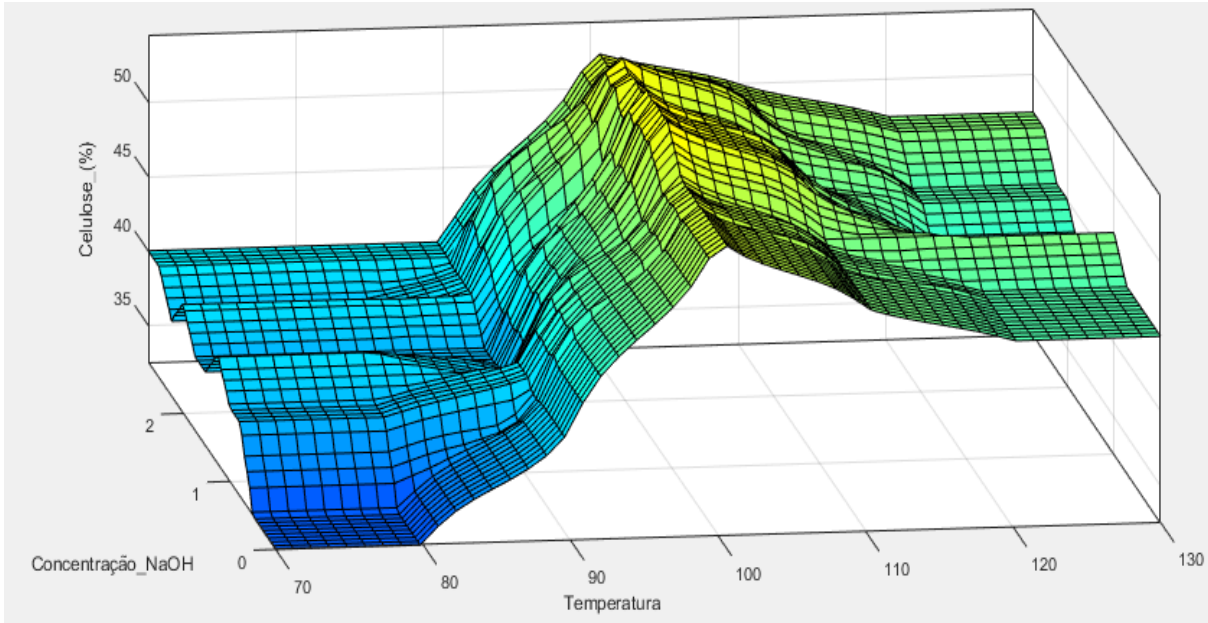
Foi utilizado a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software MATLAB® 7.0, Copyright 1984-2004 The MathWorks Inc., foi possível criar um sistema baseado em regras *fuzzy* computacionalmente, sendo também determinada uma superfície e um mapa de contorno de representação do sistema.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 OTIMIZAÇÃO DA CELULOSE

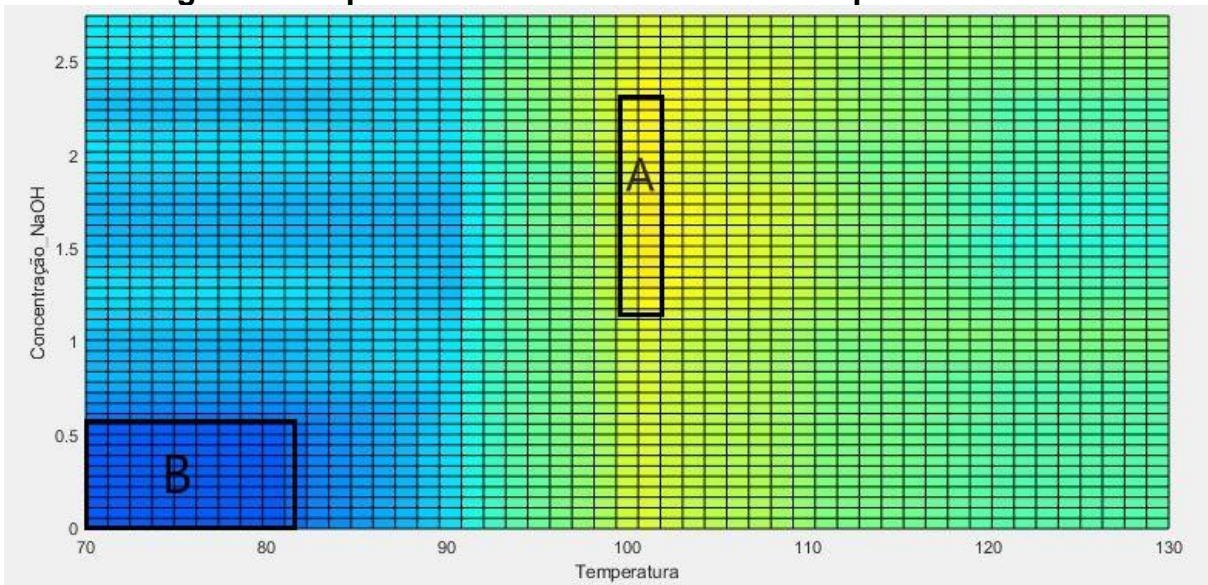
A Figura 7 apresenta a superfície de resposta da celulose como uma solução do sistema difuso pela Inferência de Mamdani Método e com mapa de contorno ilustrado na Figura 8.

Figura 7 - Resposta otimizada pelo conjunto *fuzzy* na celulose em 3D



Fonte: Autor

Figura 8 - Mapa de contorno da celulose da superfície difusa



Fonte: Autor

A Figura 7 identifica a região no plano a concentração x temperatura que, estabelece as taxas mais altas e mais baixas para o resultado *fuzzy* na celulose. Demonstrando assim, uma excelente ferramenta para um especialista possa avaliar qual melhor concentração e temperatura o mesmo deve trabalhar para que possa aumentar a exposição da celulose, buscando menor custo para uma maior rentabilidade na operação.

Assim, observando na Figura 7 a região **A** representa as melhores condições em uma reação de pré-tratamento alcalino com NaOH variando a concentração e a temperatura. Destacando neste cenário a concentração entre 1,15 a 2,15% com as temperaturas entre 100,0 a 102,5°C e, quando se aumenta o volume do NaOH na reação as melhores temperaturas estão entre 105,0 a 110,0°C, resultando assim, uma alta eficiência na futura produção de etanol de segunda geração. Scholl *et al.* (2015) apresentaram dados de uma experimentação, onde a alta eficiência na produção do bioetanol está diretamente relacionado a maior exposição da celulose em uma célula de biomassa.

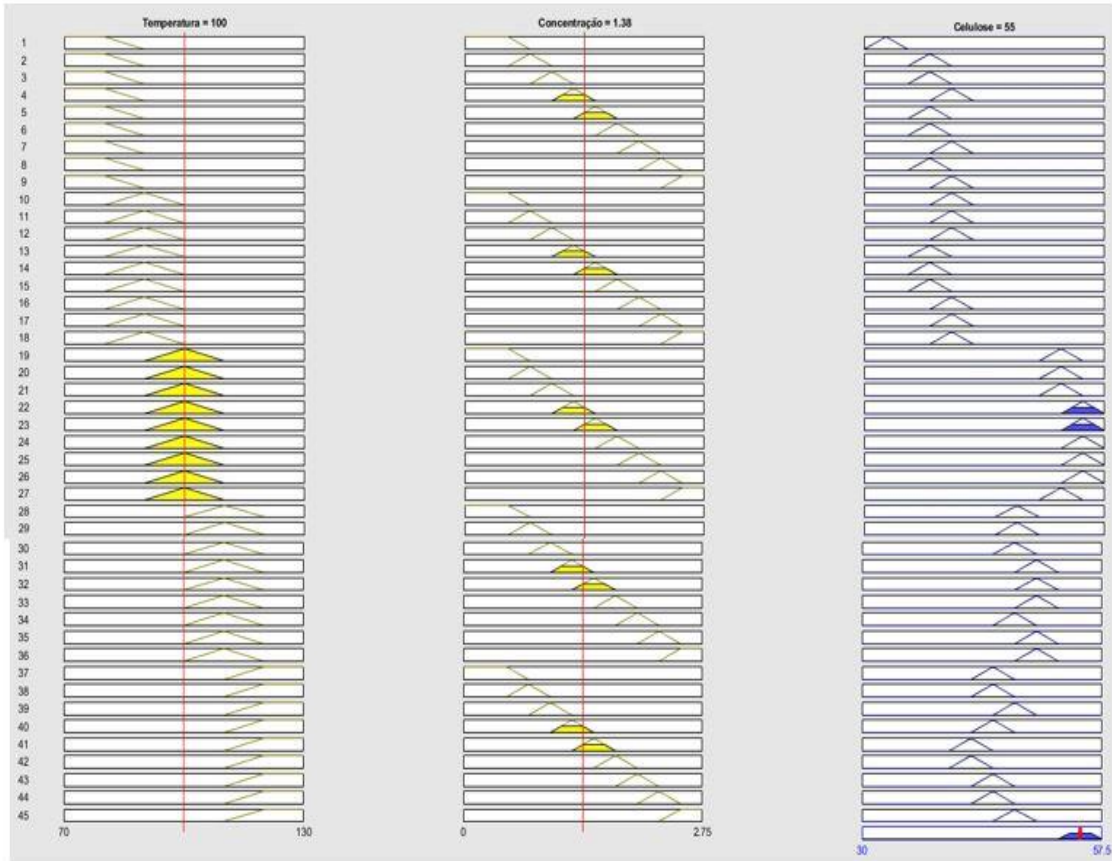
A região **B** dentro dos parâmetros analisados, oferece condições menos favoráveis para a se ter uma maior exposição da celulose na célula, em relação a região **A**. Este modelo de experimentação pode desenvolver uma relação direta entre aumentos e/ou diminuições tanto na concentração do NaOH como na temperatura em uma reação de pré-tratamento no capim-elefante. Godinho *et al.* (2019) reforçam os dados da Figura 8, pois os autores utilizaram 1,0% de concentração de NaOH com duas temperaturas diferentes (80 e 120°C), obtendo como melhor resposta o pré-tratamento a 80°C.

Ressalta-se a importância da dosagem de um produto em uma reação, pois o mesmo quando utilizado em um volume maior pode resultar em uma oneração nos custos de produção e até, por conseguinte neste modelo de reação (pré-tratamento), pode não obter a mesma eficiência na produção de bioetanol. Corroboram com estes dados, Minmunin *et al.* (2015) com dados obtidos em diversos pré-tratamento para a produção de bioetanol, provaram que quanto maior a exposição da celulose maior, melhor resposta na fermentação dos fungos para a produção do bioetanol.

A Figura 8 simula o sistema com base em regras difusas para os dados de concentração de NaOH e temperatura, indicado por A na Figura 9. O ponto está dentro de uma condição de intermediária para alta, que também é tomada em conta para determinar a porcentagem de celulose, dado como 55,0%.

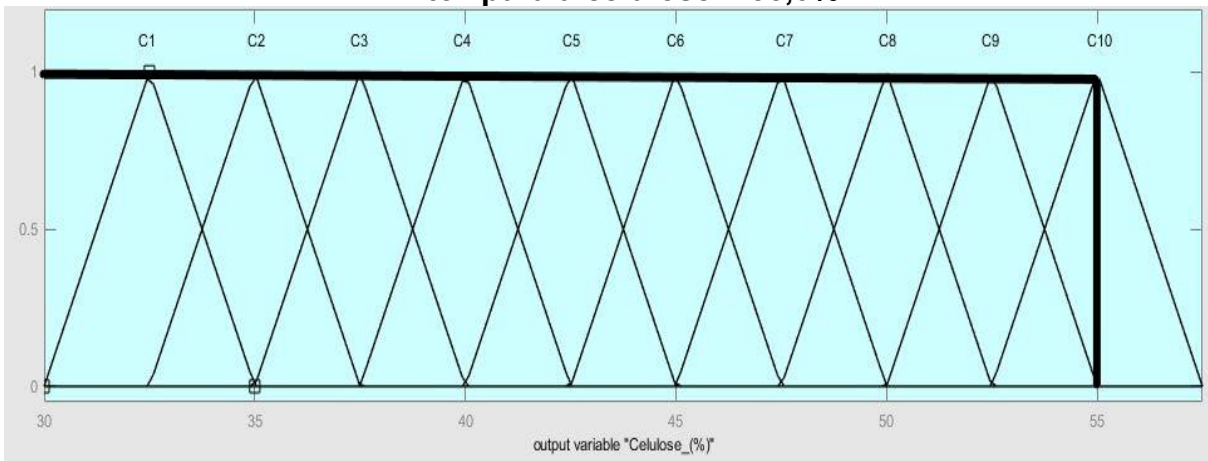
Quando são analisados os graus de adesão da produção variável observa-se que o ponto ideal tem um maior grau de adesão dentro o conjunto *fuzzy* para 55,0% de celulose, como mostra a Figura 10.

Figura 9 - Método de inferência de Mandani para a concentração entre 0,0 a 2,75% e a temperatura entre 70,0 a 130,0°C, com a taxa de celulose = 55,0%



Fonte: Autor

Figura 10 - Indicação de maior grau de adesão para o conjunto *fuzzy* no ponto “Alto” para a celulose = 55,0%

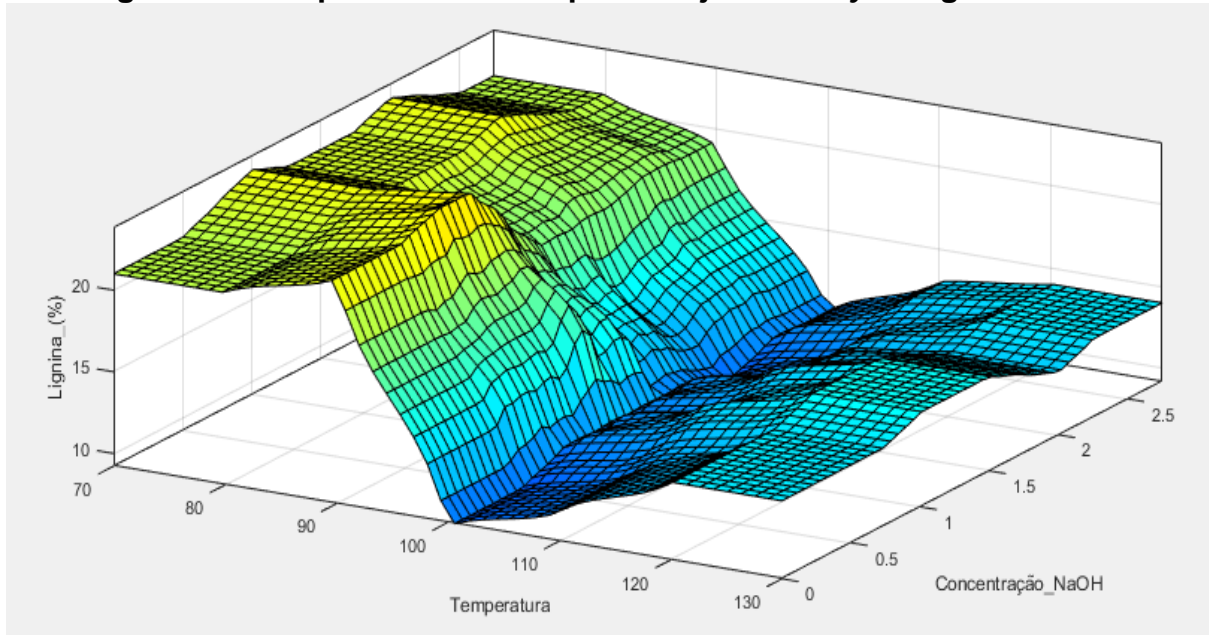


Fonte: Autor

3.3.2 OTIMIZAÇÃO DA LIGNINA

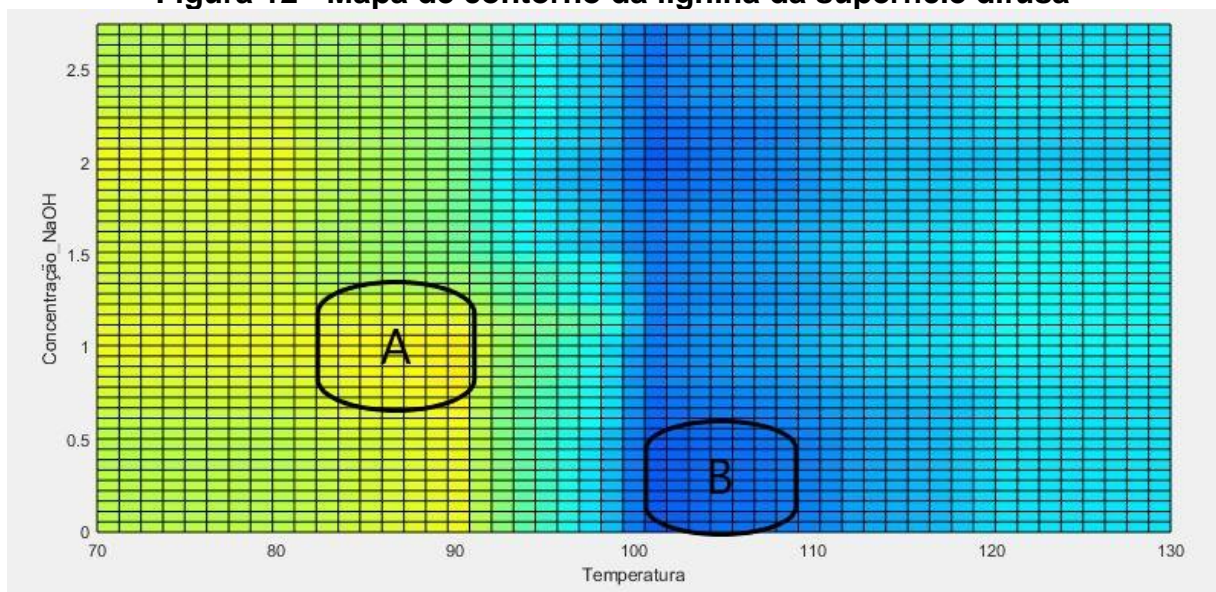
A Figura 11 apresenta a superfície de resposta da lignina como uma solução do sistema difuso pela Inferência de Mamdani Método e com mapa de contorno ilustrado na Figura 12.

Figura 11 - Resposta otimizada pelo conjunto *fuzzy* na lignina em 3D



Fonte: Autor

Figura 12 - Mapa de contorno da lignina da superfície difusa



Fonte: Autor

A Figura 11 identifica a região no plano a concentração x temperatura que, estabelece as taxas mais altas e mais baixas para o resultado *fuzzy* na lignina, onde apresenta quais os melhores pontos, onde em uma reação de pré-tratamento pode ser utilizado na concentração e na temperatura para a deslignificação da célula na biomassa.

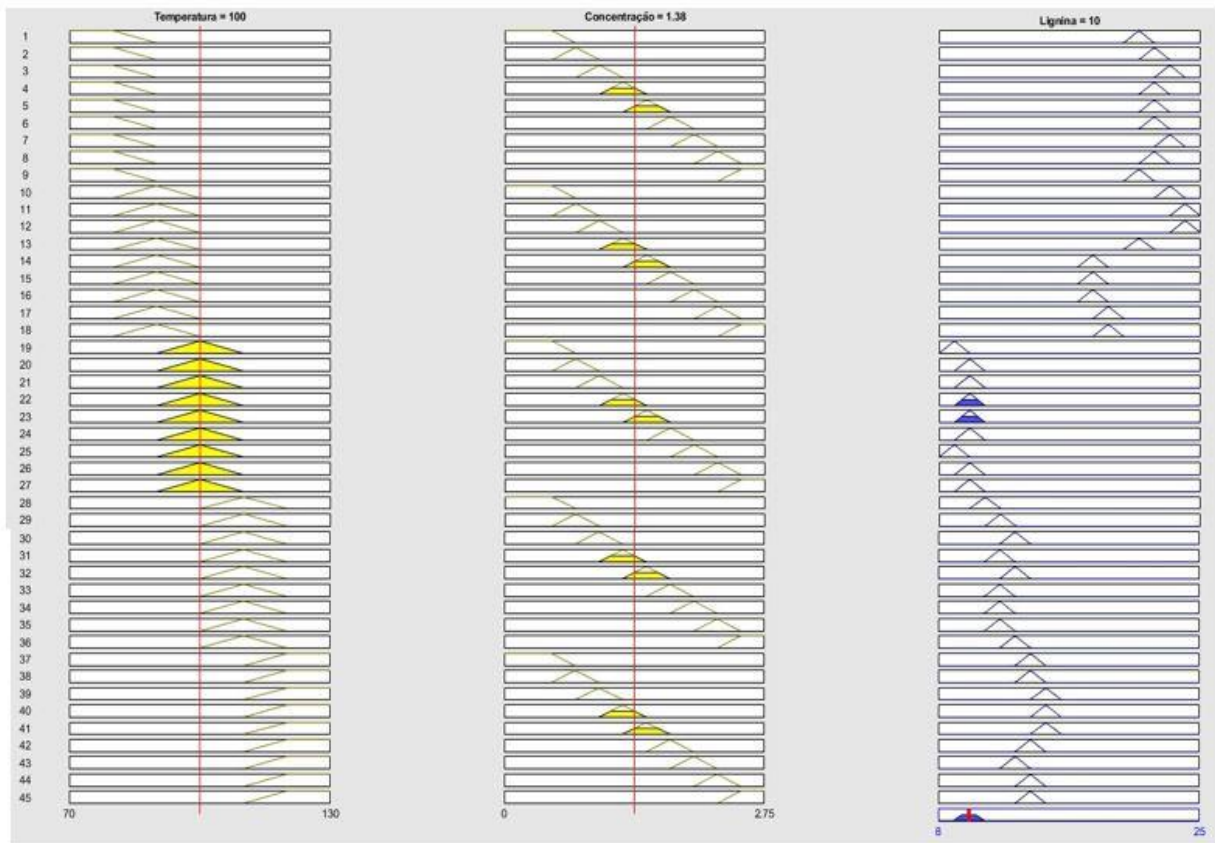
Observando a Figura 12 a região **A** indica quais as melhores concentrações e temperaturas em uma reação de pré-tratamento alcalino com NaOH podem satisfazer uma alta eficiência na perda de lignina em uma célula vegetal. Tendo como os melhores resultados para deslignificação as concentrações entre 0,5 a 1,15% com temperaturas entre 85,0 a 91,5°C. O autores Duku *et al.* (2011) citam que uma célula com alta porcentagem de lignina pode afetar a fermentação da biomassa para a produção de bioetanol, pois como a mesma é uma célula rígida e que está presente na parte externa da célula, ela pode interferir no contato do fungo com a celulose (parte interna da célula).

A região **B** apresenta parâmetros que oferecem condições menos favoráveis para o processo e deslignificação, ou seja, perda de porcentagem de lignina na célula. Reafirmando-se que em uma reação química tanto em laboratório ou em uma indústria, o processador deve observar os custos a qual estão envolvidos na operação, pois o maior custo em uma produção de bioetanol é o pré-tratamento da biomassa (CHOUDHARY *et al.*, 2016).

A Figura 12 simula o sistema com base em regras difusas para os dados de concentração de NaOH e temperatura, indicado por A na Figura 13. O ponto principal está dentro de uma condição de intermediária para alta, o que representa a melhor porcentagem de lignina final a 10,0%.

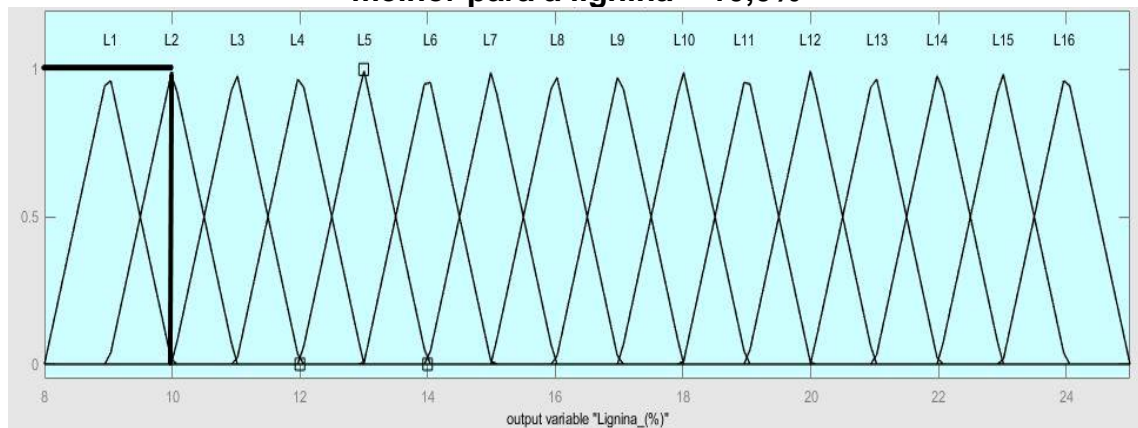
Observa-se que o ponto ideal tem um maior grau de adesão dentro o conjunto *fuzzy* Baixa, como mostra a Figura 14.

Figura 13 - Método de inferência de Mandani para a concentração de 1,38% e uma temperatura entre 100,0°C, com a taxa de lignina = 10,0%



Fonte: Autor

Figura 14 - Indicação de maior grau de adesão para o conjunto fuzzy para o melhor para a lignina = 10,0%



Fonte: Autor

3.4 CONCLUSÕES

Nos últimos anos a inclusão dos conceitos da lógica *fuzzy* na área do agronegócio, principalmente na agricultura têm apresentado cada vez mais dados para as academias. Exemplo disso são os diversos artigos e livros a respeito das

aplicações dessa teoria em diversos setores do “agro”, principalmente no campo das energias renováveis.

O presente trabalho estabelece um método computacional capaz de interpretar em gráficos quais os melhores dados de concentração e temperatura em um pré-tratamento do capim-elefante utilizando o NaOH, simultaneamente em qualquer laboratório químico e em qualquer região do Brasil e do mundo.

A interpretação do uso da lógica *fuzzy* neste experimento utilizando dados reais de laboratório, conseguiu otimizar qual melhor concentração de NaOH e qual melhor temperatura em um pré-tratamento alcalino com NaOH para quantificar a celulose e a lignina, sendo as concentrações entre 1,15 a 2,15% e temperaturas entre 100,0 a 102,5°C para a maior exposição da celulose e 0,0 a 1,15% nas concentrações e temperaturas de 85,0 a 91,5°C para deslignificação.

Este modelo utilizado em um pré-tratamento alcalino com NaOH no capim-elefante é inovador e possui uma significativa importância dentro dos sistemas baseados em regras difusas, pois as regras foram estabelecidas a partir de um experimento real a campo e, além de utilizar uma revisão literatura como um primeiro plano teórico.

REFERÊNCIAS

- ATTARD, T. M.; CLARK, J. H.; MCELROY, C. R. Recent developments in key biorefinery areas. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 21, p. 64-74, 2020.
- BENSAH, E. C. *et al.* African perspective on cellulosic ethanol production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1-11, 2015.
- BERA, T. *et al.* Influence of select bioenergy by-products on soil carbon and microbial activity: A laboratory study. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 1354-1363, 2019.
- CAETANO, F. A. DE O.; ARAÚJO, J. A. DE; KHAN, A. S. Fatores condicionantes do desenvolvimento socioeconômico na América Latina: uma análise sob a perspectiva do PIB e dos indicadores globais de governança. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 20, n. 1, p. 95-109, jan./mar. 2019.
- CAI, L. Y. *et al.* Improvement of enzymatic hydrolysis and ethanol production from corn stalk by alkali and N-methylmorpholine-N-oxide pretreatments. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 42-46, 2016.
- CANEPPELE, F. DE L. *et al.* Cogeração de energia em usina sucroalcooleiras almejando sustentabilidade. **Expressa Extensão**, v. 25, n. 3, p. 91-106, 2020.
- CANEPPELE, F. DE L. *et al.* Aplicação da lógica *fuzzy* no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. **Revista Sodebras**, v. 16, n. 184, p. 6-9, 2021.
- CHANDEL, A. K. *et al.* Key drivers influencing the commercialization of ethanol-based biorefineries. **Journal of Commercial Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 239-257, 2010.
- CHARLTON, A. *et al.* The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1147-1161, 2009.
- CHOUDHARY, J.; SINGH, S.; NAIN, L. Thermotolerant fermenting yeasts for simultaneous saccharification fermentation of lignocellulosic biomass. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 21, p. 82-92, 2016.
- DUKU, M. H.; GU, S.; HAGAN, E. BEN. A comprehensive review of biomass resources and bioFuels potential in Ghana. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 404-415, 2011.
- ELIANA, C. *et al.* Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, p. 41-47, 2014.

GHOLIZADEH, M.; HU, X.; LIU, Q. A mini review of the specialties of the bio-oils produced from pyrolysis of 20 different biomasses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, e09313, 2019.

GODINHO, E. Z. *et al.* Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino-oxidativo sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiaçú. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.

GODOY, F. O. DE *et al.* Utilização da lógica *fuzzy* aplicada à energia solar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 2, e26663, 2020.

GOMES, B. L.; MARTELLI, F. H.; SILVA, W. T. L. DA. Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim-elefante, capim-mombaça, brachiaria, sorgo-Embrapa e bagaço de cana-de-açúcar. **III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management**. Anais...São Pedro/SP: III SIGERA, 2013

GOUVEIA, E. R. *et al.* Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.

GUILHERME, A. A. *et al.* Evaluation of composition characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 01, p. 23-33, 2015.

HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Thermochemical pretreatment enhanced bioconversion of elephant grass (*Pennisetum purpureum*): insight on the production of sugars and lignin. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p.1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00689-y>.

JENNEWEIN, S. P. *et al.* Four biofuels Species' Responses to Periodic Flooding and High Water Tables on a Florida Histosol. **Bioenergy Research**, v. 10, n. 3, p. 688-699, 2017.

JIN, S. *et al.* Thermo-chemical pretreatment and enzymatic hydrolysis for enhancing saccharification of catalpa sawdust. **Bioresource Technology**, v. 205, p. 34-39, 2016.

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.

MENELAU, S. *et al.* contexto dos BRICS: reflexões e interfaces. **Cad. EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, RJ, v. 17, n. 4, p. 1094-1114, 2019.

MINMUNIN, J.; LIMPITIPANICH, P.; PROMWUNGKWA, A. Delignification of Elephant Grass for Production of Cellulosic Intermediate. **Energy Procedia**, v. 79, p. 220-225, 2015.

NETO, J. M. *et al.* Study of kinetic parameters in a mechanistic model for enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse subjected to different pretreatments. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 36, p. 1579-1590, 2013.

NETO, J. V. E. *et al.* Structural and productive characteristics in intraspecific and interspecific hybrids of elephantgrass. **Ciência Animal Brasileira**, v. 20, p. 1-11, 2019.

NIKOLIĆ, S. *et al.* Production of bioethanol from pre-treated cotton fabrics and waste cotton materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 164, p. 136-144, 2017.

PAULA, P. R. P. *et al.* Composição bromatológica da silagem de capim- elefante BRS Capiaçú com inclusão fubá de milho. **Pubvet**, v. 14, n. 10, a680, p. 1-11, 2020.

PENSRI, B. *et al.* Potential of Fermentable Sugar Production from Napier cv. Pakchong 1 Grass Residue as a Substrate to Produce Bioethanol. **Energy Procedia**, v. 89, p. 428-436, 2016.

PHITSUWAN, P.; SAKKA, K.; RATANAKHANOKCHAI, K. Structural changes and enzymatic response of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) stem induced by alkaline pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 247-256, 2016.

RUEDA, J. A. *et al.* Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 59-65, 2016.

SAIDUR, R. *et al.* A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.

SÂNCHEZ, S. S. C. *et al.* Light interception, chemical, and productive characteristics of elephant grass subjected to different cutting intervals. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2351-2362, 2019.

SCHOLL, A. L. *et al.* Elephant grass pretreated by steam explosion for inducing secretion of cellulases and xylanases by *Penicillium echinulatum* S1M29 solid-state cultivation. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 97-107, 2015.

SIQUEIRA, L. N. DE *et al.* Rendimento de hidrólise e produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim elefante. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 3, n. 4, p. 191-196, 2016.

TRAN, N. *et al.* Optimizing biofuel production: An economic analysis for selected biofuel feedstock production in Hawaii. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1756-1764, 2011.

WANDERLEY, M. C. DE A. *et al.* **Bioresource Technology** Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 448-453, 2013.

WANG, S. *et al.* Ultrasound assisted alkaline pretreatment to enhance enzymatic saccharification of grass clipping. **Energy Conversion and Management**, v. 149, p. 409-415, 2017.

WRIGHT, L. Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 8-9, p. 706-714, 2006.

ZABED, H. *et al.* Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 751-774, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada pelo autor e descrita na forma de capítulos da tese de doutorado conseguiu responder enfaticamente alguns questionamentos sobre o uso da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino do capim-elefante. No capítulo 1 com a realização do levantamento de dados científicos sobre a utilização ou não da lógica *fuzzy* no pré-tratamento alcalino no capim-elefante, resultou em que dentro do modelo de Revisão Bibliográfica Sistemática em bases científicas, constatou que não existe artigo publicado em revistas científicas do meio acadêmico. No capítulo 2, foi realizado um experimento em laboratório, aplicando um DIC (5 x 5), variando temperatura e concentração de NaOH, os resultados foram bem significativos no âmbito de respostas para maior exposição da celulose na célula vegetal e maior perda de lignina. Obtendo como melhores resultados encontrados para (%) de celulose, 1,5% de volume em concentração de NaOH com uma temperatura de 100°C, já para a lignina o melhor resultado que é a perda maior na célula vegetal foi de 0,5% para concentração de NaOH com uma temperatura de 100°C. No capítulo 3, foi realizado uma modelagem matemática utilizando a lógica nebulosa ou *fuzzy* aplicando os mesmos dados das variáveis (concentração de NaOH e temperatura). Os resultados foram satisfatórios, bem próximos dos dados reais coletados no laboratório (capítulo 2), apresentando duas curvas de respostas em 3D, onde foi caracterizado e indicado os melhores pontos na modelagem utilizada. Os melhores intervalos para maior exposição da celulose foram de 1,15 a 2,15% de concentração de NaOH com temperaturas entre 100 a 102,5°C, já para maior perda de lignina os intervalos foram 0,0 a 1,15% de concentração de NaOH com temperaturas entre 85 a 91,5°C.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 919-937, abr. 2010.
- ABDELAZIZ, O. Y. *et al.* Biological valorization of low molecular weight lignin. **Biotechnology Advances**, v. 34, n. 8, p. 1318-1346, 2016.
- ABRAHAM, A. *et al.* Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 301, e122725, 2020.
- ADITIYA, H. B. *et al.* Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 631-653, 2016.
- AGRAWAL, R. *et al.* Investigating the enzyme-lignin binding with surfactants for improved saccharification of pilot scale pretreated wheat straw. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 411-418, 2017.
- AHMAD, M. S. *et al.* Bioenergy potential of *Wolffia arrhiza* appraised through pyrolysis, kinetics, thermodynamics parameters and TG-FTIR-MS study of the evolved gases. **Bioresource Technology**, v. 253, p. 297-303, 2018.
- ALONSO, E. The role of supercritical fluids in the fractionation pretreatments of a wheat bran-based biorefinery. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 133, p. 603-614, 2018.
- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN-FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. Ouro Fino, MG: Agronômica Ceres, 573p., 2018.
- ANTONOPOULOU, G. *et al.* The Effect of Aqueous Ammonia Soaking Pretreatment on Methane Generation Using Different Lignocellulosic Biomasses. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, n. 3, p. 281–291, 2015.
- AQUINO, E. L. R. de *et al.* Ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel: uma revisão bibliográfica sistemática. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e57691110195, 2020.
- ATTARD, T. M.; CLARK, J. H.; MCELROY, C. R. Recent developments in key biorefinery areas. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 21, p. 64–74, 1 fev. 2020.
- BENSAH, E. C. *et al.* African perspective on cellulosic ethanol production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1-11, 2015.
- BENSAH, E. C.; KÁDÁR, Z.; MENSAH, M. Y. Alkali and glycerol pretreatment of West African biomass for production of sugars and ethanol. **Bioresource Technology Reports**, v. 6, p. 123-130, 2019.

BERA, T. *et al.* Influence of select bioenergy by-products on soil carbon and microbial activity: A laboratory study. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 1354-1363, 2019.

BLOIS, H. D. *et al.* Silvicultura: Cenários Prospectivos para Geração de Energia Elétrica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 140-159, 2017.

BONFIGLIO, F. *et al.* Pretreatment of switchgrass by steam explosion in a semi-continuous pre-pilot reactor. **Biomass and Bioenergy**, v. 121, p. 41-47, 2019.

BRACARENSE, J. C.; DOS SANTOS, C. V.; MAYERLE, S. F. Tomada de decisão sob condições de risco e incerteza: uma aplicação da lógica *fuzzy* à bovinocultura de corte da região Serrana de Santa Catarina. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 19, n. 41, p. 73-101, 2013.

BRITO DA SILVA, V. *et al.* Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. **Renewable Energy**, v. 146, p. 744-749, 2020.

BURMAN, N. W.; SHERIDAN, C. M.; HARDING, K. G. Lignocellulosic bioethanol production from grasses pre-treated with acid mine drainage: Modeling and comparison of SHF and SSF. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, e100299, 2019.

CAETANO, F. A. DE O.; ARAÚJO, J. A. DE; KHAN, A. S. Fatores condicionantes do desenvolvimento socioeconômico na América Latina: uma análise sob a perspectiva do PIB e dos indicadores globais de governança. **Interações** (Campo Grande), p. 95-109, 2019.

CAI, C. *et al.* Effects of dry explosion pretreatment on physicochemical and fuel properties of hybrid pennisetum (*Pennisetum americanum* × *P. purpureum*). **Bioresource Technology**, v. 297, e122508, 2020.

CAI, L. Y. *et al.* Improvement of enzymatic hydrolysis and ethanol production from corn stalk by alkali and N-methylmorpholine-N-oxide pretreatments. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 42-46, 2016.

CAMARGOS, C. H. M. *et al.* Experimentally designed corn biomass fractionation to obtain lignin nanoparticles and fermentable sugars. **Industrial Crops and Products**, v. 140, e111649, 2019.

CANEPPELE, F. DE L. *et al.* Aplicação da lógica *fuzzy* no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. **Revista Sodebras**, v. 16, n. 184, p. 6-9, 2021.

CANEPPELE, F. DE L. *et al.* Cogeração de energia em usina sucroalcooleiras almejando sustentabilidade. **Expressa Extensão**, v. 25, n. 3, p. 91-106, 2020.

CARDONA, E. *et al.* Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, p. 41-47, 2014.

CARVALHO-NETTO, O. V. *et al.* The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 20, p.1-8, 2014.

CHANDEL, A. K. *et al.* Key drivers influencing the commercialization of ethanol-based biorefineries. **Journal of Commercial Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 239-257, 2010.

CHARLTON, A. *et al.* The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1147-1161, 2009.

CHOUDHARY, J.; SINGH, S.; NAIN, L. Thermotolerant fermenting yeasts for simultaneous saccharification fermentation of lignocellulosic biomass. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 21, p. 82-92, 2016.

COELHO, Y. C. DE M.; OLIVEIRA, E. M. DE; ALMEIDA, A. C. P. C. DE. Discussões e tendências das teses e dissertações sobre formação de professores de ciências em espaços não formais: uma Revisão Bibliográfica Sistemática. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 23, p. 1-18, 2021.

COFFIN, A. W. *et al.* Potential for Production of Perennial Biofuel Feedstocks in Conservation Buffers on the Coastal Plain of Georgia, USA. **Bioenergy Research**, v. 9, n. 2, p. 587-600, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º **Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**. Anais...Porto Alegre/RS: 2011Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>>

DAHER, R. F. *et al.* Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 4, p. 10898-10908, 2014.

DAI, L. *et al.* Integrated process of lignocellulosic biomass torrefaction and pyrolysis for upgrading bio-oil production: A state-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 20-36, 2019.

DEL RÍO, J. C. *et al.* Differences in the chemical structure of the lignins from sugarcane bagasse and straw. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 322-338, 2015.

DEMAIN, A. L. Biosolutions to the energy problem. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 36, n. 3, p. 319-332, 2009.

DHABHAI, R.; NIU, C. H.; DALAI, A. K. Agricultural byproducts-based biosorbents for purification of bioalcohols: A review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 5, n. 1, p. 2-14, 2018.

DHYANI, V.; BHASKAR, T. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**, v. 129, p. 695-716, 2018.

DUARAH, P.; HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Technological advancement in the synthesis and applications of lignin-based nanoparticles derived from agro-industrial waste residues: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 1828-1843, 2020.

DUKU, M. H.; GU, S.; HAGAN, E. BEN. A comprehensive review of biomass resources and bioFuels potential in Ghana. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 404-415, 2011.

DUTRA, E. D. *et al.* Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of lignocellulosic biomass: status and perspectives. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 8, n. 1, p. 225-234, 2018.

ELIANA, C. *et al.* Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, n. 6, p. 41-47, 2014.

EUSÉBIO, C.; JOÃO, M. Attitudes towards people with disabilities: A systematic literature review - Atitudes em relação às pessoas com deficiência: Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 26, n. 4, p. 689-710, 2020.

FARROKH, N. T. *et al.* A thermogravimetric analysis of lignin char combustion. **Energy Procedia**, v. 158, p. 1241-1248, 2019.

FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: Towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015.

FURLONG, V. B. *et al.* Fuzzy-enhanced modeling of lignocellulosic biomass enzymatic saccharification. **Energies**, v. 12, n. 11, p. 1-17, 2019.

GALVÃO, C. M.; SAWADA, N. O.; TREVIZAN, M. A. Revisão sistemática: recurso que proporciona a incorporação das evidências na prática da enfermagem. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 12, n. 3, p. 549-556, 2004.

GHOLIZADEH, M.; HU, X.; LIU, Q. A mini review of the specialties of the bio-oils produced from pyrolysis of 20 different biomasses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. 10, e109313, 2019.

GODINHO, E. Z. *et al.* Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino-oxidativo sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiaçú. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.

GODOY, F. O. DE *et al.* Utilização da lógica *fuzzy* aplicada à energia solar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 2, e26663, 2020.

- GOMES, B. L.; MARTELLI, F. H.; SILVA, W. T. L. DA. Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim- elefante, capim-mombaça, brachiaria, sorgo- Embrapa e bagaço de cana-de-açúcar. **III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management**. Anais...São Pedro/SP: III SIGERA, 2013
- GOUVEIA, E. R. *et al.* Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.
- GUILHERME, A. A. *et al.* Evaluation of composition characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 1, p. 23-33, 2015.
- GUNASEELAN, V. N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 13, n. 1-2, p. 83-114, 1997.
- 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.
- GUTIERREZ, E. C.; XIA, A.; MURPHY, J. D. Can slurry biogas systems be cost effective without subsidy in Mexico? **Renewable Energy**, v. 95, p. 22-30, 2016.
- HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Lignocellulosic conversion into value-added products: A review. **Process Biochemistry**, v. 89, p. 110-133, 2020.
- HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Thermochemical pretreatment enhanced bioconversion of elephant grass (*Pennisetum purpureum*): insight on the production of sugars and lignin. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p.1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00689-y>.
- HE, C. R.; KUO, Y. Y.; LI, S. Y. Lignocellulosic butanol production from Napier grass using semi-simultaneous saccharification fermentation. **Bioresource Technology**, v. 231, p. 101-108, 2017.
- HO, C. Y. *et al.* Development of cellulosic ethanol production process via co-culturing of artificial cellulosomal Bacillus and kefir yeast. **Applied Energy**, v. 100, p. 27-32, 2012.
- JENNEWEIN, S. P. *et al.* Four Biofuel Species' Responses to Periodic Flooding and High Water Tables on a Florida Histosol. **Bioenergy Research**, v. 10, n. 3, p. 688-699, 2017.
- JI, X.; LONG, X. A review of the ecological and socioeconomic effects of biofuel and energy policy recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 41-52, 2016.
- JIN, S. *et al.* High-pressure homogenization pretreatment of four different lignocellulosic biomass for enhancing enzymatic digestibility. **Bioresource Technology**, v. 181, p. 270-274, 2015.

JIN, S. *et al.* Thermo-chemical pretreatment and enzymatic hydrolysis for enhancing saccharification of catalpa sawdust. **Bioresource Technology**, v. 205, p. 34-39, 2016.

JOHANSSON, S.; RYDBERG, T. Is an increased use of biofuels the road to sustainability?: Consequences of the methodological approach. **European Physical Journal Plus**, v. 132, n. 2, p. 1-14, 1 fev. 2017.

KAJINA, W. *et al.* Coupled effect of torrefaction and blending on chemical and energy properties for combustion of major open burned agriculture residues in Thailand. **Renewable Energy**, v. 118, p. 113-121, 2018.

KANG, X. *et al.* The effect of mechanical pretreatment on the anaerobic digestion of Hybrid Pennisetum. **Fuel**, v. 252, n. 4, p. 469-474, 2019.

KARAGÖZ, P. *et al.* Alkaline peroxide pretreatment of rapeseed straw for enhancing bioethanol production by Same Vessel Saccharification and Co-Fermentation. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 349-357, 2012.

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, 2016a.

KNOLL, J. E. *et al.* Harvest Management of 'Tifton 85' Bermudagrass for Cellulosic Ethanol Production. **Bioenergy Research**, v. 7, n. 4, p. 1112-1119, 2014.

KO, C. H. *et al.* Bioethanol production from recovered napier grass with heavy metals. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 1005-1010, 2017.

KUANCHA, C. *et al.* Fermentable sugars production from lignocellulosic materials hydrolysis by thermophilic enzymes from *Bacillus subtilis* J12. **Energy Procedia**, v. 138, p. 151-156, 2017.

KUMAR, S.; GHOSH, P. Sustainable bio-energy potential of perennial energy grass from reclaimed coalmine spoil (marginal sites) of India. **Renewable Energy**, v. 123, p. 475-485, 2018.

KUMARI, D.; SINGH, R. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, n. 5, p. 877-891, 2018.

LIMA, M. A. *et al.* Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. **Biotechnology for Biofuels**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2014.

LÓPEZ-BELLIDO, L.; WERY, J.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J. Energy crops: Prospects in the context of sustainable agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 60, p. 1-12, 2014.

LUCAS, C. A. Uma Introdução à Lógica *Fuzzy*. **Revista Eletrônica de Sistemas de**

Informação e de Gestão Tecnológica, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011.

MANISHA; YADAV, S. K. Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 245, p. 1727-1739, 2017.

MARANZATO, F. P.; SALERNO, M. S. Integration between research and development: A dynamic capabilities perspective. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 58, n. 5, p. 460-474, 2018.

MASSI, L. *et al.* Historical-critical pedagogy incorporation in science education: A dialectic critical analysis of a systematic bibliographic review. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 2, p. 212-255, 2019.

MENEGOL, D. *et al.* Increased release of fermentable sugars from elephant grass by enzymatic hydrolysis in the presence of surfactants. **Energy Conversion and Management**, v. 88, p. 1252-1256, 2014.

MENELAU, S. *et al.* contexto dos BRICS: reflexões e interfaces. **Cad. EBAPE.BR** (Rio de Janeiro), v. 17, n. 4, p. 1094-1114, 2019.

MERINO, O. *et al.* Screening of Ionic Liquids for Pretreatment of Taiwan Grass in Q-Tube Minireactors for Improving Bioethanol Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 3, p. 733-742, 2017.

MINMUNIN, J.; LIMPITIPANICH, P.; PROMWUNGKWA, A. Delignification of Elephant Grass for Production of Cellulosic Intermediate. **Energy Procedia**, v. 79, p. 220-225, 2015.

MITHRA, M. G. *et al.* Comparison of ethanol yield from pretreated lignocellulo-starch biomass under fed-batch SHF or SSF modes. **Heliyon**, v. 4, n. 10, e00885, 2018.

MOHAPATRA, S. *et al.* Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 1007-1032, 2017.

MOHAPATRA, S. *et al.* Engineering grass biomass for sustainable and enhanced bioethanol production. **Planta**, v. 250, n. 2, p. 395-412, 2019.

NARINTHORN, R.; CHOORIT, W.; CHISTI, Y. Alkaline and fungal pretreatments for improving methane potential of Napier grass. **Biomass and Bioenergy**, v. 127, e105262, 2019.

NASSEF, A. M. *et al.* Application of *fuzzy* modelling and Particle Swarm Optimization to enhance lipid extraction from microalgae. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, p. 73-79, 2019.

NETO, J. M. *et al.* Study of kinetic parameters in a mechanistic model for enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse subjected to different pretreatments. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 36, n. 11, p. 1579-1590, 2013.

NETO, J. V. E. *et al.* Structural and productive characteristics in intraspecific and interspecific hybrids of elephantgrass. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 20, n. 1-11, e-46788, 2019.

NIEMI, P. *et al.* Production of sugars from grass silage after steam explosion or soaking in aqueous ammonia. **Industrial Crops and Products**, v. 98, p. 93-99, 2017.

NIKOLIĆ, S. *et al.* Production of bioethanol from pre-treated cotton fabrics and waste cotton materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 164, p. 136-144, 2017.

OHIMAIN, E. I. A review of the Nigerian bioFuel policy and incentives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 246–256, 2013.

OKOLIE, J. A. *et al.* Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 2145-2169, 2020.

PAULA, P. R. P. *et al.* Composição bromatológica da silagem de capim- elefante BRS Capiaçú com inclusão fubá de milho. **Pubvet**, v. 14, n. 10, a680, p. 1-11, 2020.

PENSRI, B. *et al.* Potential of Fermentable Sugar Production from Napier cv. Pakchong 1 Grass Residue as a Substrate to Produce Bioethanol. **Energy Procedia**, v. 89, p. 428-436, 2016.

PERLATTI, B.; FORIM, M. R.; ZUIN, V. G. Green chemistry, sustainable agriculture and processing systems: a Brazilian overview. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 5, p. 1-9, 2014.

PHITSUWAN, P. *et al.* Structural features and enzymatic digestibility of Napier grass fibre treated with aqueous ammonia. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 32, p. 360-364, 2015.

PHITSUWAN, P.; SAKKA, K.; RATANAKHANOKCHAI, K. Structural changes and enzymatic response of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) stem induced by alkaline pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 247-256, 2016.

PLÁCIDO, J.; IMAM, T.; CAPAREDA, S. Evaluation of ligninolytic enzymes, ultrasonication and liquid hot water as pretreatments for bioethanol production from cotton gin trash. **Bioresource Technology**, v. 139, p. 203-208, 2013.

PURI, M.; ABRAHAM, R. E.; BARROW, C. J. BioFuel production: Prospects, challenges and feedstock in Australia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 8, p. 6022-6031, 2012.

PUSPAWATI, S. *et al.* The Production of Bioethanol Fermentation Substrate from *Eucheuma cottonii* Seaweed through Hydrolysis by Cellulose Enzyme. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 3, p. 200-205, 2015.

RABEMANOLONTSOA, H.; SAKA, S. Various pretreatments of lignocellulosics.

Bioresource Technology, v. 199, p. 83-91, 2016.

RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, p. 696-703, 2015.

REN, N. Q. *et al.* A review on bioconversion of lignocellulosic biomass to H₂: Key challenges and new insights. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 92-99, 2016.

RENZAHO, A. M. N.; KAMARA, J. K.; TOOLE, M. Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 503-516, 2017.

ROCHA, A. M. H. *et al.* Prospecção tecnológica do capim elefante e sua relevância como matéria-prima para a produção energética. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 475-499, 2017a.

ROCHA, J. R. DO A. S. DE C. *et al.* Bioenergetic potential and genetic diversity of elephantgrass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017b.

ROY, R.; RAHMAN, M. S.; RAYNIE, D. E. Recent advances of greener pretreatment technologies of lignocellulose. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 3, e100035, 2020.

RUEDA, J. A. *et al.* Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 59-65, 2016.

SAIDUR, R. *et al.* A review on biomass as a Fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.

SÂNCHEZ, S. S. C. *et al.* Light interception, chemical, and productive characteristics of elephant grass subjected to different cutting intervals. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2351-2362, 2019.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 185-194, 2009.

SAWATDEENARUNAT, C. *et al.* Decentralized biorefinery for lignocellulosic biomass: Integrating anaerobic digestion with thermochemical conversion. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 140-147, 2018.

SCHOLL, A. L. *et al.* Elephant grass pretreated by steam explosion for inducing secretion of cellulases and xylanases by *Penicillium echinulatum* S1M29 solid-state cultivation. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 97-107, 2015a.

SCHOLL, A. L. *et al.* Ethanol production from sugars obtained during enzymatic hydrolysis of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated by steam

explosion. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 228-237, 2015b.

SHILPI, S. *et al.* Waste to watt: Anaerobic digestion of wastewater irrigated biomass for energy and fertiliser production. **Journal of Environmental Management**, v. 239, n. 8, p. 73-83, 2019.

SINGH, S. K.; DHEPE, P. L. Isolation of lignin by organosolv process from different varieties of rice husk: Understanding their physical and chemical properties. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 310-317, 2016.

SIQUEIRA, L. N. DE *et al.* Rendimento de hidrólise e produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim elefante. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 3, n. 4, p. 191-196, 2016.

SKIBA, E. A. *et al.* A technology for pilot production of bacterial cellulose from oat hulls. **Chemical Engineering Journal**, v. 383, e123128, 2020.

SMITH, A. L. *et al.* Second generation biofuels and bioinvasions: An evaluation of invasive risks and policy responses in the United States and Canada. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 30-42, 2013.

SURENDRA, K. C.; KHANAL, S. K. Effects of crop maturity and size reduction on digestibility and methane yield of dedicated energy crop. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 187-193, 2015.

TAKARA, D.; KHANAL, S. K. Characterizing compositional changes of Napier grass at different stages of growth for biofuel and biobased products potential. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 103-108, 2015.

TIMILSENA, Y. P. *et al.* Effect of different pretreatments on delignification pattern and enzymatic hydrolysability of miscanthus, oil palm biomass and typha grass. **Bioresource Technology**, v. 135, p. 82-88, 2013.

TRAN, N. *et al.* Optimizing biofuel production: An economic analysis for selected biofuels feedstock production in Hawaii. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1756-1764, 2011.

ULLAH, K. *et al.* Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 682-698, 2015.

VARFOLOMEEV, S. D.; MOISEEV, I. I.; MYASOEDOV, B. F. Energy carriers from renewable sources: Chemical aspects. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v. 79, n. 4, p. 334-344, 2009.

VASCONCELOS DE ALMEIDA SÁ, Y.; CHIUN WEN, T. Artificial Intelligence (*fuzzy Logic*) for local safety stock forecasting in multinational companies. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.

WANDERLEY, M. C. DE A. *et al.* **Bioresource Technology** Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 448-453, 2013.

WANG, S. *et al.* Ultrasound assisted alkaline pretreatment to enhance enzymatic saccharification of grass clipping. **Energy Conversion and Management**, v. 149, p. 409-415, 2017.

WEN, B. *et al.* Comparison and evaluation of concurrent saccharification and anaerobic digestion of Napier grass after pretreatment by three microbial consortia. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 102-111, 2015.

WRIGHT, L. Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 8-9, p. 706-714, 2006.

WU, M. *et al.* Application of new expansion pretreatment method on agricultural waste. Part I: Influence of pretreatment on the properties of lignin. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 887-895, 2013.

XIE, X. M. *et al.* Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1732-1738, 2011.

YAASHIKAA, P. R. *et al.* Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstocks for remediation of environmental pollutants. **Bioresource Technology**, v. 292, e122030, 2019.

YASUDA, M. *et al.* Bio-ethanol production through simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of a low-moisture anhydrous ammonia (LMAA)-pretreated napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **SpringerPlus**, v. 3, n. 33, p. 1-8, 2014.

YASUDA, M. *et al.* Ethanol production from non-pretreated napiergrass through a simultaneous saccharification and fermentation process followed by a pentose fermentation with *Escherichia coli* KO11. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 114, n. 2, p. 188-192, 2012.

ZABED, H. *et al.* Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 751-774, 2016.

ZHANG, J. *et al.* An optimum combined hydrolysis factor enhances hybrid *Pennisetum pretreatment* in bio-conversion. **Cellulose**, v. 26, n. 15, p. 8439-8451, 2019.