



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA
MESTRADO ACADÊMICO EM AGROENERGIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**

ILLYS JANES ALVES DE SOUSA

**DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE H₂O₂ NO PRE TRATAMENTO
DE BIOMASSAS NA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G**

PALMAS - TO

2020

ILLYS JANES ALVES DE SOUSA

**DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE H₂O₂ NO PRE TRATAMENTO
DE BIOMASSAS RESIDUAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroenergia, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Guilherme Benko de Siqueira

PALMAS - TO

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S725d Sousa, Illys Janes Alves de .
Diferentes concentrações de H₂O₂ no pre tratamento de biomassas na produção de etanol 2g. / Illys Janes Alves de Sousa. – Palmas, TO, 2020.
61 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2020.
- Orientador: Guilherme Benko de Siqueira
1. Aproveitamento de resíduos. 2. Biomassas lignocelulósicas . 3. Pre tratamento . 4. Etanol 2g. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

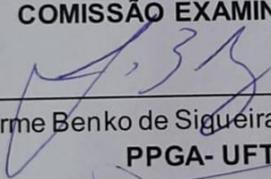
FOLHA DE APROVAÇÃO

DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE H_2O_2 NO PRÉ-TRATAMENTO
DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G

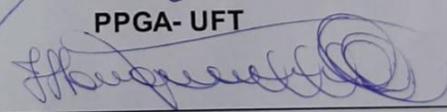
ALUNO: Illys Janes Alves de Sousa

COMISSÃO EXAMINADORA

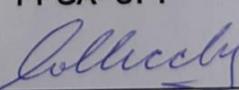
Presidente:



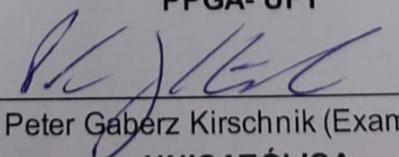
Prof. Dr. Guilherme Benko de Siqueira (Presidente da comissão)
PPGA- UFT



Prof.ª Dr.ª Flávia Lucila Tonani de Siqueira (Examinadora interna)
PPGA- UFT



Prof. Dr. Erich Collicchio (Examinador interno)
PPGA- UFT



Prof. Dr. Peter Gaberz Kirschnik (Examinador externo)
UNICATÓLICA

Data da Defesa: 08/02/2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus Pais, Tibúrcio Alves de Sousa Silva (in memorian) e Almerinda Alves de Sousa Silva. À minha namorada Marliana por todo o apoio nessa caminhada. À minha irmã Layla, e aos meus irmãos Rogério e Lucas. Ao meu primo Daian Alves por sempre está disponível a me ajudar quando preciso. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por nunca me abandonar, por me ajudar a enfrentar os momentos mais difíceis, pelas vezes que pensei em desistir e foi na Fé que encontrei saída para tudo. Obrigado Senhor!

As pessoas que mais amo, que dedico não só esse trabalho, mas a minha vida inteira, que sempre estiveram ao meu lado, aos meus amados Pais. Obrigado pela oportunidade, por acreditarem em mim, por confiar no meu potencial, vocês são as razões da minha vida. Obrigado por tudo, Amo vocês.

Aos meus irmãos (a), Rogério Alves de Sousa, Lucas Alves de Sousa e Layla Faria vilela que sempre estiveram ao meu lado, mesmo com as nossas indiferenças, contribuíram diretamente para minha formação. À minha namorada Marliana por todo o apoio e carinho nessa caminhada. Só a presença de vocês em minha vida já me faz bem. Obrigado!

Ao meu orientador, Professor Dr. Guilherme Benko de Siqueira, um grande profissional, obrigado pela paciência e dedicação, por sempre ter me auxiliado, pelas conversas, pelos projetos de pesquisas e por sempre estar disponível para tirar minhas dúvidas.

A minha querida professora Dra. Flávia Lucila Tonani de Siqueira que além de professora foi e será uma grande amiga. Pelos aprendizados, abraços, carinho, compreensão e ensinamento transmitidos a minha pessoa durante o mestrado, espero que possamos continuar amigos. Obrigado!

Agradeço ao Professor Dr. Peter Gaberz, pelas conversas, pelas risadas, pelas palhaçadas, conselhos, por todos os momentos bons que vivemos e jamais serão esquecidos. A você, tenho uma grande admiração, e levarei como um exemplo tanto como pessoa, e também como profissional! Muito obrigado. Obrigado de coração ao Professor Dr. Erich Collichio, um exemplo de profissional, te agradeço pelas orientações, pelos conselhos de vida, pelas dúvidas sanadas, por ter tirado um pouco do seu tempo para me auxiliar. Obrigado!

Aos meus amigos/colegas do mestrado em agroenergia e do laboratório de solos e resíduos agroindustriais, especialmente ao meu grande amigo Domingos, uma pessoa de coração enorme sempre pronto a ajudar o próximo.

Quero agradecer grandiosamente, aos meus professores do ensino fundamental, ensino médio, graduação e mestrado, pois tudo que sou hoje foi fruto de um bom ensino. Vocês foram e continuam sendo os melhores. Muito Obrigado!

A secretária do mestrado Geane, pelas longas conversas, conselhos, ajudas e paciência destinada a minha pessoa, muito Obrigado.

A Capes pela bolsa de estudos.

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente na minha formação. Só por estarem ao meu lado já foi importante.

Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

“ O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis. ”

José de Alencar

RESUMO

O etanol de segunda geração, rota importante na atual conjuntura perante as diversas limitações relacionadas aos combustíveis, encontra no processo do pré-tratamento sua principal dificuldade em termos de rendimento e custos. Diante desse contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a melhor condição de pré-tratamento por peróxido de hidrogênio alcalino (30%) a partir de diferentes concentrações (1, 2, 3, 4, e 5%) em duas biomassas lignocelulosicas, sendo elas: rama de batata doce variedade (Júlia) e sorgo biomassa (BRS 711), a fim de se obter uma maior deslignificação e conseqüentemente maior produção de etanol. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 com 4 repetições. O estudo foi conduzido no Laboratório de Solos e resíduos agroindustriais da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Foram determinados os teores de composição química seguindo o método de Van Soest conforme citado por Silva e Queiroz (2012). A estimativa de produção de etanol foi obtido a partir da fermentação do hidrolisado, onde foi quantificado a produção de CO₂, após a obtenção dos dados foi possível então quantificar a glicose fermentada e o equivalente etanol produzido a partir da equação estequiométrica descrita por Gay-Lussac (FINGUERUT et al., 1985). Na biomassa sorgo a concentração de 1% foi a que demonstrou uma menor solubilização da fração lignina, já na biomassa rama de batata não foi observado diferença significativa entre as concentrações ($p > 0,05$). Foi observado que em todas as concentrações a biomassa sorgo obteve menores teores de lignina. Dentro da biomassa sorgo, a concentração de 2% obteve menor valor de hemicelulose, já para a biomassa rama de batata a concentração de 4% obteve menor valor de hemicelulose. as concentrações de 2, 3 e 5% de H₂O₂ se mostraram superiores para teores de celulose na biomassa sorgo biomassa e superiores aos valores encontrados na biomassa rama de batata doce, já para a biomassa rama de batata doce a concentração de 1% demonstrou maiores valores de celulose. As concentrações de 4 e 5% nas duas biomassas obtiveram uma maior estimativa de produção de etanol em relação as outras concentrações. Após análise geral dos dados disponíveis no presente trabalho conclui se que a concentração de 5% na biomassa sorgo biomassa se destaca em relação as demais.

Palavras-Chave: Hidrólise enzimática; Perdas de componentes; Sorgo biomassa; Rama de batata doce.

ABSTRACT

Second generation ethanol, an important route in the current situation in view of the various limitations related to fuels, finds in the pre-treatment process its main difficulty in terms of yield and costs. Given this context, the present study aimed to evaluate the best pre-treatment condition for alkaline hydrogen peroxide (30%) from different concentrations (1, 2, 3, 4, and 5%) in two lignocellulosic biomasses, being they: sweet potato variety (Júlia) and sorghum biomass (BRS 711), in order to obtain greater delignification and consequently greater ethanol production. A completely randomized experimental design was used, in a 5x2 factorial scheme with 4 replications. The study was conducted at the Laboratory of Soils and agro-industrial residues at the Federal University of Tocantins (UFT). The chemical composition contents were determined according to the Van Soest method as mentioned by Silva and Queiroz (2012). The ethanol production estimate was obtained from the hydrolyzate fermentation, where the CO₂ production was quantified, after obtaining the data it was then possible to quantify the fermented glucose and the ethanol equivalent produced from the stoichiometric equation described by Gay-Lussac (FINGUERUT et al., 1985). In the sorghum biomass, the concentration of 1% was the one that demonstrated a lower solubilization of the lignin fraction, whereas in the raw potato biomass, no significant difference was observed between the concentrations ($p > 0.05$). It was observed that in all concentrations the sorghum biomass obtained lower levels of lignin. Within the sorghum biomass, the concentration of 2% obtained a lower hemicellulose value, whereas for the raw potato biomass the concentration of 4% obtained a lower hemicellulose value. the concentrations of 2, 3 and 5% of H₂O₂ proved to be higher for cellulose contents in the biomass sorghum biomass and higher than the values found in the raw sweet potato biomass, for the sweet potato raw biomass the concentration of 1% showed higher values of cellulose. The concentrations of 4 and 5% in the two biomasses obtained a higher estimate of ethanol production in relation to the other concentrations. After a general analysis of the data available in the present work, it is concluded that the concentration of 5% in the biomass sorghum biomass stands out in relation to the others.

Keywords: Enzymatic hydrolysis; Component losses; Sorghum biomass; Sweet potato Rama.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subunidade (glicose) e fórmula estrutural da celulose.....	17
Figura 2 - Arranjo de pentoses formando a estrutura molecular da hemicelulose.....	17
Figura 3 - Representação da estrutura da lignina.....	19
Figura 4 - Fluxograma do processo de obtenção de etanol de segunda geração a partir de biomassa lignocelulósica.....	20
Figura 5 - Efeito do pré-tratamento na estrutura lignocelulósica	21
Figura 6 - Fluxograma do processo de produção de CO ₂ , durante o processo de fermentação.	35
Figura 7 - Rendimento do resíduo do pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂ nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa.....	40
Figura 8 - Valores de FDN, FDA nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂	43
Figura 9 - Valores de lignina, hemicelulose e celulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂	46
Figura 10 - Valores de percas de componentes, lignina e hemicelulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂	49
Figura 11 - Valores de estimativa de produção de etanol (ml/KgMS) nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais vantagens e desvantagens dos pré-tratamentos nos materiais lignocelulósicos ..	22
Tabela 2 - Valores de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina nas biomassas in natura rama de batata doce e sorgo biomassa	36
Tabela 3 - Resumo do quadro de Análise de variância dos valores das variáveis, resíduo após o pré-tratamento, FDN, FDA, lignina, hemicelulose, celulose, perdas de lignina, perdas de hemicelulose e produção de etanol em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂ nas biomassas rama da batata doce e sorgo biomassa.....	38
Tabela 4 - Equações de regressão, probabilidade do ajuste e R ² estimados para os valores das variáveis: resíduo após o pré-tratamento, FDN, FDA, lignina, hemicelulose, celulose, perdas de lignina, perdas de hemicelulose e produção de etanol em função de diferentes concentrações de H ₂ O ₂ nas biomassas rama da batata e sorgo biomassa	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
Avaliar a eficiência do H ₂ O ₂ no pré tratamento de biomassas residuais na obtenção de etanol 2G.	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1. Importância dos biocombustíveis na matriz energética	16
3.2. Composição química de materiais lignocelulósicos	17
3.2.1. Celulose	17
3.2.2 Hemicelulose	17
3.2.3. Lignina	18
3.3. Etanol 2G	19
3.4. Processo de obtenção de biocombustíveis de 2º geração	20
3.4.1 Pré-tratamento da biomassa lignocelulósica	21
3.4.2 Hidrólise	25
3.4.3 Fermentação	26
3.5. Biomassas	27
3.5.1 Batata doce	27
3.5.2 Rama da batata doce	28
3.5.3 Sorgo biomassa	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Preparação das amostras e local de realização do experimento	30
4.2 Parâmetros avaliados	30
4.3 Tratamentos e delineamento experimental	30
4.4 Caracterização das biomassas in natura e das biomassas após os pré-tratamentos	30
4.4.1 Concentração de FDN, FDA e hemicelulose	30
4.4.2 Determinação da Lignina e celulose	31
4.4.2 Perdas de lignina e hemicelulose	32
4.5 Produção de Etanol	32
4.5.1 Pré-tratamento	33
4.5.2 Hidrólise enzimática	33
4.5.3 Fermentação	33

4.5.4 Determinação da concentração glicose e etanol	35
4.6 Análises estatísticas.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 Caracterização das biomassas residual.....	36
5.2 Resumo do quadro de análise de variância e análise de regressão.....	37
5.3 Resíduo após o pré-tratamento.....	39
5.4 Composição das biomassas após o pré-tratamento	40
5.5 Perdas de componentes	46
5.6 Estimativa de produção de etanol	49
6 CONCLUSÃO.....	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

A energia renovável é uma fonte fundamental de energia, que contribui para a segurança energética, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa (VINUTHA et al., 2014).

Dentre os biocombustíveis mais utilizados, o etanol é o que possui maior destaque no cenário mundial (PITARELO, 2012). O etanol é um biocombustível que pode ser de primeira (1G) ou segunda (2) geração, isso depende de qual matéria-prima é utilizada para obtenção. A qualidade do etanol de 1G e de 2G são semelhantes, a única diferença está relacionado ao processo de produção no qual o de primeira geração utiliza matéria-prima rica em sacarose (açúcares) ou rica em amido, enquanto o de segunda geração utiliza matéria-prima lignocelulósica (PACHECO, 2011).

A produção de etanol de segunda geração a partir de biomassas lignocelulósicas tem sido considerada próspera, visto que a demanda por energias limpas vem aumentando com o conceito de preservação do meio ambiente e redução dos gases de efeito estufa, sendo que dentre estas fontes podem se destacar os resíduos agroindustriais como a casca e palha de arroz, palha de cevada, palha de trigo, palha e forragem de milho, bagaço e palha de cana-de-açúcar e as ramas da batata-doce (AKIMKULOVA et al., 2016).

Dentre as fases da produção de etanol de segunda geração, o pré-tratamento é considerado uma das principais fases do processo, sendo uma importante ferramenta no processo de conversão dos materiais lignocelulósicos, sendo responsável por alterar a estrutura da biomassa de modo a facilitar o acesso das enzimas que convertem a celulose e a hemicelulose em monômeros (AYENI, 2016). O processo de pré-tratamento é um passo-chave na via da remoção/modificação da lignina e hemiceluloses, redução da cristalinidade da celulose e aumento da porosidade do material, tornando-o mais passível da hidrólise enzimática (LOSORDO et al., 2016).

É possível identificar vários métodos de pré-tratamentos em vegetais lignocelulósicos, sendo eles de natureza física, química, biológica e a combinação deles. Porém, mesmo havendo uma grande variedade de métodos de pré-tratamentos já estudados, ainda há necessidade de desenvolvimento de tecnologias que sejam eficientes em termos de custo e competitividade (CORREIA, 2013). O pré-tratamento alcalino oxidativo que utiliza agentes oxidantes sob

condição alcalina, como peróxido de hidrogênio é uma alternativa eficaz para produção de etanol de lignocelulose. O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um forte agente oxidante e atua tanto em soluções básicas quanto ácidas (ASSUMPÇÃO, 2016).

O uso do peróxido de hidrogênio alcalino como pré-tratamento visa solubilizar a lignina a partir dos radicais advindos da dissociação do peróxido de hidrogênio e tem sido bastante utilizado em diversos materiais lignocelulósicos como palha de milho, palha de cevada, palha de trigo, bambu e palha de arroz (CORREIA, 2013). No entanto, tem-se verificado que a resposta ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio tem variado de acordo com a matéria prima e a concentração de peróxido.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do pré-tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio sobre o potencial de produção de etanol 2G nas biomassas lignocelulósicas sorgo biomassa (BRS 711) e rama da batata doce (Variedade Júlia).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência do H_2O_2 no pré tratamento de biomassas residuais na obtenção de etanol 2G.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Quantificar o coeficiente do resíduo de biomassas lignocelulósicas (sorgo biomassa BRS 711 e rama da batata doce variedade Júlia) após pré tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio;
- ✓ Determinar a composição em FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina de biomassas (sorgo biomassa BRS 711 e rama da batata doce variedade Júlia) antes e após pré tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio
- ✓ Estimar as perdas de lignina e hemicelulose nas biomassas lignocelulósicas (sorgo biomassa BRS 711 e rama da batata doce variedade Júlia) após pré tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Estimar a produção de etanol nas biomassas lignocelulósicas (sorgo biomassa BRS 711 e rama da batata doce variedade Júlia) após pré tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Importância dos biocombustíveis na matriz energética

O mercado de energia tem demonstrando grande interesse nos biocombustíveis isso, devido sua capacidade de possível substituto dos combustíveis derivados de petróleo. Esse cenário é reflexo dos problemas referentes ao esgotamento das fontes energéticas fósseis e o aumento da preocupação com as questões ambientais, com as mudanças climáticas (KHAN et al., 2017).

Os biocombustíveis representam apenas um segmento da bioenergia que engloba ainda o biogás, carvão vegetal, cogeração de energia elétrica e calor a partir das biomassas. O interesse por estes produtos renováveis é visível e está sendo discutido em diversos aspectos por muitos países devido as grandes vantagens deste produto como: diminuição da dependência externa do petróleo, por razões de segurança de suprimento ou impacto na balança de pagamento e minimizar os efeitos das emissões de gases poluentes pelos veículos. Além disso, os biocombustíveis são mais biodegradáveis que os combustíveis fósseis (LEITE & LEAL, 2007).

Os biocombustíveis implicam em razões de segurança energética, preocupações ambientais e a questão socioeconômica relacionada ao setor rural (DEMIRBAS, 2007). E apresentam vantagens como: ser facilmente obtidos a partir de fontes abundantes e baratas e seu uso permite reduzir a emissão de carbono para a atmosfera e contribuindo para a sustentabilidade (PUPPAN, 2002; HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).

As pressões por mudanças nas matrizes energéticas aspirando a redução dos impactos ambientais do setor energético tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas e investimentos no desenvolvimento de biocombustíveis, (RABONI, 2015).

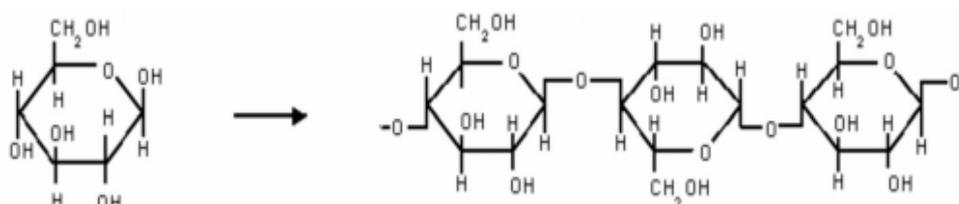
3.2. Composição química de materiais lignocelulósicos

3.2.1. Celulose

A celulose é o material orgânico mais abundante na terra e o principal componente da parede celular da fibra vegetal. A unidade repetitiva da celulose é composta por duas moléculas de glicose esterificadas por ligações β -1,4-glicosídicas. Esta unidade repetitiva, conhecida como celobiose, contém seis grupos hidroxila que estabelecem interações do tipo ligações de hidrogênio intra e intermolecular. Devido a essas ligações de hidrogênio há uma forte tendência de a celulose formar cristais que a tornam completamente insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos. O grau de cristalinidade da celulose varia de acordo com sua origem e processamento o que acarreta em uma dificuldade para a hidrólise enzimática (ARAÚJO et al., 2008; SILVA et al., 2009).

A biomassa das plantas contém de 40 a 50 % de molécula de celulose que estão rigidamente unidas por ligações de hidrogênio. Devido a essas ligações e ao arranjo em fibrilas a celulose natural tem uma estrutura compacta denominada cristalina, e também uma estrutura amorfa a qual pode ser mais facilmente hidrolisada por enzimas (ANWAR et al., 2014; ZHAO et al., 2012).

Figura 1 - Subunidade (glicose) e fórmula estrutural da celulose

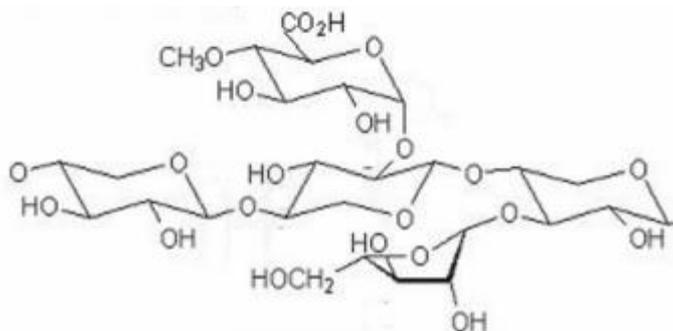


Fonte: Rosa; Garcia (2003).

3.2.2 Hemicelulose

As hemiceluloses são um polímero heterogêneo que tem sua estrutura principal formada por glucuronoxilanas e glucomananas (Figura 4). Ao contrário da celulose, a composição das hemiceluloses varia dependendo do tecido celular e da espécie da planta e se diferencia em relação ao tipo de ligação glicosídica, composição da cadeia lateral e grau de polimerização (Haghighi Mood et al., 2013; Zhao et al., 2012).

Figura 2 - Arranjo de pentoses formando a estrutura molecular da hemicelulose



Fonte: Rosa; Garcia (2003).

A composição da hemicelulose pode variar de acordo com o tipo de planta e a sua parte, mas na maioria as biomassas folhosas são compostas principalmente por heteroxilanas que é um tipo de hemicelulose altamente acetiladas, já as madeiras de coníferas apresentam uma elevada proporção de glucomananas e galactoglucomananas parcialmente acetiladas (Carvalho et al., 2010).

Arabinanas e arabino-galactana estão presentes embora elas não compartilhem a ligação β (1→4) da estrutura principal. Normalmente biomassas vegetais contêm de 25% a 35% de hemiceluloses com massa molar média menor que 30.000. Essa baixa massa molar associada a estrutura ramificada com cadeia curtas tornam as hemiceluloses facilmente hidrolisáveis (Anwar et al., 2014; Haghghi Mood et al., 2013).

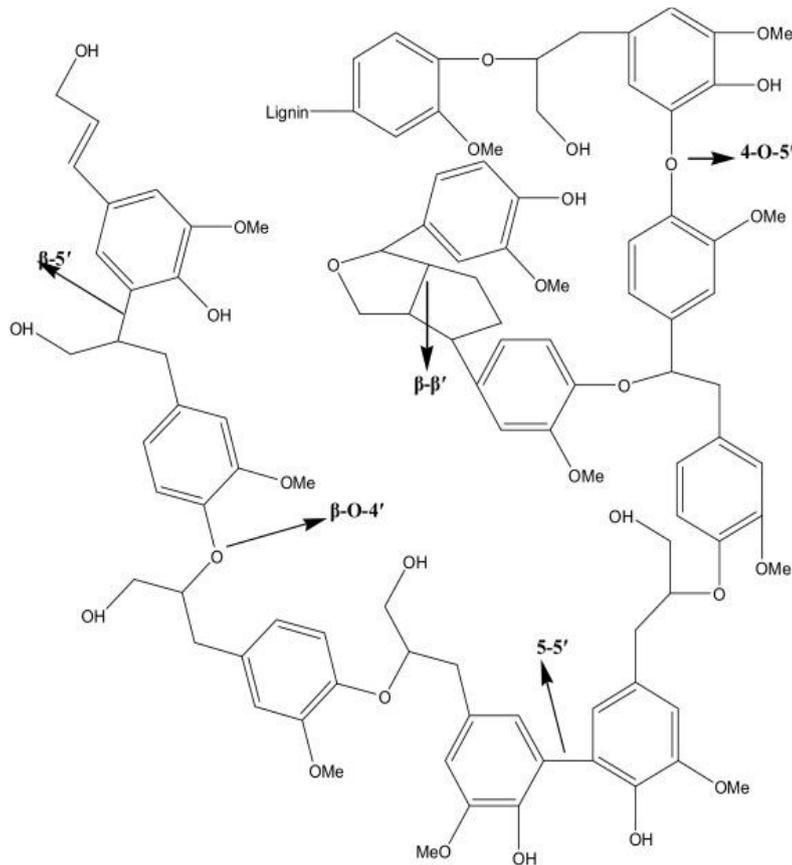
3.2.3. Lignina

A lignina (C₉H₁₀O₂(OCH₃)_n) é um composto aromático complexo, possui alta estabilidade, e é associada a estrutura rígida das paredes celulares dos vegetais, o complexo lignocelulósico assim formado é resistente e recalcitrante a conservação conferindo as plantas resistência a ataques químicos, microbiológicos e mecânicos, além de rigidez e impermeabilidade (RAGAUSKAS et al., 2014; AZADI et al., 2013).

A fração de lignina presente na biomassa seca varia entre (10% - 30%), não possuindo relação com as moléculas simples de açúcar, assim impossibilitando sua utilização para a produção de etanol por rotas fermentativas. A estrutura da lignina apresenta forma tridimensional e é formada por unidades de *p*-propilfenol, com substituintes metoxila no anel aromático, unidas por ligações do tipo éter. Esta macromolécula é formada pela polimerização

de três diferentes monômeros: álcool cumárico, álcool coniferílico e álcool sinapílico (PEREIRA et al., 2008). Na figura 3 encontra se a representação da estrutura da lignina.

Figura 3 – Representação da estrutura da lignina.



Fonte: Adaptado de (YUNPU et al., 2015).

3.3. Etanol 2G

A produção de etanol de segunda geração a partir de biomassas lignocelulósicas tem sido considerada próspera, visto que a demanda por energias limpas vem aumentando com o conceito de preservação do meio ambiente e redução dos gases de efeito estufa, sendo que dentre estas fontes podem se destacar os resíduos agroindustriais como a casca e palha de arroz, palha de cevada, palha de trigo, palha e forragem de milho, bagaço e palha de cana-de-açúcar e as ramas da batata-doce (AKIMKULOVA et al., 2016).

Os materiais lignocelulósicos apresentam estrutura complexa e compacta sendo necessário submetê-los a pré-tratamentos físicos e/ou químicos antes da hidrólise. Este processo é um passo-chave na via da remoção/modificação da lignina e hemiceluloses, redução da cristalinidade da celulose e aumento da porosidade do material, tornando-o mais passível da hidrólise enzimática (LOSORDO et al., 2016).

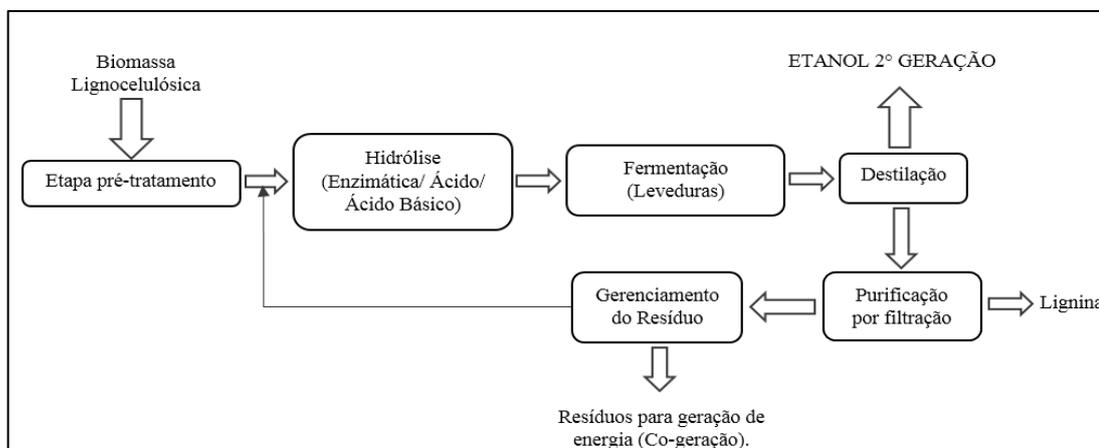
O processo de conversão da biomassa lignocelulósica em açúcares fermentáveis para a produção de etanol celulósico envolve quatro etapas: (I) pré-tratamento, para romper a estrutura cristalina da celulose (II) hidrólise enzimática, para hidrolisar os polissacarídeos em açúcares fermentescíveis; (III) fermentação, para converter os açúcares em etanol e a (IV) destilação, que visa à separação de componentes de uma mistura, de acordo com a volatilidade relativa dos componentes (SANTOS et al., 2013).

Apesar das inúmeras vantagens da produção de etanol de segunda geração, a mesma ainda se depara por diversos impasses, sendo o principal: a sua rota tecnológica, ainda se encontrar em aperfeiçoamento. Um dos desafios da produção está nas novas tecnologias do setor energético que normalmente competem com tecnologias já bem estabelecidas, com custos baixos e ampla base instalada, de modo que o maior problema a ser enfrentado pelas inovações no setor é o de atingir a escala necessária para suprir a demanda energética (BRASIL, 2015).

3.4. Processo de obtenção de biocombustíveis de 2º geração

Para que a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos seja possível é necessária uma etapa para ruptura da estrutura da matriz do material fibroso e liberação dos açúcares fermentescíveis (MILESSE, 2012). Na figura 3 está descrito o passo a passo do processo de obtenção de etanol 2G.

Figura 4 - Fluxograma do processo de obtenção de etanol de segunda geração a partir de biomassa lignocelulósica.

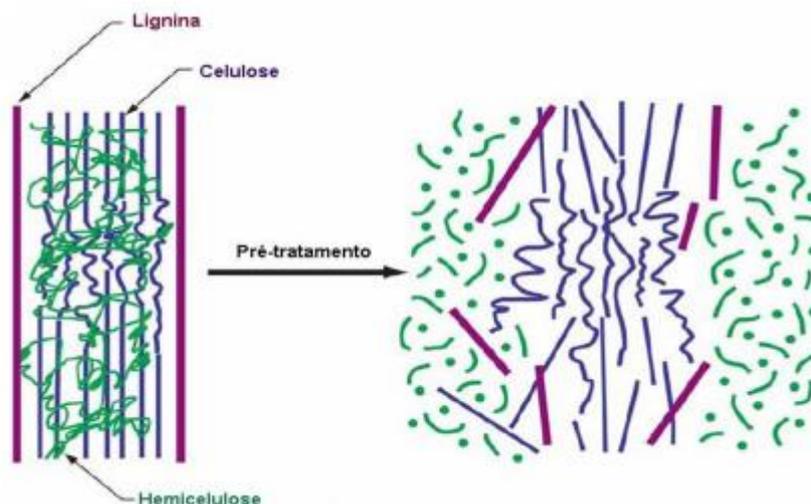


Fonte: Adaptado de Hahn-Hagerdal et al. (2006)

3.4.1 Pré-tratamento da biomassa lignocelulósica

Para converter carboidratos em etanol, estes polímeros devem ser quebrados em açúcares de menor peso molecular, basicamente monômeros, antes que microorganismos empregados na fermentação entrem em contato com o material. Entretanto, a biomassa lignocelulósica, em geral, é resistente à ação da enzima celulase devido a sua cristalinidade, presença de lignina e hemicelulose, área superficial inacessível e caráter heterogêneo das partículas da biomassa. Por este motivo, pré-tratamentos são utilizados com o objetivo de alterar a matriz lignocelulósica da biomassa, com aumento da porosidade do material, redução da cristalinidade e, conseqüentemente, aumento da digestibilidade da celulose, tornando-a mais acessível para o ataque enzimático (GARCIA et al., 2009).

Figura 5 - Efeito do pré-tratamento na estrutura lignocelulósica .



Fonte: Silva, 2009.

O principal objetivo do pré-tratamento é solubilizar ou separar um ou mais componentes da biomassa fazendo com que o sólido resultante seja mais acessível para um tratamento adicional quer seja esse químico ou biológico (SARKAR et al., 2012).

O processo de pré-tratamento a que a biomassa é submetida deve-se ao fato da lignina formar uma rede hidrofóbica e impedir o acesso a celulose e hemicelulose, portanto a deslignificação se faz necessária para se ter acesso aos açúcares fermentescíveis encontrados na biomassa. Nesse contexto, vários estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de se obter um processo na deslignificação para a produção de etanol de segunda geração, visto que é imprescindível essa etapa para facilitar o processo de hidrólise e evitar a formação de subprodutos que possam interferir no processo de fermentação (KODALI & POGATU, 2006).

É possível identificar vários métodos de pré-tratamentos em vegetais lignocelulósicos, sendo eles de natureza física, química, biológica e a combinação deles (CORREIA, 2013). De acordo com Azzan (1989) o pré-tratamento por oxidação por peróxido de hidrogênio em meio alcalino, um dos métodos empregados, é de fácil manuseio, não tóxico e versátil.

Os pré-tratamentos podem ser realizados utilizando ácidos, bases, vapor, ou até mesmo a combinação entre eles, sabendo-se que o vapor de amônia é uma base (SUN & CHENG, 2005). O pré-tratamento objetiva, genericamente, remover a lignina e tornar os açúcares acessíveis aos agentes de hidrólise, buscando por melhores rendimentos (SÀ & BIANCHI, 2015). Na tabela 1 encontra se descrito as principais vantagens e desvantagens dos pré-tratamentos nos materiais lignocelulósicos.

Tabela 1 - Principais vantagens e desvantagens dos pré-tratamentos nos materiais lignocelulósicos.

Métodos de Pré-tratamento	Maiores vantagens	Maiores desvantagens
Moagem	Aumento da área de superfície e redução da cristalinidade	Alto consumo de energia
Alcalino	Redução do conteúdo de lignina e hemicelulose e baixo custo	Alta poluição e custo na recuperação química
Ácido	Redução do conteúdo de hemicelulose e baixo custo	Problemas na recuperação química

Oxidativo	Eficiência na remoção da lignina	Custo elevado de agentes de branqueamento
Organosolv	Alta separação e recuperação da lignina	Alto custos com solventes orgânicos
Líquidos iônicos	Redução da cristalinidade dos materiais lignocelulósicos	Alto custo com os líquidos iônicos
Explosão a vapor	Solubiliza a hemicelulose, desarranja a estrutura da lignina e tem custo eficaz	Alto custo com equipamentos e geração de inibidores
Hidrotérmico	Solubiliza a hemicelulose e gera açúcares a partir da hemicelulose	Alto custo com equipamentos
AFEX	Hidrolisa a celulose e aumenta a área de superfície	Alto custo com equipamentos e amônia
Explosão com CO ₂	Aumento da área de superfície	Alto custo com equipamentos
Biológico	Degrada a lignina e hemicelulose	Períodos longos no pré-tratamento

Fonte: Sun et al., 2016.

3.4.1.1 Pré-tratamento alcalino

O objetivo do pré-tratamento é remover a lignina, modificar a cadeia de hemicelulose, reduzir a cristalinidade da celulose e aumentar a porosidade dos materiais; além disso, deve evitar a degradação ou perda de carboidratos e a formação de bioprodutos que possam inibir os micro-organismos fermentadores (BALAT, 2011).

O pré-tratamento alcalino oxidativo que utiliza agentes oxidantes sob condição alcalina, como peróxido de hidrogênio é uma alternativa eficaz para produção de etanol de lignocelulose. O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é um forte agente oxidante e atua tanto em soluções básicas quanto ácidas (ASSUMPÇÃO, 2015).

De acordo com Assumpção et al. (2016) o peróxido de hidrogênio favorece a remoção da lignina e solubilização da hemicelulose remanescente, podendo extrair também óleos vegetais, proteínas e minerais que compõem a biomassa.

O uso do peróxido de hidrogênio alcalino como pré-tratamento visa solubilizar a lignina a partir dos radicais advindos da dissociação do peróxido de hidrogênio e tem sido bastante utilizado em diversos materiais lignocelulósicos como palha de milho, palha de cevada, palha de trigo, bambu e palha de arroz (CORREIA, 2013).

O pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino é um pré-tratamento químico. Como tal, tem como finalidade remover a lignina presente nos materiais lignocelulósicos, mas sem afetar a cadeia celulósica. Sabe-se que pré-tratamentos oxidativos degradam ou removem mais lignina que um pré-tratamento alcalino (GARCIA et al., 2009). Nos diferentes pré-tratamentos existentes, o peróxido de hidrogênio é um reagente oxidante mais versátil utilizado como pré-tratamento, possuindo a capacidade de produzir diferentes radicais hidroxila, agindo de forma similar a um catalisador e quando reage com o hidróxido de sódio é conhecido como excelente agente de deslignificação de resíduos agrícolas. Este processo é conhecido como oxidação de peróxido alcalino e promove a despolimerização da lignina via reação de lignina e fenólicos relacionados (GOULD, 1984), assim, fazendo com que se aumente a eficiência na remoção da lignina e conseqüentemente aumente a sacarificação dos açúcares (GRAY, 2013).

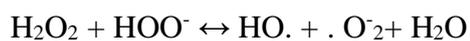
Para melhor compreensão dos mecanismos de degradação da lignina e subseqüente solubilização da hemicelulose, é imprescindível conhecer as reações envolvidas na decomposição do peróxido de hidrogênio (GOULD, 1985).

Quando H_2O_2 reage com água, tem-se a seguinte reação:



A deslignificação de resíduos provenientes de atividades aplicadas à agricultura com peróxido de hidrogênio é fortemente dependente do pH do meio. Seu melhor desempenho ocorre em meio alcalino, mas especificamente em pH na faixa de 11,5-11,6. Nesta faixa de pH, o mecanismo para a oxidação da lignina gera a formação de espécies químicas (radicais) altamente

reativas. As reações químicas, que ocasionam a formação de espécies reativas, estão dispostas a seguir:



Sob condições alcalinas, observa-se a formação do íon peroxidrila – HOO^- . Quando o peróxido sofre decomposição, que pode ser acelerada em presença de luz, alto pH, aquecimento ou presença de metais de transição, há formação de oxigênio e água.

Se houver aumento de pH ou aquecimento, principalmente na faixa de 110 a 120°C, o peróxido de hidrogênio é decomposto instantaneamente. Esta reação torna-se mais rápida se o pH atingir o pKa, que é de 11,6 a 25°C (LEGRINI & BRAUN, 1993; THOMPSON, 1995).

A reação de decomposição pode ser observada a seguir:



Com a adição de uma base ao peróxido de hidrogênio, sendo que a mais comumente utilizada é hidróxido de sódio, há formação de uma solução com alto poder deslignificador. Os radicais hidroxil ($\cdot\text{HO}$) e superóxido ($2\text{O}\cdot^-$), decorrentes da decomposição do peróxido de hidrogênio, são responsáveis pela oxidação da lignina e dissolução da hemicelulose (FANG et al., 1999).

Gould (1984) relatou que soluções alcalinas diluídas a partir de uma solução mais concentrada de peróxido de hidrogênio removem cerca de metade da lignina presente em materiais como palha de trigo, aumentando no meio reacional a quantidade de resíduos insolúveis ricos em celulose que podem ser convertidos em glicose.

O pré-tratamento com peróxido também atua sobre a hemicelulose. A degradação ou oxidação da hemicelulose é significativa quando se trata de pré-tratamentos que empregam ácidos monocarboxílicos como o fórmico, acético e láctico. Entretanto, quando se trata do emprego de peróxido de hidrogênio alcalino, a hemicelulose é somente solubilizada ou parcialmente

degradada. A utilização de H_2O_2 influencia também a etapa seguinte ao pré-tratamento, a hidrólise. Nesta etapa, há liberação de carboidratos ocasionada por processos de oxidação decorrentes da utilização do peróxido na etapa anterior (GARCIA et al., 2009).

3.4.2 Hidrólise

A hidrólise da biomassa (a despolimerização dos polissacarídeos da biomassa para os açúcares fermentáveis) é um passo crucial no processo global da produção de etanol, devido à sua contribuição relativamente grande ao custo total de produção de etanol a partir de substratos lignocelulósicos (GALBE & ZACCHI, 2002).

Hidrólise com ácido concentrado: é realizada a baixas temperaturas ($< 100\text{ }^\circ\text{C}$) usando soluções aquosas de ácidos minerais fortes resultando em rendimentos altos tanto de hexoses quanto de pentoses (85-90% da teoria), no entanto a principal desvantagem é a recuperação do ácido utilizado que demanda elevados gastos de energia, além da técnica exigir o uso de equipamentos resistentes à corrosão, elevando os custos do produto final (RABELO, 2010).

A hidrólise com ácido diluído é considerada uma das técnicas mais importantes quando se deseja obter alto rendimento de açúcares de materiais lignocelulósicos. É geralmente realizado usando ácidos minerais diluídos com concentrações que variam de 0,2 a 2,5% (m/m) em temperaturas que variam de 130 a 210 $^\circ\text{C}$ (SARKAR et al., 2012). As desvantagens são: gastos com reatores resistentes a corrosão; necessidade de neutralização do hidrolisado antes da fermentação e a formação de inibidores do processo fermentativo (BALAT, 2011).

No caso da hidrólise enzimática, para a conversão da celulose em etanol primeiramente a biomassa lignocelulósica deve ser pré-tratada a fim de expor a celulose e a hemicelulose ao ataque da celulase (OGEDA, 2010; RABELO, 2010).

3.4.2.1 Hidrólise enzimática

Após a etapa de pré-tratamento e a remoção da lignina remanescente deste processo é necessária uma etapa de hidrólise da celulose para obtenção de açúcares fermentescíveis. No processo enzimático a hidrólise da celulose é catalisada por enzimas específicas denominadas de enzimas celulolíticas ou celulases (RABELO et al., 2010).

É uma das etapas do processo de conversão de celulose a etanol, sendo considerada a mais seletiva quando se trata de conversão de biomassas. Visa a quebra da celulose em seus monômeros constituintes, requer condições brandas de temperatura e pH, além de não gerar produtos que inibem a fermentação posterior dos açúcares (CARRILLO et al., 2005).

A hidrólise enzimática trata-se do processo de conversão do material lignocelulósico em açúcares para uma posterior fermentação (BALAT, 2011).

3.4.3 Fermentação

Segundo Lehninger et al. (2000), a fermentação alcoólica é um fenômeno bioquímico muito complexo que provoca a transformação do açúcar em etanol, gás carbônico, ácido succínico, ácidos voláteis, ésteres, etc .

O processo da fermentação alcoólica caracteriza-se como uma via catabólica, na qual há a degradação de moléculas de açúcar (glicose ou frutose), no interior da célula de microrganismos (leveduras ou bactérias), até a formação de etanol e CO₂, havendo liberação de energia química e térmica (FILHO e MENDES, 2003).

A fermentação é o processo utilizado na produção de etanol de primeira e de segunda geração, sendo a via mais importante para a obtenção de etanol no Brasil, devido a utilização de microrganismos com baixo custo de sua obtenção (PEREIRA Jr. et al., 2014).

A fermentação da glicose é um processo completamente estabelecido. O microrganismo mais apropriado e utilizado é a levedura *Sacharomyces cerevisiae*, que através de seu emprego intensivo em fermentação industrial, apresenta os melhores desempenhos em conversão de glicose a etanol, produtividade e tolerância alcoólica. Desde que os impactos negativos dos inibidores sejam controlados, a fermentação acontece sem maiores problemas (HUMBIRD et al, 2011).

3.5. Biomassas

3.5.1 Batata doce

A batata doce é um alimento energético, rico em carboidratos e proteína, sendo também importante fonte de minerais. Apresenta cerca de 20% de matéria seca, sendo que dependendo do cultivar, condições de cultivo, época de colheita, terá sua composição alterada o que influenciará sua qualidade para o processamento (LEONEL, 2007).

Dentre as raízes e tubérculos cultivados no mundo, a batata-doce ocupa o segundo lugar em produtividade ficando atrás apenas da mandioca (RAY e RAVI, 2005). Sendo cultivada em mais de 100 países, a batata-doce está entre as culturas de maior importância do mundo, tendo a china como o maior produtor, com uma produtividade de 143,83 milhões de toneladas. O

Brasil é o principal país produtor da América Latina, vem na 16ª colocação com 776 mil toneladas (FAO, 2019).

A batata-doce é uma cultura que produz alta quantidade de energia por unidade de área por unidade de tempo, a que torna uma cultura com grande potencial para a produção de biocombustível (EMBRAPA, 2008). Visando a produção de etanol, a batata-doce possui composições químicas adequadas para obtenção deste produto. Segundo Silva et al. (2002) ao colher a batata-doce, esta cultura apresenta cerca de 30% de matéria seca que contém 85% de carboidratos, cujo componente principal é o amido.

De acordo Jones et al. (1983) ao considerar a batata doce como uma fonte promissora para a obtenção de energia relataram em suas pesquisas uma estimativa de 2160,3 a 4320,6 litros de etanol por ha, para duas cultivares de batata-doce. Enquanto que Silveira, (2008) apresenta cultivares de batata doce com índices de produção etílica por hectare duas vezes maior que os de cana-de-açúcar, obtidos por meio de melhoramento genético. Já Araújo et al. (1978) no Instituto de Açúcar e Álcool (I.A.A) obteve resultados de 158 litros de por tonelada de raiz, porém, com uma produtividade no campo de 11 a 13 toneladas por ha.

3.5.2 Rama da batata doce

Partes das ramas com boa sanidade são usadas na produção da cultura, pois para a implantação de uma lavoura de batata-doce, o produtor tem três opções para obter novas plantas: brotação de batatas selecionadas, utilização de ramas-semente de uma cultura em desenvolvimento ou aquisição de mudas de um viveiro (MASIERO, 2012). No plantio convencional usam-se as ramas-sementes (estacas da planta) retiradas das partes mais novas do caule contendo seis a oito entrenós (cerca de 30 cm), pois nesta região as chances são maiores de enraizamento rápido, além de apresentarem um menor índice de contaminação por fungos, pragas e outros patógenos (SILVEIRA et al., 2014).

Outro gargalo é a subutilização das ramas, que podem ser aproveitadas como co-produto agregando valor a cadeia produtiva do etanol de batata-doce. Sabe-se que a biomassa da parte aérea (ramas e folhas) possui em sua composição altos teores de proteína e carboidratos complexos, aliado a uma produtividade média de 20 toneladas por hectares. Podendo ter múltiplas aplicações como na fabricação de rações para animais, alimentação humana e produção de etanol de 2º geração (MORAES et al., 2016).

A composição centesimal de ramas de batata-doce apresentam fibra bruta (14,26%) e gordura bruta (5,28%). É observado também bons teores dos micronutrientes K, Na, Mg constituindo uma excelente fonte de polifenóis. As folhas de batata-doce contêm vários nutrientes e compostos bioativos, devendo ser consumidas como vegetais de folhas em uma tentativa de reduzir a desnutrição, especialmente nos países em desenvolvimento (SUN et al., 2014).

3.5.3 Sorgo biomassa

O sorgo é uma planta de metabolismo C₄, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas. E é considerado uma “smart crop” em função de produzir combustível através da biomassa e açúcares fermentáveis que, industrializados, transformam-se em etanol e/ou em alimento (SOUZA et al. 2005).

Segundo Santos et al., (2013) o sorgo pode ser explorado em larga escala e com grande adaptabilidade as diversas condições de clima e solo, com ciclo curto de produção (quatro meses), menor exigência em água do que a cana-de-açúcar e o milho e boa tolerância à seca. O sorgo é o quinto maior cereal produzido no mundo

Uma das características fisiológicas que torna o sorgo um diferencial entre as culturas forrageiras é a capacidade de paralisar ou reduzir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico e retomando o seu crescimento vegetativo logo após a disponibilidade de água. Após esse período as plantas apresentam um crescimento vigoroso em função do acúmulo de fotoassimilados no início do período de estresse (ROCHA et al., 2015).

Entre as diversas matérias-primas renováveis que estão sendo avaliadas atualmente para produção de etanol, especial destaque vem sendo dado ao sorgo biomassa, pois é abundante em matéria seca, característica responsável pelo fornecimento de energia. A planta possui muitas folhas, caule fibroso e chega a mais de cinco metros de altura, além de alto potencial produtivo, superior a 100 toneladas de matéria fresca por hectare para semeio na safra (outubro/novembro). Tem ciclo longo, de 150 a 210 dias. É uma solução para o agricultor que trabalha com uma única safra por ano (NOVACANA, 2017).

Além disso, a capacidade de adaptação a climas tropicais e temperados, sua elevada eficiência na utilização da água, sua tolerância à estiagem e sua capacidade potencial de produzir grandes quantidades de biomassa lignocelulósica são alguns dos numerosos pontos

fortes dessa planta. Assim, a grande potencialidade para a obtenção do etanol lignocelulósico ou de segunda geração se faz presente (PARRELLA, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Preparação das amostras e local de realização do experimento

O estudo foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins (UFT). As biomassas planta inteira do sorgo biomassa (BRS 711) e rama da batata doce (variedade Júlia), foram conseguidos de experimentos de colegas do Mestrado em Agroenergia. As biomassas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas. Após a secagem do material em estufa ocorreu o processo de moagem utilizando moinho de facas acoplado com peneira de 10 mesh.

4.2 Parâmetros avaliados

Foram determinados as concentrações de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, hemicelulose, celulose nas biomassas antes e após o pré tratamento. Também quantificou-se o coeficiente de hidrólise da fibra (CH_{fibra}) e estimou-se a produção de etanol.

4.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos avaliados foram diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio H_2O_2 (30%): (1%, 2%, 3%, 4% e 5%) na deslignificação das biomassas (pré-tratamento) de duas biomassas lignocelulósicas (sorgo biomassa BRS 711 e rama da batata doce variedade Júlia), sendo utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 com 4 repetições, totalizando 40 parcelas experimentais.

4.4 Caracterização das biomassas in natura e das biomassas após os pré-tratamentos

4.4.1 Concentração de FDN, FDA e hemicelulose

Foram determinados os teores de FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido) e Hemicelulose seguindo o método de Van Soest conforme citado por Silva e Queiroz (2012) que consiste na separação das várias frações da biomassa por meio de reagentes específicos denominados detergentes.

Com referência à metodologia para determinação de FDN foi feita adaptação analítica onde inicialmente pesou-se 0,5 grama de amostra seca de cada tratamento, que passou por processo de lavagem em 20 ml de solução de fibra em detergente neutro, composta por (EDTA sal dissódico + Fosfato de sódio + Sulfato láurico de sódio + água destilada) por 120 minutos à temperatura de 90 °C no equipamento Banho-Maria. Após o processo a amostra resultante foi filtrada utilizando bomba a vácuo e, posteriormente submetida à secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C até massa constante, com posterior pesagem.

Para determinação de FDA, utilizou-se a mesma marcha citada anteriormente para FDN, diferenciando apenas na quantidade de amostra de cada tratamento utilizada no processo, que passou a ser 1 grama, e a solução utilizada para a lavagem, passando a ser detergente ácido, composta por (Ácido sulfúrico + CTAB + água destilada). Para determinação da hemicelulose foi considerada a diferença entre os teores obtidos para FDN e FDA.

4.4.2 Determinação da Lignina e celulose

O teor de lignina das biomassas foi determinado pelo método de “Klason”, conforme descrito por Silva & Queiros (2002). Primeiramente os cadinhos filtrantes foram previamente secos a 100 °C em estufa durante a noite e posteriormente pesados. Em seguida foram colocados 0,5 g de resíduo do FDA no cadinho filtrante e os mesmos foram colocados em recipientes individuais da mesma altura dos cadinhos.

Foi adicionado 15 mL de H₂SO₄ a 72% em cada cadinho filtrante para umedecer o conteúdo e repetiu-se esse processo por três vezes, até a quantidade de ácido do recipiente ser igual à quantidade de ácido presente no interior do cadinho de forma que o resíduo estivesse todo submerso.

Após a digestão, os cadinhos foram filtrados sob vácuo até esgotar e o resíduo lavado com água quente até que todo vestígio do H₂SO₄ a 72% fosse removido. Em seguida os cadinhos foram levados a estufa overnight a 65 °C durante 8 horas, após esse período os cadinhos foram pesados e posteriormente levados à mufla durante 5 horas a 550°C, para que fosse realizada a determinação do teor de cinzas. A determinação da lignina se dá pela equação 03.

$$\text{Lignina (\%)} = \frac{\text{Pf} - \text{Pc}}{\text{Pr}} - \text{cinzas} \quad \text{Equação 03}$$

Onde: Pf = Peso do cadinho + resíduo (final);

Pc = Peso do cadinho;

Pr = Peso do resíduo (inicial);

$$\text{Celulose (\%)} = \% \text{ Fda} - \% \text{ Lignina} \quad \text{Equação 04}$$

4.4.2 Perdas de lignina e hemicelulose

Com os valores de lignina e hemicelulose obtidos para as biomassas in natura e para os resíduos após os pré tratamentos com peróxido de hidrogênio, foi possível quantificar as perdas de lignina e hemicelulose em função das diferentes concentrações de peróxido utilizadas. As formas utilizadas para quantificar essas variáveis estão demonstrados abaixo:

$$\text{Lignina esperada (\%)} = \frac{\text{valor da lignina in natura (\%)} \times 100}{\text{residuo (\%)}}$$

$$\text{Decréscimo de lignina (\%)} = \text{Lignina esperada (\%)} - \text{lignina in natura (\%)}$$

$$\text{Perdas de lignina (\%)} = \frac{\text{Decréscimo de lignina (\%)} \times 100}{\text{lignina esperada (\%)}}$$

$$\text{Hemicelulose esperada (\%)} = \frac{\text{valor da hemicelulose in natura (\%)} \times 100}{\text{residuo (\%)}}$$

$$\text{Decréscimo de hemicelulose (\%)} = \text{hemicelulose esperada} - \text{hemicelulose in natura}$$

$$\text{Perdas de Hemicelulose (\%)} = \frac{\text{Decréscimo de hemicelulose (\%)} \times 100}{\text{hemicelulose esperada (\%)}}$$

Ao se expressar como lignina esperada, decréscimo de lignina, perdas de lignina, hemicelulose esperada, decréscimo de hemicelulose e perdas de hemicelulose, está se comparando os valores após os pré tratamentos em relação aos valores encontrados nas biomassas in natura.

4.5 Produção de Etanol

O processo para obtenção de etanol correu conforme descrito por Pereira Jr et. al., 2008, pelo método de Hidrólise e fermentação separada (*Separate Hydrolysis and Fermentation - SHF*), onde todas as fases do processo são executadas em etapas separadas, assim, primeiramente as biomassas são pré-tratadas, em seguida, o resíduo do pré-tratamento é hidrolisado (hidrolise enzimática) e posteriormente é realizada a fermentação.

4.5.1 Pré-tratamento

No procedimento do pré-tratamento foram adicionados 2g da amostra seca em erlenmeyer de 250 mL e acrescido 100 mL de H₂O₂ corrigido com hidróxido de sódio o pH para 11,5 e levado a mesa agitadora modelo solab por 24 horas, a 150 rpm e 25 °C (KRISHNA, 2000). Foram realizados para cada tratamento, 10 repetições. Após as 24 horas decorridas, o material foi filtrado em papel filtro com auxílio de bomba à vácuo e uso de um kitassato. Depois de filtrado, o material retido em filtro foi levado à estufa por 24 horas a 60 °C, depois do tempo corrido o papel filtro com a amostra foi retirado da estufa e levado ao dessecador por 30 minutos e posteriormente pesado. O material residual fibroso foi avaliado para determinação da composição da fibra (celulose, hemicelulose e lignina)

4.5.2 Hidrólise enzimática

Com o objetivo de disponibilizar os açúcares fermentescíveis, o material residual lignocelulósico obtido após pré-tratamento foi submetido à hidrólise enzimática utilizando o complexo enzimático Cellic CTec2 batelada VCNI0013 da empresa Novozymes. O complexo citado promove a conversão de carboidratos complexos a açúcares simples antes da fermentação, ele é uma mistura de celulases agressivas, com alto percentual de β-glucosidase e hemicelulase. O meio reacional consistiu de 0,83g do substrato, 50 μL do complexo enzimático Cellic CTec2 diluído em 40 mL do tampão citrato de sódio/ácido cítrico (0,05 M, pH = 4,8) em erlenmeyer de 125 ml. As reações enzimáticas se deram em mesa agitadora modelo solab a 48 °C, agitação de 150 rpm, durante 72 horas. A dose de Cellic CTec2 utilizada foi obtida com base no teor de fibra presente em cada substrato pré-tratado, sendo usado a dosagem que corresponde a 6,0% da fibra como complexo enzimático (NOVOZYMES, 2015).

Depois de decorrido as 72 horas, o material foi filtrado em filtro de papel em bomba à vácuo com auxílio de Kitassato, pesado e levado a estufa por 24 horas, 60 °C e depois pesado para expressão do coeficiente de hidrólise. Através da diferença do peso final (após a hidrólise enzimática) e o inicial (antes da hidrolise enzimática), estimou-se o coeficiente de hidrólise dos tratamentos.

4.5.3 Fermentação

A determinação dos açúcares fermentescíveis pela produção de CO₂, forão realizadas através da relação entre a quantidade de etanol produzido e a quantidade de glicose consumida no processo de fermentação, conforme a estequiometria da reação:



Para a realização do processo fermentação etílica foi realizado o ensaio com o mosto hidrolisado, utilizando-se a espécie de levedura *Saccharomyces cerevisiae*, por ser uma levedura mesofílica (20-40°C), utilizada com muita eficiência em muitos processos industriais (SOUZA, 2009).

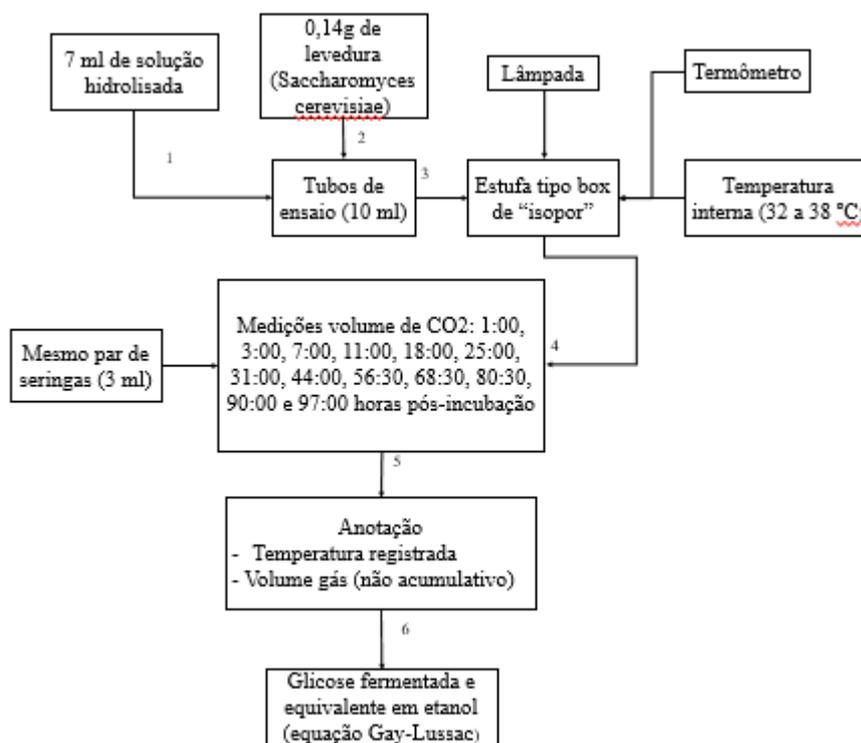
4.5.3.1 Estimativa de produção de etanol pela produção de CO₂

A fermentação alcoólica foi obtida semelhante com as metodologias descritas por Blümmel e Orskov (1993) e Theodorou et al. (1994) que utilizaram sistemas baseados em seringas. No qual o volume do gás produzido foi medido com seringa para a construção das equações de produção de volume e massa de gás (CO₂).

Esta etapa consistiu em acondicionar 7 ml do hidrolisado em tubos de vidro (tipo BD Vacutainer siliconado sem gel de 10 ml) e adicionar 0,14 g da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Foram acopladas seringas descartáveis com capacidade de 3ml em cada tampa dos tubos para início da realização da coleta do volume produzido de CO₂, em horários que foram pré-estabelecidos a fim de quantificar o volume de gás produzido durante o processo, foram realizadas medições do volume de CO₂, nos seguintes tempos: 1:00, 3:00, 7:00, 11:00, 18:00, 25:00, 31:00, 44:00, 56:30, 68:30, 80:30, 90:00 e 97:00 horas pós-incubação. As leituras foram realizadas com os tubos em caixa de isopor adaptada com lâmpada fluorescente e termômetro a fim de manter a temperatura controlada de acordo com as exigências do processo fermentativo.

O volume de gás produzido em cada horário foi medido utilizando-se sempre um mesmo par de seringas a fim de reduzir efeitos de variação entre diferentes seringas. A cada horário de coleta a temperatura da estufa foi anotada, permitindo ajuste do volume à temperatura para cálculos posteriores da massa de CO₂ produzida.

Figura 6 - Fluxograma do processo de produção de CO₂, durante o processo de fermentação.



Fonte: Autor.

4.5.4 Determinação da concentração glicose e etanol

A determinação da concentração de Glicose e Etanol obtidos a partir da hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica das biomassas, levou em consideração três processos para estimar o rendimento de etanol. No primeiro foi utilizado a quantidade de açúcares fermentescíveis contidos no percentual de sacarose existente na porção do substrato utilizado no momento da hidrólise, estimados a partir da diferença do peso do material no início do processo de hidrólise e ao final do processo de hidrólise, para quantificar a produção de etanol usando a equação de Gay-Lussac, que estabelece que a cada 100 Kg de açúcares redutores totais, produz-se 46,49 kg do biocombustível (FINGUERUT et al., 1985). O segundo processo foi fermentar o material hidrolisado utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em condições de temperatura controlada. À medida que o processo de fermentação foi iniciado, através da inoculação da levedura foram realizadas coletas do volume de CO₂ e posteriormente converteu esses valores em massa de CO₂. Após a obtenção dos dados foi possível então quantificar a glicose fermentada e o equivalente etanol produzido a partir da mesma equação estequiométrica descrita por Gay-Lussac.

4.6 Análises estatísticas

Os dados das variáveis estudadas, foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados e posteriormente foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância, as médias foram submetidas à análise de regressão, os testes foram realizados no programa "SISVAR 5.6" (FERREIRA, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização das biomassas residual

Para acompanhar a evolução do efeito do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino (PHA) nos resíduos lignocelulosicos, rama da batata doce (R.B.) e sorgo biomassa (S.B.), foram determinados os teores de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina. Para a biomassa rama de batata doce isento de pré-tratamento (in natura), as porcentagens de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina foram, respectivamente, 48,17%, 37,34%, 29,91%, 10,82% e 8,17%. Para a biomassa sorgo biomassa isento de pré-tratamento (in natura), as porcentagens de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina foram, respectivamente, 75,48%, 35,59%, 26,31%, 39,88%, 9,28% (tabela 2).

Tabela 2 - Valores de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina nas biomassas in natura rama de batata doce e sorgo biomassa

Biomassa	Variável				
	FDN	FDA	Celulose	Hemicelulose	Lignina
R.B.	48,17	37,24	29,91	10,82	8,17
S.B.	75,48	35,59	26,31	39,88	9,28

R.B.: Rama de batata doce; S.B.: Sorgo biomassa.

Costa et al., (2015) estudando a biomassa rama de batata doce (variedade Júlia), a mesma variedade estudada na pesquisa presente, encontrou valores de FDN, FDA e Hemicelulose com médias respectivas de 44,58, 39,37 e 5,22%, valores de FDN e FDA aproximados com os encontrados no presente trabalho, obtendo uma diferença significativa apenas quando comparado os valores de hemicelulose encontrados no trabalho de costa com média de 5,22% e o presente estudo com média de 10,82%.

Correa, (2013) analisando a composição química da fração fribosa da rama de batata doce, encontrou valores próximos dos observados no presente trabalho, sendo obtido nas

variáveis FDN, FDA, lignina, hemicelulose e celulose valores respectivamente: 51,9, 39,8, 8,4, 12,1 e 31,4%. Valores próximos aos encontrados neste trabalho também foi observado por Andrade et al., (2014), que ao analisar a composição fibrosa da rama de batata doce, obteve para as variáveis FDN, FDA, lignina, hemicelulose e celulose valores respectivos de: 53,0, 40,8, 7,8, 12,2 e 33,0%.

Simeone et al., (2018) analisando a composição química de sorgos biomassas, obteve valores próximos aos encontrados no presente trabalho para o genótipo de sorgo biomassa bmr (201552B001) e para o sorgo biomassa Brs 716, encontrando para o genótipo de sorgo biomassa bmr 201552B001 médias para as variáveis FDN, FDA, hemicelulose e celulose respectivamente: 71,2, 39,6, 31,7 e 35,6%. Já para o sorgo biomassa Brs 716 encontrou valores médios de FDA, celulose e lignina respectivos de 36,9, 30,9 e 7,1%. Esses valores da composição fibrosa do sorgo biomassa encontrados pelos autores vem de encontro com os resultados obtidos no presente estudo.

5.2 Resumo do quadro de análise de variância e análise de regressão

O resumo do quadro de Análise de variância demonstra que ocorreu interação significativa entre os fatores biomassas e concentrações de peróxido de hidrogênio, para as variáveis analisadas, resíduo após o pré-tratamento, FDN, FDA, hemicelulose, celulose e redução da lignina ao nível de ($p < 0,05$) pelo teste F. Já para as variáveis lignina e produção de etanol não foi observado interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações, porém na variável lignina ocorreu diferença significativa ($p < 0,05$) quando observa-se os fatores separados e na variável produção de etanol ocorreu diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator concentrações (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo do quadro de Análise de variância dos valores das variáveis, resíduo após o pré-tratamento, FDN, FDA, lignina, hemicelulose, celulose, perdas de lignina, perdas de hemicelulose e produção de etanol em função de diferentes concentrações de H_2O_2 nas biomassas rama da batata doce e sorgo biomassa

FV	GL	QM								
		R. A. P. T.	FDN (%)	FDA (%)	LIG. (%)	HEM (%)	CEL. (%)	P. LIG. (%)	P.H. (%)	E. E. (ml/kgMS)
Biomassa	1	0,18 ^{ns}	0,051 *	1305, 84*	192,68 *	110,4 2*	2291, 21*	0,37*	1375 0,8*	0,025 ^{ns}
Concentração	4	0,31*	0,004 *	184,3 5*	24,13*	45,74 *	101,4 9*	0,09*	296,4 1*	0,033*
Bio.*Conc en.	4	4,44*	0,007 *	0,18*	4,70 ^{ns}	305,3 7*	184,1 6*	0,18*	1332, 50	0,002 ^{ns}

Erro	30	0,05	0,000	0,058	2,21	9,52	30,30	0,06	23,58	0,007
T. corrigido	39		2							
CV %		3,36	0,82	7,37	14,91	17,5	8,44	2,52	7,92	5,11

R. A. P. T.: Resíduo após o pré-tratamento; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; LIG: Lignina; HEM: Hemicelulose;

CEL: Celulose; P. LIG: perdas de lignina; P. H.: Perdas de hemicelulose; E. E. (ml/KgMS): Estimativa de produção de etanol (ml/KgMS). * – significativo ao nível de (p<0,05). ns – não significativo ao nível de (p>0,05).

Tabela 4 - Equações de regressão, probabilidade do ajuste (significância da regressão) e coeficiente de regressão (R²) estimados para os valores das variáveis: resíduo após o pré-tratamento, FDN, FDA, lignina, hemicelulose, celulose, perdas de lignina, perdas de hemicelulose e produção de etanol em função de diferentes concentrações de H₂O₂ nas biomassas rama da batata e sorgo biomassa.

Parâmetro (Y)	Biomassa	Equações	p	R ²
Resíduo (%)	R.B.	$Y = -0,783967x^2 + 9,219999x + 28,866442$	0,0027*	0,9544
	S.B.	$Y = -0,669221x^3 + 7,490393x^2 - 27,916496x + 80,376714$	0,0237*	0,9999
FDN (%)	R.B.	$Y = 0,749335x^3 - 6,269263x^2 + 9,033401x + 89,498830$	0,0352*	0,9266
	S.B.	$Y = 0,874317x + 92,698403$	0,0897 ^{ns}	0,9292
FDA (%)	R.B.	$Y = 1,697466x^2 - 13,502469x + 89,077295$	0,0248*	0,8603
	S.B.	$Y = 3,566983x^3 - 31,067121x^2 + 77,193420x + 28,313200$	0,0000*	1
Lignina	R.B.	$Y = -0,777995x + 11,947060$	0,0024*	0,8859
	S.B.	$Y = 0,665193x^2 - 5,237952x + 13,620290$	0,0022*	0,9879
Hemicelulose	R.B.	$Y = 1,355833x^3 - 12,519107x^2 + 31,292560x - 3,795500$	0,0023*	0,7522
	S.B.	$Y = -3,269792x^3 + 28,564911x^2 - 69,582798x + 58,382500$	0,0000*	0,9927
Celulose	R.B.	$Y = 1,670416x^2 - 12,562169x + 76,940865$	0,0305*	0,8157
	S.B.	$Y = 3,313158x^3 - 29933698x^2 + 78,675818x + 16,916795$	0,0001*	1
Perdas de Lignina	R.B.	$Y = 1,654340x^3 - 12,374303x^2 + 23,556383x + 36,426435$	0,0088*	0,9979
	S.B.	$Y = 2,055498x^3 - 23,145337x^2 + 84,879665x - 20,598564$	0,0081*	0,9993
Perdas de Hemicelulose	R.B.	$Y = -6,771231x^3 + 61,247931x^2 - 155,381837x + 139,905345$	0,0000*	0,7743
	S.B.	$Y = 4,057269x^3 - 36,069106x^2 + 91,432350x + 19,749845$	0,0000*	0,9943
Perca D. componentes	RB	$Y = -6,905762x + 101,684377$	0,0000*	0,9159

	S.B.	$Y = 3,606278x + 79,293582$	0,0035*	0,8578
Etanol	R.B.	$Y = 4,316000x + 30,058000$	0,0095*	0,7661
	S.B.	$Y = 3,577750x + 37,557750$	0,0385*	0,5034

R.B.: Rama de batata doce; S.B.: Sorgo biomassa.

5.3 Resíduo após o pré-tratamento

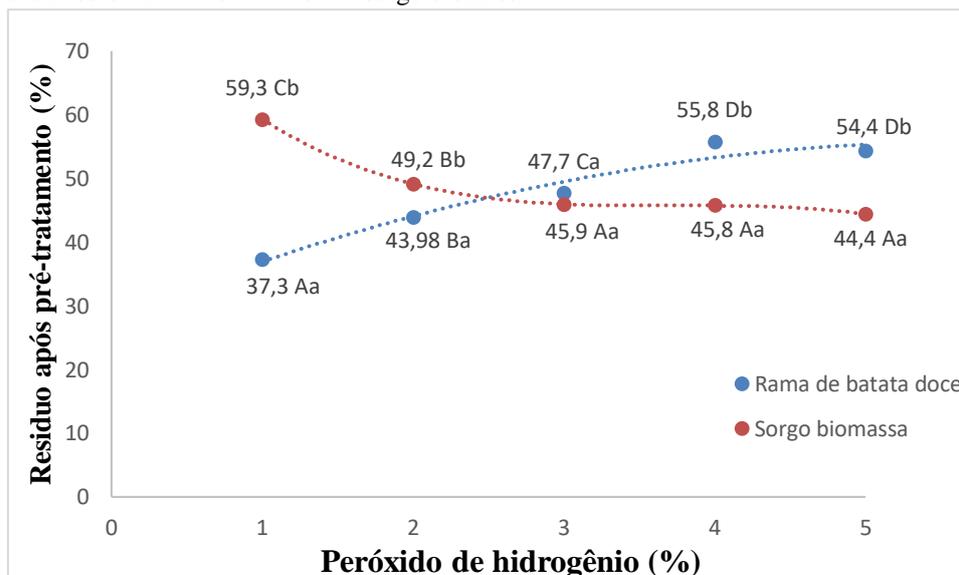
Na figura 7 encontram-se os resultados médios obtidos para a variável resíduo após o pré tratamento. Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, onde as concentrações de 3, 4 e 5% com medias respectivas de 45,94, 45,75 e 44,40%, obtiveram um menor valor de residuo em relação as outras concentrações, seguidas pelas concentrações de 2% com média de 49,17% e a concentração de 1% que foi a concentração com maior valor de resíduo, com média de 59,28%. Na biomassa rama de batata ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$), a concentração de 1% com média de 37,70% foi a que obteve um menor valor de residuo, seguida da concentração de 2% com média de 43,98%, concentração de 3% com média de 47,66% e as concentrações que tiveram maiores valores de resíduos foram, 4 e 5% com médias de 55,80 e 54,4%, não se diferindo entre si ($p > 0,05$).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observou se que na concentração de 3% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas, já nas concentrações de 4 e 5% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa sorgo biomassa obteve menores valores de resíduo, quando comparados com a biomassa rama de batata. Nas concentrações de 1 e 2% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa rama de batata obteve menores valores de resíduos, quando comparado com a biomassa sorgo biomassa (Figura 7).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores dos resíduos das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial quadrático para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = -0,783967x^2 + 9,219999x + 28,866442$ e com um valor de R^2 alto de 0,9544, evidenciando que a equação explica 95,44% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que até a concentração de 4% houve acréscimo no valor de resíduo em função do aumento da concentração, porém na concentração de 5% não foi observado o mesmo comportamento, sendo que obteve valor igual significamente com a concentração de 4%. Na biomassa sorgo biomassa ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = -0,669221x^3 + 7,490393x^2 - 27,916496x + 80,376714$ e com um valor bem representativo do

R^2 obtendo um valor de 0,9999, evidenciando que a equação explica 99,99% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que até a concentração de 3% houve decréscimo do valor de resíduo com o aumento da concentração, já a partir da concentração de 4% não foi observado o mesmo comportamento, sendo que não houve diminuição no valor em função das concentrações de 3 à 5% (Tabela 4).

Figura 7 – Rendimento do resíduo do pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa.



Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha não se diferem entre si pelo teste de Scott-Knot ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas: comparação das médias na linha; Letras minúsculas: comparação das médias na coluna.

5.4 Composição das biomassas após o pré-tratamento

Na figura 8 estão apresentados os valores de FDN e FDA nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 . Analisando a variável FDN, houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as concentrações, com médias de 93,64%, 94,13, 98,39, 96,74 e 96,71. Dentro da biomassa rama de batata doce houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, a concentração de 1% com média de 93,63% obteve maiores valores de FDN em relação às outras concentrações, seguidos em maiores valores pelas concentrações 2 e 3% com médias de 86,02 e 84,10 respectivamente, as concentrações de 4 e 5% com médias de 70,82 e 72,21 foram as que tiveram menores valores de FDN (Figura 8 A).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observou-se que na concentração de 1% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas, já nas

concentrações de 2, 3, 4 e 5% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa sorgo obteve maiores valores de FDN quando comparado com a biomassa rama de batata (Figura 8 A).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores de FDN após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial cúbico para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 0,749335x^3 - 6,269263x^2 + 9,033401x + 89,498830$ e com um valor bem representativo de R^2 obtendo um valor de 0,9266, evidenciando que a equação explica 92,66% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que até a concentração de 3% houve decréscimo do valor de FDN com o aumento da concentração, já a partir da concentração de 4% não foi observado o mesmo comportamento, sendo que não houve diminuição no valor da concentração de 5 para a de 4%. Na biomassa sorgo biomassa não foi possível ajustar uma regressão, devido não ter sido observado diferença entre os valores das concentrações, pois o fator concentração não interferiu nos resultados do valor de FDN da biomassa sorgo biomassa (Tabela 4).

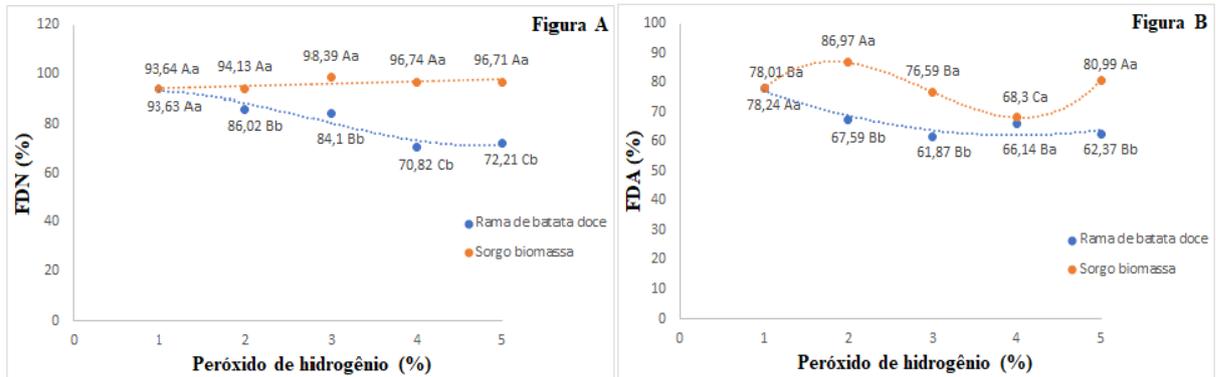
Analisando a variável FDA, houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, as concentrações de 2 e 5% obtiveram maiores valores de FDA com médias de 86,97 e 80,99%, seguidas pelas concentrações de 1 e 3% com médias de 78,01 e 76,59%, a concentração que obteve menor valor de FDA, foi a concentração de 4% com média de 68,30%. Dentro da biomassa rama de batata doce houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, a concentração de 1% com média de 78,24% obteve maiores valores de FDA em relação as outras concentrações, as concentrações de 2, 3, 4 e 5% com médias de 67,59, 61,87, 66,14 e 62,37% não se diferenciaram estatisticamente ($P > 0,05$) (Figura 8 B).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observou-se que nas concentrações de 1 e 4% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas, já nas concentrações de 2, 3 e 5% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa sorgo obteve maiores valores de celulose, quando comparado com a biomassa rama de batata (Figura 8 B).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores da FDA das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial quadrático para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 1,697466x^2 - 13,502469x + 89,077295$ e com um valor de R^2 significativo de 0,8603, evidenciando que a equação explica

86,03% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que até a concentração de 3% houve decréscimo do valor de FDA com o aumento da concentração, já na concentração de 4% ocorreu um pequeno acréscimo no valor em relação a concentração de 3%. Na biomassa sorgo biomassa ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = 3,566983x^3 - 31,067121x^2 + 77,193420x + 28,313200$ e com o valor de $R^2: 1$, sendo assim foi encontrado o valor máximo de R^2 , evidenciando que a equação explica 100% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que ocorreu aumento e diminuição dos valores de FDA em função do aumento da concentração de peróxido de hidrogênio, onde podemos destacar a concentração de 2% como superior em relação as demais (Tabela 4).

Figura 8 – Valores de FDN e FDA nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H₂O₂



Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha não se diferem entre si pelo teste de scott knot ao nível de 5% de significância; Letras maiúsculas: comparação das medias na linha; Letras minúsculas: comparação das medias na coluna.

Na figura 9 estão apresentados os Valores de lignina, hemicelulose e celulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H₂O₂. Analisando a variável lignina, dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, a concentração de 1% de peróxido de hidrogênio foi a que demonstrou uma menor solubilização da fração lignina, obtendo o maior teor com média de 9,02 em relação as outras concentrações, seguido em maiores valores pela concentração de 2% com média de 5,97, as concentrações de 3, 4 e 5% com respectivos teores médios de lignina de 3,65, 3,62 e 3,59% os quais não obtiveram diferença significativa ($P > 0,05$) entre si. Já dentro da biomassa rama de batata doce, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as concentrações, com as médias de 11,49, 9,99, 9,67, 8,91 e 7,98 respectivamente para as concentrações de 1 a 5% de H₂O₂ (Figura 9 A).

Analisando o efeito das concentrações entre as biomassas, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, foi observado que em todas as concentrações a biomassa sorgo obteve menores teores de lignina em comparação com a biomassa rama de batata (Figura 9 A).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores de lignina das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H₂O₂, é o ajuste de regressão linear para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = -0,777995x + 11,947060$ e com um valor de R² significativo de 0,8859, evidenciando que a equação explica 88,59% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que esse ajuste linear demonstra a tendência de que com o aumento da concentração de peróxido a uma tendência de diminuir numericamente o valor de lignina. Na biomassa sorgo biomassa ocorreu

um ajuste de regressão polinomial quadrático, com equação $Y = 0,665193x^2 - 5,237952x + 13,620290$ e com um valor de R^2 altamente representativo de 0,9879, evidenciando que a equação explica 98,79% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que até a concentração de 3% houve decréscimo do valor de lignina com o aumento da concentração, já a partir da concentração de 4% não foi observado o mesmo comportamento, sendo que não houve diminuição no valor em função do aumento da concentração (Tabela 4).

Analisando a variável hemicelulose, houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, onde a concentração de 2% obteve menor valor de hemicelulose com média de 7,93% em relação às outras concentrações, em seguida as concentrações de 1, 3 e 5% não obtiveram diferença estatisticamente ($P > 0,05$) entre si, com médias de 13,94, 17,52 e 15,71% respectivamente, a concentração de 4% foi a que obteve maior valor de hemicelulose, com média de 28,43%. Já para a biomassa rama de batata ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$), a concentração de 4% obteve menor valor de hemicelulose com média de 5,16% em relação às outras concentrações, em seguida a concentração de 5% com média de 9,84%, as concentrações de 1, 2 e 3% não obtiveram diferença estatisticamente ($P > 0,05$) entre si, com médias de 17,01, 16,88 e 18,04% respectivamente e foram as concentrações que obtiveram maiores valores de hemicelulose dentro da biomassa rama de batata doce (Figura 9 B).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observou-se que nas concentrações 1 e 3% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas, já na concentração 4 e 5% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa rama de batata obteve menores teores de hemicelulose, quando comparados com a biomassa sorgo e na concentração de 2% também ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) onde a biomassa sorgo obteve menor valor de hemicelulose (Figura 9 B).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores de hemicelulose nas biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial cúbico para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 1,355833x^3 - 12,519107x^2 + 31,292560x - 3,795500$ e com um valor de R^2 representativo de 0,7522, evidenciando que a equação explica 75,22% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que até a concentração de 3% não houve diferença

significativa nos valores, já na concentração de 4% houve decréscimo do valor de hemicelulose e na concentração de 5% houve acréscimo em relação a de 4%. Na biomassa sorgo biomassa também ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = - 3,269792x^3 + 28,564911x^2 - 69,582798x + 58,382500$ e com um valor de R^2 altamente representativo de 0,9927, evidenciando que a equação explica 99,27% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que até a concentração de 4% obteve um maior valor de hemicelulose, porém esse comportamento não se mostrou contínuo para a concentração de 5%, que obteve decréscimo do valor de hemicelulose em relação a concentração anterior (Tabela 4).

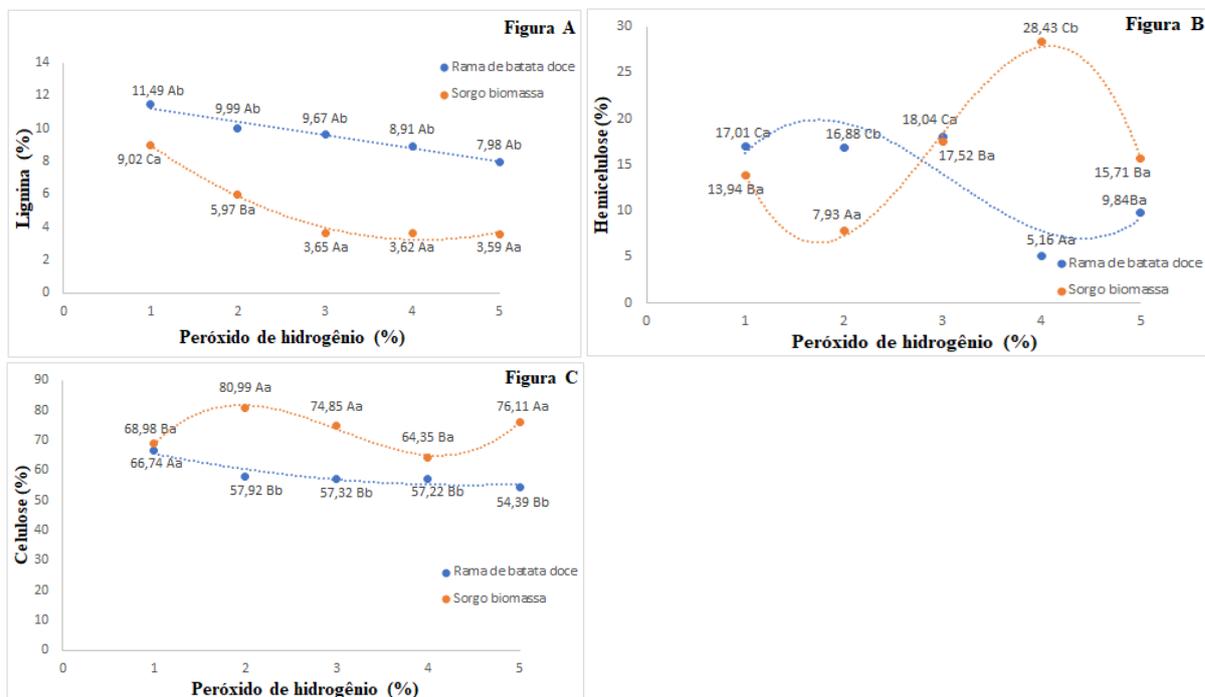
Analisando a variável celulose, houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, se diferenciando estaticamente das demais as concentrações de 1 e 4% com médias respectivas de 68,98 e 64,35% obtendo menores valores de celulose, as concentrações de 2, 3 e 5% de H_2O_2 com médias respectivamente de 80,99, 74,85 e 76,11% não se diferiram estatisticamente ($P > 0,05$) entre si. Já para a biomassa rama de batata ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$), entre as concentrações, se diferenciando estaticamente apenas a concentração 1% das demais, a concentração com 1% de H_2O_2 obteve maior valor de celulose com a média de 66,74, em comparação com as concentrações de 2 a 5% de H_2O_2 , com médias respectivamente de 57,92, 57,32, 57,22 e 54,39% (Figura 9 C).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observou-se que na concentração de 1% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas, já nas concentrações de 2, 3, 4 e 5% houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde a biomassa sorgo obteve maiores teores de celulose, quando comparados com a biomassa rama de batata doce (Figura 9 C).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores de celulose das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial quadrático para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 1,670416x^2 - 12,562169x + 76,940865$ e com um valor de R^2 significativo de 0,8157, evidenciando que a equação explica 81,57% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que ocorreu diferença apenas da concentração de 1% em relação a de 2% ocorrendo decréscimo do valor de celulose entre as concentrações, já a partir da concentração de 2% não houve diferença significativa entre os valores médios das concentrações. Na

biomassa sorgo biomassa ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = 3,313158x^3 - 29933698x^2 + 78,675818x + 16,916795$ e com o valor de $R^2: 1$, sendo assim foi encontrado o valor máximo de R^2 , evidenciando que a equação explica 100% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe-se na figura que ocorreu aumento e diminuição dos valores de celulose em função do aumento da concentração de peróxido de hidrogênio, onde podemos destacar a concentração de 2% como superior em relação as demais (Tabela 4).

Figura 9 – Valores de lignina, hemicelulose e celulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2



Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha não se diferem entre si pelo teste de scott knot ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas: comparação das médias na linha; Letras minúsculas: comparação das médias na coluna.

5.5 Perdas de componentes

A remoção de lignina é importante do ponto de vista econômico do processo, pois a lignina impede o acesso das enzimas na celulose e reduz a eficiência da sacarificação, o que pode implicar em uma maior carga de enzima e consequentemente um maior custo do processo (YANG E WYMAN, 2008; KARAGÖZ et al., 2012).

Na figura 10 estão apresentados os Valores de percas de componentes, lignina e hemicelulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 . Analisando a variável perda de lignina, observa-se que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 .

Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, onde a concentração de 1% com média de 43,19%, obteve um menor coeficiente de perdas de lignina em relação as outras concentrações, as concentrações de 2, 3, 4 e 5% com médias respectivas de 73,02, 81,24, 80,14 e 82,10% não se diferiram entre si ($P > 0,05$). Ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) também na biomassa rama de batata doce, as concentrações de 1, 2 e 5% com médias respectivas de 49,19, 47,55 e 51,57% tiveram maiores perdas de lignina em relação as concentrações de 3 e 4% com médias respectivas de 39,98 e 38,82% (Figura 10 A).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observa-se que houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde nas concentrações de 2, 3, 4 e 5% a biomassa sorgo biomassa obteve um maior coeficiente de perdas de lignina em relação a biomassa rama de batata. Já na concentração de 1% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas (Figura 10 A).

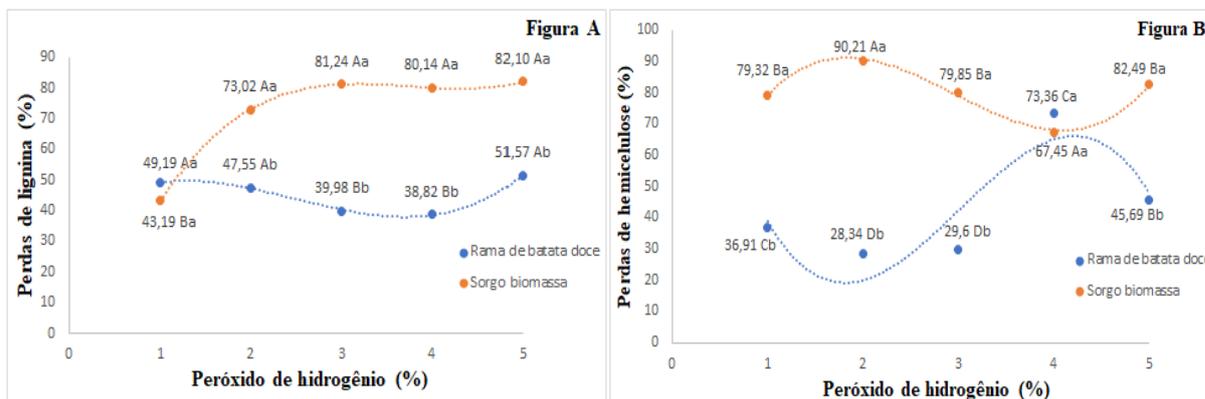
O ajuste de regressão que melhor explica os valores de perdas de lignina das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial cúbico para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 1,654340x^3 - 12,374303x^2 + 23,556383x + 36,426435$ e com um valor de R^2 altamente significativo de 0,9979, evidenciando que a equação explica 99,79% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que ocorreu aumento e diminuição dos valores de perdas de lignina em função do aumento da concentração de peróxido de hidrogênio, onde podemos destacar a concentração de 5% como superior em relação as demais. Na biomassa sorgo biomassa também ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = 2,055498x^3 - 23,145337x^2 + 84,879665x - 20,598564$ e com um valor de R^2 altamente significativo de 0,9993, evidenciando que a equação explica 99,93% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que até a concentração de 3% houve acréscimo no valor de perdas de lignina com o aumento da concentração, já a partir da concentração de 4% não foi observado o mesmo comportamento, sendo que não ocorreu aumento significativo no valor em função do aumento da concentração (Tabela 4).

Analisando a variável perda de hemicelulose, observa se que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores biomassas e concentrações de H_2O_2 . Dentro da biomassa sorgo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, onde a concentração de 2% com média de 90,21%, obteve um maior coeficiente de perdas de hemicelulose em relação as outras concentrações, as concentrações de 1, 3 e 5% com médias respectivas de 79,32, 79,85

e 82,49% não se diferiram entre si ($P > 0,05$), a concentração que obteve um menor valor de perdas de hemicelulose foi a concentração de 4% com média de 73,36%. Ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) também na biomassa rama de batata doce, a concentração de 4% com média de 67,45% foi a que obteve maiores perdas de hemicelulose em relação as outras concentrações, seguida numericamente pela concentração de 5% com média de 45,7, a concentração de 1% obteve média de 36,91% e as concentrações de 2 e 3% com médias respectivas de 28,34 e 29,60 não se diferiram entre si ($P > 0,05$) e foram as que obtiveram menores valores de perdas de hemicelulose (Figura 10 B).

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observa-se que houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas, onde nas concentrações de 1, 2, 3 e 5% a biomassa sorgo biomassa obteve um maior coeficiente de perdas de hemicelulose em relação a biomassa rama de batata. Já na concentração de 4% não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas (Figura 10 B).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores de perdas de hemicelulose das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão polinomial cúbico para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = -6,771231x^3 + 61,247931x^2 - 155,381837x + 139,905345$ e com um valor de R^2 representativo de 0,7743, evidenciando que a equação explica 77,43% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que ocorreu aumento e diminuição dos valores de perdas de hemicelulose em função do aumento da concentração de peróxido de hidrogênio, onde podemos destacar a concentração de 4% como superior em relação as demais. Na biomassa sorgo biomassa também ocorreu um ajuste de regressão polinomial cúbico, com equação $Y = 4,057269x^3 - 36,069106x^2 + 91,432350x + 19,749845$ e com um valor de R^2 altamente representativo de 0,9943, evidenciando que a equação explica 99,43% dos fenômenos ocorridos em função das diferentes concentrações, percebe se na figura que ocorreu aumento e diminuição dos valores de perdas de hemicelulose em função do aumento da concentração de peróxido de hidrogênio, onde podemos destacar a concentração de 2% como superior em relação as demais (Tabela 4). Figura 10 – Valores de redução de componentes como, lignina e hemicelulose nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2



Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha não se diferem entre si pelo teste de scott knot ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas: comparação das medias na linha; Letras minúsculas: comparação das medias na coluna.

5.6 Estimativa de produção de etanol

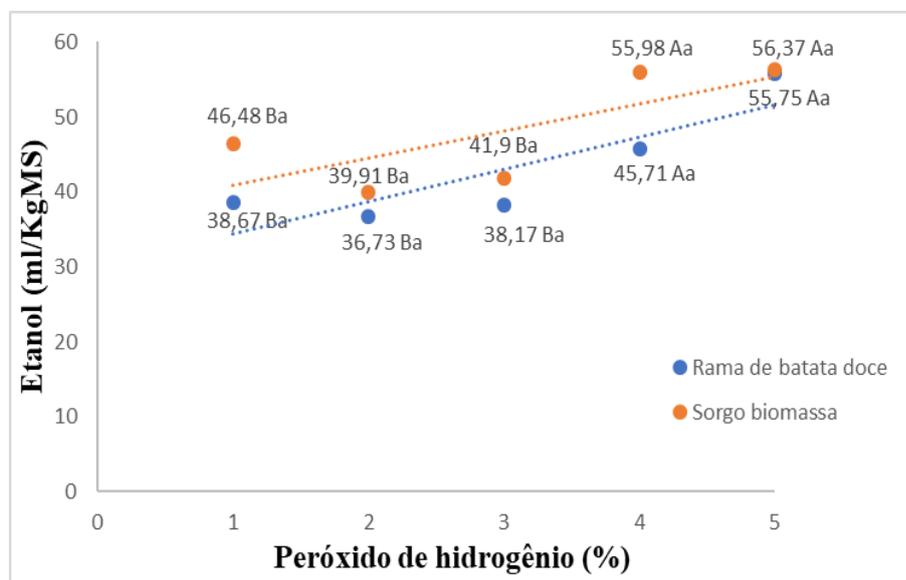
Na figura 11 estão apresentados os Valores de estimativa de produção de etanol (ml/KgMS) nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 . Analisando a variável estimativa de produção de etanol, observa-se que nas biomassas sorgo biomassa e rama de batata doce ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) entre as concentrações, onde as concentrações de 4 e 5% com médias para o sorgo biomassa de 55,98 e 56,37, e para a rama de batata doce, médias de 45,71 e 55,75% respectivamente obtiveram uma maior estimativa de produção de etanol em relação as outras concentrações. Já as concentrações de 1, 2 e 3% não se diferenciaram estatisticamente ($P > 0,05$) nas duas biomassas estudadas.

Analisando o efeito das concentrações dentro das biomassas, observa-se que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as biomassas para a estimativa de produção de etanol (Figura 11).

O ajuste de regressão que melhor explica os valores da estimativa de produção de etanol a partir das biomassas após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H_2O_2 , é o ajuste de regressão linear para a biomassa rama de batata doce, com equação $Y = 4,316000x + 30,058000$ e com um valor de R^2 representativo 0,7661, evidenciando que a equação explica 76,61% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações. Na biomassa sorgo biomassa também ocorreu um ajuste de regressão linear, com equação $Y = 3,577750x + 37,557750$ e com um valor de R^2 baixo de 0,5034, evidenciando que a equação explica apenas 50,34% dos fenomenos ocorridos em função das diferentes concentrações. O ajuste linear encontrado para as duas biomassas em função das concentrações de peróxido de hidrogenio

demonstra a tendência de que com o aumento da concentração de peróxido a uma tendência de aumentar numericamente o valor da estimativa de produção de etanol (Tabela 4).

Figura 11 – Valores de estimativa de produção de etanol (ml/KgMS) nas biomassas rama de batata doce e sorgo biomassa após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de H₂O₂



Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha não se diferem entre si pelo teste de scott knot ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas: comparação das médias na linha; Letras minúsculas: comparação das médias na coluna.

Percebe-se que mesmo com menores teores de celulose que é o precursor da glicose que será parcialmente convertida em etanol a rama de batata doce nas concentrações de 4 e 5% obteve valores iguais estaticamente ($p>0,05$) para a estimativa de produção de etanol quando comparado com a biomassa rama de batata, uma possível explicação é que mesmo com menor teor de celulose a rama de batata nas concentrações citadas obteve maior valor de resíduo, esse fato pode explicar a produção equivalente nas duas biomassas em (ml/KgMS).

6 CONCLUSÃO

✓ Segundo os dados avaliados, observou-se que para a biomassa rama de batata a concentração de 1% foi a que demonstrou um menor valor de resíduo após o pré tratamento. Já na biomassa rama de batata não foi observado diferença significativa ($p>0,05$) entre as concentrações de 3, 4 e 5%, sendo estas as que obtiveram menores valores de resíduos.

✓ Na biomassa sorgo a concentração de 1% foi a que demonstrou uma menor solubilização da fração lignina. Já na biomassa rama de batata não foi observado diferença significativa entre as concentrações ($p>0,05$).

✓ Dentro da biomassa sorgo, a concentração de 2% obteve menor valor de hemicelulose. Já para a biomassa rama de batata a concentração de 4% obteve menor valor de hemicelulose.

✓ As concentrações de 2, 3 e 5% de H₂O₂ se mostraram superiores para teores de celulose na biomassa sorgo biomassa. Já para a biomassa rama de batata doce a concentração de 1% demonstrou maiores valores de celulose.

✓ Na biomassa sorgo biomassa, a concentração de 1% obteve um menor coeficiente de redução de lignina em relação as outras concentrações. Já na biomassa rama de batata doce as concentrações de 3 e 4% obtiveram menores coeficientes de redução de lignina em relação as demais concentrações.

✓ Na biomassa sorgo biomassa, a concentração de 2% obteve um maior coeficiente de perdas de hemicelulose em relação as outras concentrações. Já na biomassa rama de batata doce a concentração de 4% obteve um maior coeficiente de perdas de hemicelulose em relação as demais concentrações.

✓ As concentrações de 4 e 5% nas duas biomassas obtiveram uma maior estimativa de produção de etanol em relação as outras concentrações.

Após análise geral dos dados disponíveis no presente trabalho conclui se que a concentração de 5% na biomassa sorgo biomassa se destaca em relação as demais, pois obteve os melhores valores encontrados para etanol, residuo após pré tratamento e lignina junto com a concentração 4%, mas se destacou em relação a concentração de 4% de H₂O₂ em maiores valores de celulose e menores valores de hemicelulose. e a biomassa sorgo mesmo não se diferenciando estatisticamente do valor de estimativa de etanol em relação a biomassa rama de batata nas concentrações acima citadas, se mostrou melhor na composição das biomassas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIMKULOVA, A.; ZHOU, Y.; ZHAO, X.; LIU, D. Improving the enzymatic hydrolysis of dilute acid pretreated wheat straw by metal ion blocking of non productive cellulase adsorption on lignin. **Bioresource Technology**, n. 208, p. 110-116, 2016.

ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W. R.; PAOLI, M. A. 2008. **Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect**. *Polymer Degradation and Stability* 93, 1770-1775.

ARAÚJO, NANCY QUEIROZ de et. al. Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol. (S.L.), 1978.

ASSUMPÇÃO, S. M. N.; PONTES, L. A. M.; CARVALHO, L. S.; CAMPOS, L. M. A.; ANDRADE, J. C. F.; SILVA, E. G. Pré-Tratamento Combinado H₂SO₄/H₂O₂/NaOH para Obtenção das Frações Lignocelulósicas do Bagaço da Cana-de-Açúcar. **Rev. Virtual Quim.** Vol 8, Nº. 3, pgs. 803-822, 2016.

ASSUMPÇÃO, S. M. N. **Pré-tratamento químico combinado do bagaço da cana visando a produção de etanol de segunda geração.** UFBA, Salvador, 2015. Disponível: https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/19146/1/Disserta%C3%A7ao%20Mestrado_Samira_%20Assump%C3%A7o.%202015_1.pdf. Acesso em: 29 de dezembro de 2018.

AYENI, A. O.; OMOLEYE, J. A.; HYMORE, F. K.; PANDEY, R. A. **Effective Alkaline Peroxide Oxidation Pretreatment of Shea Tree Sawdust for the Production of Biofuels: Kinetics of Delignification and Enzymatic Conversion to Sugar and Subsequent Production of Ethanol by Fermentation Using *Saccharomyces Cerevisiae*.** **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.33-45, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20160331s20140258>.

AZADI, P.; OLIVER R. I.; FARNOOD, R.; KING, A. D. 2013. "Liquid Fuels, Hydrogen and Chemicals from Lignin: A Critical Review." **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 21 (May): 506–523. doi:10.1016/j.rser.2012.12.022.

BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 858-875, 2011.

BLÜMMEL, M.; ORSKOV, E.R. Comparison of "in vitro" gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, n.12, p.109-119, 1993.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim ANP - PETRÓLEO e P&D: Os desafios da produção de etanol de segunda geração no Brasil.** 20. ed. Brasília, 2015. 7 p.

CAI, D.; LI, P.; LUO, Z.; QIN, P.; CHEN, C.; WANG, Y.; WANG, Z.; TAN, T. Effect of dilute alkaline pretreatment on the conversion of different parts of corn stalk to fermentable sugars

and its application in acetone–butanol–ethanol fermentation. **Bioresource Technology**, n. 211, p. 117–124, 2016.

CANILHA, L.; MILAGRES, A. M. F.; SILVA, J. B. A.; FELIPE, M. G. A.; ROCHA, G. J. M.; FERRAZ, A.; CARVALHO, W. Sacarificação da Biomassa Lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. **Revista Analytica**, n.44, p.48-53, 2009.

CARRILO, F.; LIS, M. J.; COLOM, X.; LÓPEZ-MESAS, M.; VALLDEPERAS, J. Effect of alkali pretreatment on cellulose hydrolysis of wheat straw: kinetic study. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 3360-3364, 2005.

CARVALHO, A. M.; DANTAS, R. A.; COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; SOUZA, J. P. S. P.; FONSECA, O. P.; JÚNIOR, R. G. **Teores de Hemiceluloses, Celulose e Lignina em Plantas de Cobertura com Potencial para Sistema Plantio Direto no Cerrado**. Boletim de Pesquisas e desenvolvimento/EMBRAPA Cerrados - Planaltina - DF, p. 15, 2010.

CHEN, H.; HAN, Y.; XU, J. Simultaneous saccharification and fermentation of steam exploded wheat straw pretreated with alkaline peroxide. *Process Biochemistry*, v.43, p. 1462-1466, 2008.

CHEN, H.; FU, X. Industrial technologies for bioethanol production from lignocellulosic biomass. **Renew Sustain EnergRev** 57:468–78, 2016.

CORREIA, J. A. D. S. **Estudo do pré tratamento do bagaço de caju com peróxido de hidrogênio alcalino para a produção de etanol**. UFCE: Departamento de Engenharia Química. Fortaleza, 2013.

CORTEZ, D. V. **Permeabilização de Células de *Candida guilliermondii* empregando processos químicos e físicos e seu potencial uso como biocatalisadores na síntese de xilitol**. 125f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

COSTA, D. M.; SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R. **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a produtividade, composição e aproveitamento das ramas visando a produção de**

etanol. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

DEMIRBAS, A. Importance of biodiesel as transportation fuel. **Energy Policy**, v. 35, n. 9, p. 4661–4670, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Batata-doce (*Ipomoea batatas*)** 2008, Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/origem.html>. Acessado em: 20/12/2018.

FANG, J. M.; SUN, R. C.; SALISBURY, D.; FOWLER, P.; TOMKINSON, J. Comparative study of hemicelluloses from wheat straw by alkali and hydrogen peroxide extractions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 66, p. 423-432, 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO; Compare Date Sweet Potatoes 2019; disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>; acessado em: 17/04/2019.

FERREIRA, J. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: definição e perspectivas. **Rev. Conexão Eletrônica** – Três Lagoas, MS – Volume 12 – Número 1 – Ano 2015.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. **Anais...** 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, p.255-258. 2000.

FILHO, W. G. V.; MENDES, B. P. In: **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas, Fermentação alcoólica de raízes tropicais**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, p. 530-575.

FINGUERUT, J.; LEIMER, K. H.; LUCREDI, H. A.; ROSSELL, C. E. V. **Estequiometria da fermentação alcoólica a partir do caldo de cana**. Piracicaba: Copersucar, n. 12, p. 45-48, 1985 (Boletim Técnico Copersucar 35/85).

GALBE, M. and Zacchi, G. (2002) 'A review of the production of ethanol from softwood', *Applied Microbiology Biotechnology*, 59 (6), 618±628. DOI: 10.1007/s00253-002- 1058-9.

GARCIA, D. R.; COSTA, A. C.; FILHO, R. M. **Determinação de dados cinéticos do pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar com peróxido de hidrogênio alcalino e da**

hidrólise enzimática posterior. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química. Campinas - São Paulo abril 2009.

GOULD, J. M. Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agricultural residues. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 27, p. 225-231, 1985.

GOULD, J. M.; FREER, S. N. **High-efficiency ethanol production from lignocellulosic residues pretreated with alkaline H₂O₂.** *Biotechnology and Bioengineering*, 26(6):628-631, 1984.

GRAY, M K. "**Alkaline Hydrogen Peroxide Pretreatment for Its Use in an On-Farm Bioprocessing Facility**" (2013). Theses and Dissertations--Biosystems and Agricultural Engineering. 18. https://uknowledge.uky.edu/bae_etds/18.

HUMBIRD, D.; DAVIS, R.; KINCHIN, C.; HSU, D.; ADEN, A.; SCHOEN, P.; OLTHOF, B.; WORLEY, M.; SEXTON, D.; DUDGEON, D. **Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol: Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover.** National Renewable Energy Laboratory, [s.l.], p.1-148, 1 mar. 2011. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <http://dx.doi.org/10.2172/1013269>.

HAHN-HÄGERDAL, B.; GALBE, M.; GORWA-GRAUSLUND, M. F.; LIDÉN, G.; ZACCHI, G. Bio-ethanol—the fuel of tomorrow from the residues of today. **Trends in biotechnology**, v. 24, n. 12, p. 549-556, 2006.

JÚNIOR, V. C. A.; PEREIRA, R. C.; DORNAS, M. F. S.; RIBEIRO, K. G.; VALADARES, N. R.; SANTOS, A. A.; CASTRO, B. M. C. 2014. Produção de silagem, composição bromatológica e capacidade fermentativa de ramas de batata-doce emurchecidas. **Horticultura Brasileira**. 32: 91-97.

KARAGÖZ, P.; ROCHA, I. V.; ÖZKAN, M.; ANGELIDAKI, I. Alkaline peroxide pretreatment of rapeseed straw for enhancing bioethanol production by Same Vessel Saccharification and Co-Fermentation. **Bioresource Technology**., v.104, p. 348-357, 2012.

KHAN, M. I.; Lee M. G.; Shin J. H., Kim J. D. (2017) **Pretreatment optimization of the biomass of *Microcystis aeruginosa* for efficient bioethanol production.** *AMB Expr* 7:19

KODALI, B.; POGAKU, R. Pretreatment studies of rice bran for the effective production of cellulose. ***Electron J Environ Agric Food Chem***, v.5, p. 1253–64, 2006.

KRISHNA S. H.; RAO, K. C. S.; BABU, J. S.; REDDY, D. S. Studies on the production and application of cellulose from *Trichoderma reesei* QM-9414. *Bioprocess Engineering*, 22, p. 467-470, 2000.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. ***Novos Estudos – CEBRAP***, Nº 78, p.15-21, jul. 2007.

LEGRINI, O. E. O.; BRAUN, A. M. Photochemical process for water treatment. ***CHem. Rev.***, v. 93, p. 671-698, 1993.

LEONEL, M. análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. ***Ciência tecnologia de alimentos***, 2007, vol. 27, n.3, p. 579-588.

LOSORDO Z.; MCBRIDE J.; VAN ROOYEN, J.; WENGER, K.; WILLIES, D.; FROEHLICH, A.; MACEDO, I. C.; LYND, L. R. Cost competitive second generation ethanol production from hemicellulose in a Brazilian sugarcane biorefinery. Online Library (wileyonlinelibrary.com); ***Biofuels, Bioprod. Bioref.*** 10:589–602. 2016.

MARTINIANO, S. E. **Potencial fermentativo das leveduras *Candida shehatae* CG8-8BY e *Spathaspora arborariae* UFMG-HM 19.1A para a produção de etanol de segunda geração.** 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) -Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

MASIERO, S. S. **Microssina de batata-doce: Viabilidade econômica e técnica.** 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Química), Escola de Engenharia, Faculdade Federal do Rio Grande do Sul.

MILESSI, S. S. **Imobilização de células de *Scheffersomyces stipitis* para obtenção de etanol de segunda geração em biorreator STR tipo cesta.** 2012 148 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

MORAES, M. B. F.; COSTA, D. M.; SANTANA, W. R.; SÁGIO, S. A.; SILVEIRA, M. A. **Características produtivas de ramas e raízes de batata-doce usadas para produção de etanol.** X Workshop de agroenergia, matérias – primas. 22 e 23 de junho de 2016, Ribeirão Preto – São Paulo.

NOVACANA. **NexSteppe fecha parceria para comercializar sorgo biomassa da Embrapa.** Disponível em <https://www.novacana.com/n/etanol/alternativas/nexsteppe-parceriacomercializar-sorgo-biomassa-embrapa-030417/> Acesso em 03/03/2019. 2017.

NOVOZYMES, Novozymes Cellic® CTec2 and HTec2 - Enzymes for hydrolysis of lignocellulosic. 2015. Disponível em :<www.bioenergy.novozymes.com>. Acesso em: 17 jan. 2019.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Quim. Nova**, v.33, n.7, p.1549-1558, 2010.

PACHECO, T. F. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?** Circular Técnica 04. EMBAPA. 6 pag. Brasília- DF. 2011.

PEREIRA J., N.; COUTO, M. A. P.G.; SANTA, A. L. M. M. **Biomass of lignocellulosic composition for fuel ethanol production and the context of biorefinery.** In Series on Biotechnology, Ed. Amiga Digital UFRJ, Rio de Janeiro, v.2, p. 45, 2008.

PEREIRA, E. L.; NASCIMENTO, J. S. **Efeitos do Pronaf sobre a produção agrícola familiar dos municípios tocantinenses.** Revista de Economia e Sociologia Rural. Brasília/DF: Editora UNB, v. 52, 2014.

PITARELO, A. P. **Avaliação da susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar á bioconversão via pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

RABELO, S. C.; COSTA, A. C.; FILHO, R. M. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010, p. 447.

RABONI, Massimo; Viotti, Paolo; Capodaglio, Andrea G. **A comprehensive analysis of the current and future role of biofuels for transport in the European Union (EU).** *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [s.l.], v. 10, n. 1, p.1-13, 1 jan.

2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1492>.

RAGAUSKAS, A. J.; GREGG, T. B.; MARY, J. B.; RICHARD, C.; FANG, C.; MARK, F. D.; BRIAN, H. D. "Lignin Valorization: Improving Lignin Processing in the Biorefinery." *Science (New York, N.Y.)* 344 (6185) (May 16): 1246843. doi:10.1126/science.1246843. 2014.

RAGAUSKAS, A. J.; WILLIAMS, C. K.; DAVISON, B. H. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. *Science*, n. 311, p.484-489, 2006.

RAY, R. C.; RAVI, V. Post Harvest Spoilage of Sweet Potato and its Control Measures. *Critical Review of Food Science and Nutrition* 35, 623-644. 2005.

ROCHA, J. E. S.; TONUCCI, R. G.; FERNANDES, F. E. P. Produção de variedades e híbridos de sorgo em condições de sequeiro em sistema agrossilvipastoril durante a safra de 2012 a 2014, no estado do Ceará. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2015. p. 7, (Comunicado técnico, 147).

SÁ, V. A.; BIANCHI, M. L. **Métodos de pré-tratamentos da biomassa lignocelulósica para produção de bioetanol**. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C. **Efeito da adubação de cobertura com nitrogênio e potássio na cultura do sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 38 p. il. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 73).

SANTOS, F. **Bioenergia e Biorefinaria: Cana de açúcar & Espécies Florestais**. UFV: Viçosa, 2013.

SARKAR, N.; GHOSH, S. K.; BANNERJEE, S.; AIKAT, K. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*, Índia, p.19-27, 2012.

SELIG, M. J.; VINZANT, T. B.; HIMMEL, E. M.; DECKER, S.R. The effect of lignin removal by alkaline peroxide pretreatment on the susceptibility of corn stover to purified cellulolytic and xylanolytic enzymes. *Appl Biochem Biotechnol*, v.155, p. 397-406, 2009.

SILVA, I. F. **Potencial do pseudocaule de bananeira (cultivar prata anã) para a produção de etanol de segunda geração**. Tese. UFV. Viçosa-MG. 2016. Disponível

em:<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9359/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso: 08 de Ja. de 2019.

SILVA, A. S.; TEIXEIRA, R. S. S.; MOUTTA, R. O.; FERREIRA-LEITÃO, V. S.; BARROS, R. R. O.; FERRARA, M. A.; BOM, E. P. S. **Sugarcane and Woody Biomass Pretreatments for Ethanol Production**. In: Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass - Techniques, Applications and Commercialization Org: CHANDEL, A. K.; SILVA, S. S., In Tech, 2013.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 235p.

SILVA, V. F. N. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico**. 2009. 116p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

SILVEIRA, M. A. coord.; *Boletim Técnico - UFT*, Palmas, Brasil, 2008.

SILVEIRA, M. A., coord.; *Boletim Técnico – UFT*, Palmas, Brasil, 2014.

SIMEONE, M. L. F.; OLIVEIRA, P. A.; CANUTO, K. M. PARRELLA, R. A. C.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. Caracterização de genótipos de sorgo biomassa para bioenergia. XXII congresso Brasileiro de engenharia química, São Paulo-SP, 2018.

SOUZA, C. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. M.; SOUZA, V. C.; ALMEIDA, F. A.; SILVA, L. E. Produtividade do Sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 512-517, 2005.

SUN, S.; SUN, S.; CAO, X.; SUN, R. The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. **Bioresource Technology**, n.199, p. 49-58, 2016.

SUN, H.; MU, T.; XI, L.; ZHANG, M.; CHEN, J. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods. *Food Chemistry* v.56, n.1 p.380–389. 2014. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.079>. Acesso em 22 de fevereiro, 2019.

SUN, Y.; CHENG, J. J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production. **Bioresource Technology**, v.96, p.1599-1606, 2005.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S.; McALLAN, A. B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetic of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 48, n. 3, p. 185-197, 1994.

THOMPSON, R. **Industrial inorganic chemicals: productions and uses**. Hydrogen Peroxide, p. 175-198, 1995.

VINUTHA, K. S.; RAYAPROLU, L.; YADAGIRI, K.; UMAKANTH, A. V.; PATIL, J. V.; RAO, P. S. Sweet Sorghum Research and Development in India: Status and Prospects. **Sugar Tech.**, v. 16, n. 2, p. 133-143, 2014.

YANG, B.; WYMAN, C. E. Characterization of the degree of polymerization of xylooligomers produced by flowthrough hydrolysis of pure xylan and corn stover with water. **Bioresour Technol.** v.99, p.5756-5762, 2008.

YUNPU, W.; LEILEI, DAI.; LIANGLIANG, FAN.; SHAOQI, SHAN.; YUHUAN, LIU.; RUAN, R. R. Review of microwave-assisted lignin conversion for renewable fuels and chemicals. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 119, p. 104–113, 2015. ZHAO, X.; ZHANG, L.; LIU, D. Biomass recalcitrance. Part I: The chemical compositions and physical structures affecting the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 6, n. 4, p. 465–482, 2012.

