

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
NO PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO DAS RAMAS DA
BATATA-DOCE PARA OBTENÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Roze Anne Ferreira Lima
Lorrane Ribeiro de Souza
Otavio Cabral Neto
Alysson Soares da Rocha
Antônio Carlos Silveira Gonçalves
Clauber Rosanova



2021

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
NO PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO DAS RAMAS DA
BATATA-DOCE PARA OBTENÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Roze Anne Ferreira Lima
Lorrane Ribeiro de Souza
Otavio Cabral Neto
Alysson Soares da Rocha
Antônio Carlos Silveira Gonçalves
Clauber Rosanova



2021

2021 by Editora e-Publicar
Copyright © Editora e-Publicar
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Editora e-Publicar
Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar pelas autoras.

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Roger Goulart Mello

Dandara Goulart Mello

Projeto gráfico e Edição de Arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

Revisão

Os autores

Todo o conteúdo do livro, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás



2021

Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará
Glauccio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense
Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz
Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rita Rodrigues de Souza - Universidade Estadual Paulista
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

79

Estudo da influência da temperatura no pré-tratamento ácido das ramas da batata-doce para obtenção de etanol de segunda geração / Roze Anne Ferreira Lima... [et al.]. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-89950-20-2

DOI 10.47402/ed.ep.b20216520202

1. Agricultura e energia. 2. Energia – Fontes alternativas. 3. Álcool como combustível. I. Lima, Roze Anne Ferreira. II. Souza, Lorrane Ribeiro de. III. Cabral Neto, Otavio. IV. Rocha, Alysson Soares da. V. Gonçalves, Antônio Carlos Silveira. VI. Rosanova, Claubert.

CD

D 333.953

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora e-Publicar

Rio de Janeiro – RJ – Brasil
contato@editorapublicar.com.br
www.editorapublicar.com.br



2021

RESUMO

A busca por fontes limpas e renováveis de energia tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias alternativas aos processos convencionais, tais como o uso dos biocombustíveis. Uma alternativa para a produção de etanol de primeira e segunda geração é o uso de fontes amiláceas e materiais lignocelulósicos como fontes de carbono barato, renovável e sustentável. Levando-se estes pontos em consideração, a batata-doce (*Ipomoea batatas*) tem sido considerada um substrato promissor para fermentação alcoólica, uma vez que apresenta elevados teores de amido, na faixa de 32 a 70%, substrato promissor para fermentação alcoólica. As batatas-doces industriais desenvolvidas para a produção de bioenergia são selecionadas por seu maior teor de amido e melhores rendimentos de etanol, como o caso da cultivar 'Duda'. Com isso, o objetivo deste trabalho foi investigar, avaliar e otimizar a produção de etanol de segunda geração quando proveniente da raiz e das ramas da batata-doce, respectivamente. Para a obtenção de etanol de segunda geração foi realizado um estudo da hidrólise ácida das ramas da batata-doce, com a cargas de sólido [20 % (m/m)], na concentração de ácido sulfúrico [1, % (m/v)], nos tempos (15, 30 e 60 minutos) fixando a temperaturas em 90, 100 e 121°C. Os resultados satisfatórios foram obtidos no ponto ótimo de 89,16°C para temperatura e de 41,26 min para o tempo. Portanto conclui-se que, o objetivo foi atendido.

Palavras-chave: Batata-doce. Temperatura. Etanol de segunda geração.

ABSTRACT

The search for clean and renewable sources of energy has led to the development of new alternative technologies to conventional processes such as the use of biofuels. An alternative for first- and second-generation ethanol production is the use of starchy sources and lignocellulosic materials as cheap, renewable and sustainable carbon sources. Taking these points into consideration, sweet potato (*Ipomoea potatoes*) has been considered a promising substrate for alcoholic fermentation, as it has high starch levels in the range of 32 to 70%, promising substrate for alcoholic fermentation. Industrial sweet potatoes developed for bioenergy production are selected for their higher starch content and better ethanol yields, such as the cultivar 'Duda'. Thus, the objective of this work was to investigate, evaluate and optimize the production of second-generation ethanol when coming from sweet potato roots and twigs, respectively. In order to obtain second generation ethanol, a study of the acid hydrolysis of sweetpotato shoots was carried out with solid loads [20% (m / m)] at sulfuric acid concentration [1,% (m / v)], at times (15, 30 and 60 minutes) setting at temperatures of 90, 100 and 121 ° C. Satisfactory results were obtained at the optimum of 89,16 ° C for temperature and 41,26 min for time. Therefore, it is concluded that the objective was met.

Keywords: Sweet Potatoes. Temperature. Second generation ethanol.

Apresentação

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) foi criado em 2008 pela Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008, conceituando-se como instituição de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicampi, especializada na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino.

O Campus de Paraíso do Tocantins, do IFTO, foi implantado no município de Paraíso do Tocantins, na Região Centro-Oeste do Estado, considerando as reivindicações do setor produtivo e do setor público do referido município, pela carência de cursos superiores na região. O referido projeto incluirá em sua área de abrangência os seguintes municípios: Barrolândia, Araguacema, Abreulândia, Divinópolis, Marianópolis, Caseara, Monte Santo, Chapada da Areia, Pium, Cristalândia, Lagoa da Confusão, Pugmil e Nova Rosalândia, Miranorte e Paraíso do Tocantins.

Entre os cursos ofertados no Campus Paraíso do Tocantins – IFTO temos o Curso Superior de Tecnologia em Alimentos, que visa à formação de profissionais para atuar em pequenas e grandes empresas alimentícias, órgãos de fiscalização e pesquisa, com perfil empreendedor e que dominem os conhecimentos científicos, com valores de responsabilidade social, justiça e ética profissional.

Este livro foi desenvolvido a partir do material apresentado como trabalho de conclusão de curso da primeira autora.

A busca por fontes limpas e renováveis de energia tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias alternativas aos processos convencionais, tais como o uso dos biocombustíveis. Uma alternativa para a produção de etanol de primeira e segunda geração é o uso de fontes amiláceas e materiais lignocelulósicos como fontes de carbono barato, renovável e sustentável. Levando-se estes pontos em consideração, a batata-doce (*Ipomoea batatas*) tem sido considerada um substrato promissor para fermentação alcoólica, uma vez que apresenta elevados teores de amido, na faixa de 32 a 70%, substrato promissor para fermentação alcoólica. As batatas-doces industriais desenvolvidas para a produção de bioenergia são selecionadas por seu maior teor de amido e melhores rendimentos de etanol, como o caso da cultivar ‘Duda’. Com isso, o objetivo deste trabalho foi investigar, avaliar e otimizar a produção de etanol de segunda geração quando proveniente da raiz e das ramas da batata-doce, respectivamente.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 BIOCOMBUSTÍVEIS	15
3.2 BATATA-DOCE COMO ETANOL DE FONTES INDIRETAMENTE FERMENTESCÍVEIS	16
3.3 ETANOL LIGNOCELULÓSICO	18
3.4 MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS.....	18
3.5 PRÉ-TRATAMENTOS	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1 MATÉRIA-PRIMA.....	21
4.2 PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA E DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	21
4.3 PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO DAS RAMAS DE BATATA DOCE	22
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA PARTE LÍQUIDA	22
4.5 DETERMINAÇÃO DOS CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS, GRUPOS ACETIL, FURFURAL, 5-HIDROXIMETILFURFURAL E LIGNINA.....	23
4.6 LIGNINA SOLÚVEL	24
4.7 QUANTIFICAÇÃO DE CARBOIDRATOS	25
4.8 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	26
4.9 METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS RAMAS	28
5.2 EFEITO DA TEMPERATURA	28
5.3 CONDIÇÕES ÓTIMAS DA HIDRÓLISE ÁCIDA DAS RAMAS DA BATATA DOCE UTILIZANDO A METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	35
5.3.1 Glicose	36
5.3.2 Arabinose	38
5.3.3 Xilose	40
5.3.4 Furfural.....	42
5.3.5 5-Hidroximetilfurfural	43

5.3.6 Ponto Ótimo da hidrólise ácida das ramas da batata doce	46
6. CONCLUSÃO	47
RÉFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A busca por avanço tecnológico para a produção de biocombustíveis mais limpos, tem como objetivo reduzir as emissões de gases causadores do aquecimento global. Recursos disponíveis nos permitem retomar as buscas por outras fontes que possam aumentar a produção do etanol, já que temos a perspectiva de no futuro substituímos os derivados do petróleo por combustíveis renováveis, a exemplo do etanol, fonte de substituição dos combustíveis fósseis (FUJITA et al., 2016).

O etanol é produzido por uma reação biológica, chamada fermentação, que converte uma fonte de açúcar em álcool. Essa fonte de açúcar pode vir dos mais diferentes tipos de matérias-primas, de onde ele pode estar presente em alta quantidade ou possui a necessidade de ser extraído (ANDRADE; FARIAS; MAUGERI, 2014).

Conforme Li et al. (2016) os tipos de matérias-primas utilizadas para a produção de etanol podem ser divididas de acordo com o tipo de açúcar que as compõem (o açúcar mais presente na matéria-prima), como por exemplo, cana-de-açúcar, beterraba, milho, oleaginosas como a soja, mamona, dendê, pinhão-manso, além da biomassa vegetal que gera a celulose, as hemiceluloses e a lignina que se apresentam como fontes interessantes para a geração desses biocombustíveis. São elas celulósicas, contendo altas quantidades de celulose, açucaradas, que contêm concentrações muito altas de açúcares que são fermentados mais rapidamente e, por último, as matérias-primas amiláceas, que contêm altas quantidades de amido em sua composição.

Desta forma começa a produção de etanol de segunda geração, dependendo de melhorias no processo tecnológico e de inovação a partir da matéria-prima para que haja ganhos significativos de economia (BASSO, 2013).

A batata-doce (*Ipomoea batatas*), da família *Convolvulacea*, é uma hortaliça tuberosa, de fácil cultivo, rústica, de ampla adaptação, originária de regiões tropicais. Como fonte alternativa de bioenergia, apresenta uma ótima produção de biomassa para obtenção de álcool combustível, associada à rusticidade do plantio (FERRARI et al, 2013).

A biomassa lignocelulósica, como o bagaço-de-cana, a palha de trigo, as ramas da batata-doce, entre outros, são muitas vezes acumulados no ambiente, representando a perda de



uma matéria-prima valiosa para obtenção de energias renováveis. Sendo assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas objetivando o aproveitamento destes resíduos (AKIMKULOVA et al., 2016).

As ramas da batata-doce possuem alta porcentagem de proteína bruta e digestibilidade, bem como elevada concentração de energia nas raízes. Com isso, as raízes tuberosas podem ser utilizadas tanto para indústrias têxteis, de cola como para produção de etanol. Pois contêm quantidades consideráveis de açúcares prontamente fermentescíveis (BERTON, 2012).

De acordo com Bridgwater (2012), os materiais lignocelulósicos são constituídos majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina. As tecnologias para a obtenção de bioetanol de segunda geração, produzido a partir de materiais lignocelulósicos, envolvem a hidrólise dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentáveis e sua posterior fermentação (BRIDGWATER, 2012).

Com isto, a utilização da biomassa lignocelulósica necessita de uma etapa de pré-tratamento para liberar estes açúcares, apresentando ainda muitos gargalos para que sua produção atinja maturidade tecnológica e possível competitividade econômica (FILHO et al., 2014).

Para obtenção destes materiais lignocelulósicos o álcool a partir da celulose requer um pré-tratamento antes da hidrólise deste polissacarídeo ser realizada. O objetivo do pré-tratamento, nada mais é que remover a hemicelulose e a lignina, 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 microrganismos fermentadores (CAVALAGLIO et al., 2016). Existem diversos tipos de pré-tratamentos, com diferentes rendimentos e efeitos distintos sobre a biomassa e consequente impacto nas etapas subsequentes. Dentre os vários métodos de pré-tratamento, os mais comumente utilizados são pirólise, steam explosion, Amomnia fiber explosion, CO₂ explosion, ozonólise, hidrólise ácida, hidrólise alcalina, deslignificação oxidativa e processo organosolv (VIEIRA; ALEXANDRE, 2014).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as diferentes temperaturas para o desenvolvimento do processo de produção de etanol de segunda geração a partir das ramas da



batata-doce por meio de um pré-tratamento com ácido sulfúrico visando um processo sustentável de produção de etanol.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar, avaliar e otimizar a produção de etanol de segunda geração proveniente das ramas de batata-doce.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma avaliação técnica da conversão das ramas da batata-doce através da hidrólise ácida utilizando ácido sulfúrico sob as seguintes condições operacionais: carga de sólidos 20 % (m/m), concentração de ácido 1 % (m/v), tempo reacional (15, 30 e 60 min), com temperatura de 90, 100 e 121 °C;

- Otimizar o processo do pré-tratamento com ácido sulfúrico das ramas da batata-doce para a produção de açúcares fermentescíveis na linha de processos de etanol utilizando a metodologia de superfície de resposta.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biocombustíveis

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, sendo ainda biodegradáveis e contribuindo para a sustentabilidade (PUPPAN, 2002; HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).

A substituição gradual do petróleo por fontes de energia alternativas oriundas de biomassas renováveis é vista como um importante contribuinte para o desenvolvimento de uma sociedade industrial sustentável e eficaz quanto aos problemas ambientais (RAGAUSKAS et al., 2006). Nota-se uma mudança de paradigma, transformando uma sociedade altamente dependente de combustíveis fósseis, em uma baseada na utilização de recursos renováveis, acompanhada de um modelo econômico mais sustentável (CLARK et al., 2006; HOLM-NIELSEN et al., 2006).

Na atualidade, há um aumento global no desenvolvimento de técnicas que podem produzir materiais a partir de biomassa renovável, em um conceito de biorrefinaria, que incluem biocombustíveis, devido as flutuações no preço do petróleo e instabilidades políticas de várias regiões produtoras e problemas ambientais como o aquecimento global. Com isso, vários métodos que podem produzir biocombustíveis a partir de biomassa renovável estão sendo estabelecidas (FUJITA et al., 2016), assim como os de outros produtos.

Neste contexto, cada vez mais o mundo se volta para a exploração de biomassas residuais. O aproveitamento de resíduos provenientes da agroindústria pode ajudar a resolver problemas ambientais associados à disposição dos mesmos no meio ambiente. O desenvolvimento de processos biotecnológicos que aproveitem estes resíduos aparece com grande potencial devido a possibilidade de agregar valor a uma matéria-prima subutilizada. Adicionalmente, a sua utilização pode ocorrer sem que haja competição com a produção de alimentos (CINELLI, 2012).



Todas essas questões têm impulsionado a busca por inovações em processos e por diferentes matérias-primas. A busca pela matéria-prima ideal, ou pelas matérias-primas ideais, avança rapidamente e apresenta uma regionalidade significativa. Os requisitos desejados para estas matérias-primas incluem múltiplos fatores, não facilmente conciliáveis, tais como: disponibilidade, preço, qualidade em relação ao processo de conversão e sustentabilidade (BOMTEMPO, 2011).

Os processos hoje existentes para produção de etanol de primeira geração de fontes amiláceas, como o milho, a mandioca, a batata-doce, entre outros, apresentam a necessidade de realização de hidrólise do material, fazendo com que o amido seja convertido a açúcares fermentescíveis. A necessidade de hidrólise do amido gera elevação dos custos, entretanto a busca por processos que aperfeiçoem esta hidrólise se torna importante para a inclusão desta cultura na nova matriz energética nacional, além de desempenhar um papel fundamental no aproveitamento de diversas biomassas contendo amido para a produção de biocombustíveis e outros bioprodutos (FUJITA et al., 2016).

Contudo a produção de etanol de segunda geração apresenta desvantagens tais como elevado custo e dificuldades associadas ao pré-tratamento e a hidrólise dos compostos lignocelulósicos. Com isso há necessidade do estudo de pré-tratamentos e hidrólise desses materiais (FUJITA et al., 2016; BAEYENS et al., 2015; MAITY et al., 2014), respeitando-se as características de cada biomassa. Atualmente, o etanol (C^2H^5OH ou EtOH) é o biocombustível mais utilizado em veículos, podendo ser usado diretamente como combustível ou misturado à gasolina, elevando seu conteúdo de oxigênio e consequentemente permitindo uma elevação de octanagem do combustível, além de diminuir a emissão de gases poluentes (DERMIBAS, 2005).

3.2 Batata-doce como etanol de fontes indiretamente fermentescíveis

A batata-doce é uma espécie dicotiledônea. Sabendo que cada semente botânica pode gerar um clone com potencial para originar uma nova cultivar, e que em cada cápsula deiscente, pode-se obter quatro sementes em uma única cápsula, e se ter quatro cultivares completamente distintas; característica botânica que confere à batata-doce uma ampla potencialidade para melhoramento genético (BIOEX ETANOL, 2010).



Excesso de umidade nos estágios iniciais de formação das raízes tuberosas pode inibir o processo de tuberização, e pode, em estágios mais avançados, promover podridões de raízes (MALUF, 2014). Ainda pouco utilizada para esta finalidade, a batata-doce talvez seja uma das espécies vegetais que podem apresentar os melhores resultados para a produção de etanol no Brasil, já que tem mais alto rendimento de amido por terra cultivada do que os grãos (DUVERNAY et al., 2013; LAREO, 2013; GONÇALVES et al., 2012).

Para Miranda et al. (1995) o potencial de produção da batata-doce é enorme, por ser uma das plantas com maior capacidade de produzir energia por unidade de área e tempo. Comparada com culturas como arroz, banana, milho e sorgo, a batata-doce, conforme Silva et al. (2002), é mais eficiente em quantidade de energia líquida produzida por unidade de área e por unidade de tempo. Isso ocorre porque a cultura produz grande volume de raízes em ciclo relativamente curto, a um custo baixo, durante o ano inteiro. Em termos de volume de produção mundial, a cultura ocupa o sétimo lugar, mas é a décima quinta em valor da produção, o que indica ser universalmente uma cultura de baixo custo de produção. Neste contexto, tem-se verificado um baixo investimento na cultura da batata-doce no Brasil, gerando-se com isso, uma baixa lucratividade, e, por conseguinte, um baixo investimento tecnológico nesta área.

Baixas produtividades podem ser ocasionadas pelo desconhecimento de práticas culturais adequadas, e atribuídas à utilização de materiais genéticos (cultivares) obsoletos, suscetíveis a pragas e doenças de solo, principalmente a insetos crisomelídeos, à broca da raiz, e aos nematóides de galhas do gênero *Meloidogyne* spp.

Barrera (1986) relatava que a produção de álcool a partir de batata-doce era altamente desejada não só pela larga possibilidade de cultivo deste produto no território brasileiro, mas também porque era importante a busca de sucedâneos da cana-de-açúcar para alimentar as destilarias que conquistaram o Brasil na esteira do Pró-Alcool.

Sabendo que todo parque tecnológico é voltado para produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, fica claro neste momento a viabilidade do uso da batata-doce para produção de biocombustível de segunda geração, sem a intenção de substituir a cana, mas complementar a produção de etanol (GONÇALVES et al., 2012).



Além disso, a batata-doce pode produzir álcool, produto de alto valor agregado, destinado à fabricação de cosmético, tintas e remédios (CASTRO, 2009).

3.3 Etanol Lignocelulósico

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).

Com a hidrólise das estruturas de celulose e hemicelulose a açúcares mais simples, pode então ser realizada a etapa de fermentação na qual pode ser utilizada uma variedade de microrganismos embora na literatura científica tenham destacados espécies como *Saccharomyces cerevisiae* e *Zymomonas mobilis* para a fermentação de glicose e *Scheffersomyces (Pichia) stipitis* e *Candidas hehatae* para fermentação de xilose (LEMOS et al. 2012; MILESSE, 2012; FERREIRA, 2010; DUSSÁN, 2013).

3.4 Materiais Lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos compreendem os resíduos agroindustriais e florestais, tais como bagaços, palhas e cavacos de madeiras, e sua composição varia de acordo com a espécie (MARTINIANO, 2013). A biomassa lignocelulósica é a matéria-prima com maior potencial para a produção de biocombustíveis dentro do conceito de biorefinaria, pois tem atraído à atenção especial em todo o mundo nesse conceito de geração de energia (SILVA et al., 2013; CAI et al., 2016).

São fontes abundantes de compostos orgânicos, apresentam grande potencial como matéria-prima em processos industriais para produção de alimentos, combustível, insumos químicos, enzimas e bens de consumo diversos. Seu não aproveitamento, além de acarretar possíveis impactos ambientais por ocasionarem problemas de poluição, representa perda de recursos, uma vez que poderiam ser aproveitados na geração de produtos de interesse à sociedade (CANILHA et al., 2009; CORTEZ, 2010).



Esta biomassa é constituída basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e em menores proporções os extrativos como as graxas, gomas, amidos, alcalóides, resinas, óleos essenciais e outros constituintes citoplasmáticos; e os não extrativos que incluem compostos como sílica, carbonatos e oxalatos (LYND et al., 2005). As cadeias de celulose se mantêm compactadas por meio de ligações de hidrogênio que promovem a rigidez da planta, enquanto a lignina une os componentes e age como uma barreira física para o ataque de microrganismos e água. As hemiceluloses proporcionam a ligação entre a celulose e a lignina formando assim a rede fibrosa (RABELO, 2010).

3.5 Pré-tratamentos

O aproveitamento total do material lignocelulósico requer métodos de pré-tratamento ou fracionamento que são complexos, tem baixo rendimento e ainda não são capazes de isolar completamente cada componente sem modificá-los ou degradá-lo (CANILHA et al., 2009).

Há ainda uma restrição severa na acessibilidade das enzimas usadas para hidrolisar a estrutura rígida dos materiais lignocelulósicos (CAI et al., 2016).

Com isso, faz-se necessário a realização de pré-tratamentos a fim de: i) modificar a estrutura da biomassa lignocelulósica; ii) reduzir o tamanho das partículas e a cristalinidade da celulose; iii) aumentar a área de contato e assim a acessibilidade e porosidade da biomassa lignocelulósica (LICARI et al., 2016).

As técnicas de pré-tratamento podem ser descritas como sendo físicas, químicas, biológicas e a combinação destes. Os objetivos do pré-tratamento são sem causar a perda ou degradação dos açúcares, obter maior efetividade no processo de hidrólise enzimática realizado posteriormente, fazendo com eficiência da conversão dos polímeros de celulose e hemiceluloses em açúcares fermentescíveis, maximizando a produção de biocombustíveis ou outros produtos químicos. Contudo, até o momento não é reportado na literatura estudos sobre o pré-tratamento para a produção de etanol a partir das ramas da batata-doce, alguns autores reportam a utilização das ramas de batata-doce na alimentação animal, por possuírem alto teor de proteína bruta e boa digestibilidade, podendo serem usadas, principalmente, na alimentação de gado leiteiro, tanto na forma fresca como silagem (MONTEIRO, 2007). No



Brasil, no entanto, a utilização de ramas de batata-doce na alimentação animal é feita em escala bastante limitada e a maior parte das ramas é simplesmente descartada como resíduo inaproveitável (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012). Levando-se este ponto em consideração este trabalho investigou o potencial das ramas de batata-doce para a produção de etanol de segunda geração.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

As ramas de batata-doce utilizadas neste estudo foram provenientes do Centro Tecnológico Agroindustrial e Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, no Campus de Palmas (Palmas – Tocantins, Brasil). A cultivar industrial utilizada no experimento foi a cultivar 'Duda' com colheita manual em setembro/2018, esta cultivar foi registrada pela Universidade Federal do Tocantins em um mês anterior a colheita no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento sob o número 22598.

4.2 Preparo da Matéria-prima e determinação do teor de umidade

Inicialmente as ramas da batata-doce foram previamente secas no sol e depois foram levadas para o laboratório para serem estudadas.

Para determinar o teor de umidade e a quantidade de matéria seca, as placas codificadas foram previamente secas em estufa (BIOPAR) a 105°C por 1 hora. Logo após com o auxílio de uma pinça foram colocadas no dessecador contendo sílica gel por 15 minutos para esfriar. Ainda utilizando uma pinça as placas foram retiradas do dessecador e pesadas na balança analítica (Model: BL1200AS-BI). Seus pesos foram anotados e a balança tarada. Nos mesmos colocou-se com precisão 5,00 gramas das ramas de batata doce e logo depois as placas contendo a amostra foram colocadas na estufa a 105°C, onde permaneceu por 08 horas. Após esse tempo as placas foram retiradas da estufa, e colocadas novamente no dessecador por 15 minutos para esfriar. Em seguida foram pesadas na balança analítica e foram feitos os cálculos de determinação de umidade (SLUITER et al., 2008). As percentagens de umidade e quantidade de matéria seca foram calculadas conforme as fórmulas descritas abaixo.

$$\%H = \frac{P. \text{ final} - P. \text{ placa}}{P \text{ amostra}} * 100 \quad \text{e} \quad \% \text{ MBS} = 100 - \%H$$

Onde:

%H: teor de umidade;

P: peso da placa, peso final e peso da amostra;

%MBS: matéria seca.

Após determinar o teor de umidade e o teor de matéria em base seca, foi calculado os valores obtidos de matéria seca na planilha de cálculo de umidade que determinou a quantidade de sólidos pesados.

4.3 Pré-tratamento ácido das ramas de batata doce

Para o pré-tratamento ácido das ramas de batata doce pesou-se 21,86 g das mesmas em 9 frascos codificados. Logo após preparou-se 1 L de solução de H₂SO₄ na concentração de 1%, e adicionou-se 97,6 mL das soluções H₂SO₄ em cada frasco, cada concentração foi repetida em 9 frascos, separando-os com diferentes temperaturas. Em seguida os diferentes frascos com a concentração de 1%, foram colocados na autoclave (MAX BIOMEDICAL) a uma temperatura de 121°C, e as temperaturas de 90°C e 100°C foram para o Banho Maria onde permaneceram por 15, 30 e 60 minutos cada um deles, depois foram retirados e deixados para esfriar. Após esfriarem peneirou-se o conteúdo dos frascos em uma peneira com diâmetro de 450 mesh e retirou-se os licores (SLUITER et al., 2008).

4.4 Caracterização da parte líquida

Seguindo a metodologia proposta por Sluiter et al. (2008), para a caracterização da parte líquida, os licores retirados foram acondicionados em frascos âmbar, codificados e colocados na geladeira para refrigerar, posteriormente com auxílio de um pHmetro mediu-se o pH dos licores, depois transferiu-se 5 ml dos mesmos para 9 tubos de ensaio com rosca



codificados. Em seguida foi preparada 100 ml de solução de H₂SO₄ a 72% e foi transferida uma quantidade em microlitro dessa solução para os tubos, esta quantidade foi dada de acordo com o valor do pH encontrado e verificado na tabela de solução de H₂SO₄ a 72% disposta na metodologia.

Logo após os tubos foram vedados e homogeneizados no vortex (MARMNEST), e colocados em latas fechadas com papel kraft e colocadas na autoclave a 121°C por 1 hora. Logo após os tubos foram retirados da autoclave e deixados para esfriar e foi realizada a filtração do conteúdo de cada tubo utilizando filtros de seringa com um eppendorf na ponta.

Os líquidos filtrados foram armazenados em vials, em seguida foi feita a diluição desses hidrolisados filtrados. Primeiramente transferiu-se 50 microlitros dos filtrados para os balões volumétricos de 50 mL codificados e em seguida completou-os com água destilada até o menisco. Para a prova em branco pipetou-se e transferiu 50 microlitro da solução de H₂SO₄ a 72% para um balão volumétrico codificado e completou-o com água destilada até o menisco, logo após esses processos todos os balões volumétricos contendo as amostras e a prova em branco foram homogeneizados e passados no espectrofotômetro (BEL) com comprimento de onda de $t = 280$ nm e foi feita a leitura de lignina solúvel presente nas amostras. A outra parte dos hidrolisados contidos nos vials foram levados para o HPLC onde foi determinada a quantidade de açúcares e inibidores contidos nas amostras. Já as partes sólidas foram pesadas e colocadas em béqueres codificados e levadas para estufa a 105°C durante 8 horas para secar, logo após foram retiradas e colocadas no dessecador contendo sílica gel por 15 minutos para esfriar após esfriarem as partes sólidas foram pesadas novamente e foram feitos os cálculos e verificou-se o rendimento final das ramas.

4.5 Determinação dos carboidratos estruturais, grupos acetil, furfural, 5-hidroximetilfurfural e lignina

A caracterização das ramas de batata-doce foi feita com uma hidrólise em duas etapas, primeiramente foram pesados 0,300 gramas de ramas em base seca em tubos de ensaio, depois adicionados à esta matéria-prima 3 mL de ácido sulfúrico com concentração de 72%. Os tubos vedados com Parafilm[®] foram então incubados em banho termostático (Marca:

Solab, Modelo: SL 157) a 30°C por 1 hora e com auxílio de um bastão de vidro as amostras foram homogeneizadas em intervalos de 10 minutos. Ao término da hidrólise, todo conteúdo do tubo de ensaio foi transferido para um frasco reagente de 250 mL com tampa e anel de vedação e foram adicionados 84 mL de água destilada para obter a concentração final de 4%. Posteriormente, o sistema reacional foi fechado e levado à autoclave a 121°C durante 1 hora. Depois desta hidrólise o conteúdo do frasco foi filtrado em papel filtro qualitativo previamente tarado; uma alíquota do filtrado foi retirada para análises de carboidratos, inibidores e lignina solúvel (SLUITER et al., 2008).

4.6 Lignina Solúvel

Para se obter o teor de lignina solúvel foi seguido a metodologia de Sluiter et al. (2008), onde foi recolhida uma amostra de 50 µL do hidrolisado do licor e adicionada a um balão volumétrico de 50 mL completando o volume com água deionizada; foi então feita a medida em espectrofotômetro UV-visível (Modelo: DR 5000, Marca: HACH) na absorvância de 280 nm, garantindo a Lei de Beer-Lambert. A quantidade de lignina foi calculada conforme as Equações 3.1.3.5.1 e 3.1.3.5.2:

$$C_{lig}(\text{g/L}) = 4,187 \times 10^{-2}(A_T - A_{PD}) - 3,279 \times 10^{-4} \quad (\text{Equação } 3.1.3.5.1)$$

onde:

C_{lig} : concentração de lignina solúvel, em g/L;

A_T : absorvância da solução de lignina junto com os produtos de degradação, em 280 nm;

$A_{pd} = c_1 \epsilon_1 + c_2 \epsilon_2$ – absorvância, em 280 nm, dos produtos de decomposição dos açúcares (furfural e 5-HMF), cujas concentrações c_1 e c_2 foram determinadas previamente por CLAE (cromatografia líquida de alta eficiência) e ϵ_1 e ϵ_2 são as absorvâncias e valem, respectivamente, 146,85 e 114,00 L g⁻¹ cm⁻¹.

$$\text{Lignina solúvel (\%)} = \left[\frac{C_{lig}(\text{g/L}) \times V_{filtrado} \times FD}{M_{biomassa \text{ para caracterização}}} \right] \times 100 \quad (\text{Equação } 3.1.3.5.2)$$

Onde:

$V_{filtrado}$: Volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L;

FD : Fator de diluição para leitura da absorbância

$M_{biomassa\ para\ caracterização}$: Massa utilizada para caracterização (aproximadamente 0,3000 g).

4.7 Quantificação de carboidratos

A análise cromatográfica dos carboidratos foi realizada em um cromatógrafo líquido de alta eficiência marca Shimadzu (LC-10Series Avp; desgaseificador: DGU-14A, integrador: CLASS LC-10), com eluição isocrática, pelo bombeamento (LC-10AD) de uma fase móvel composta de 5mM de ácido sulfúrico em água ultrapura (destilada e deionizada). O fluxo do eluente foi de 0,6 mL/min, a 30°C (forno de coluna CTO-10A), com corrida de tempo total de 20 minutos. A detecção se deu em detector de índice de refração (Shimadzu, modeloRID-10A). Uma alíquota de 20,0 µL da amostra foi injetada manualmente (injetor Rheodyne - iL malha 20) e permeada por uma coluna Phenomenex Rezex ROA-OrganicAcid H+ (300 x 7,8 mm) com conexão direta a cartucho de segurança Phenomenex Carbo-H (4 x 3 mm) preenchida com material semelhante ao da coluna principal (SLUITER et al., 2008).

As concentrações de glicose, xilose e arabinose foram determinadas por meio de curvas de calibração obtidas por padrões analíticos. A curva foi construída utilizando soluções de concentrações conhecidas correlacionadas com suas respectivas áreas obtidas após a injeção no cromatógrafo. Com esses resultados foi possível calcular a concentração desconhecida de açúcar dado a área obtida após a injeção no cromatógrafo. Foram preparadas soluções padrões de concentração de glicose, xilose e arabinose (SLUITER et al., 2008).

Para o cálculo das concentrações de açúcares, temos:

$$\text{Açúcares (\%)} = \left(\frac{C_{CLAE} \times CA \times V_{filtrado}}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3.1.3.6})$$

C_{CLAE} : concentração do açúcar quantificado pro CLAE, em g/L

CA : anidro correção para calcular a concentração polimérica dos açúcares dada a concentração monomérica dos açúcares. Para a glicose, xilose e arabinose temos, 0,95; 0,90; 0,88 e 0,88, respectivamente

V_{filtrado} : volume do hidrolisado filtrado, 0,087L

M_1 : massa da biomassa utilizada na hidrólise descontado o teor de umidade, em gramas (g).

4.8 Planejamento Experimental

Contudo, após a obtenção da matéria-prima seguiu-se a metodologia proposta por Sluiter et al. (2008), onde foi feita a caracterização da matéria-prima obtendo os resultados de celulose, hemicelulose e lignina nos Laboratórios de Análises de Alimentos e Microbiologia de Alimentos do Instituto Federal do Tocantins *Campus* Paraíso do Tocantins – TO.

Para os pré-tratamentos foi dada ênfase para a carga de sólido de 20%, seguindo os estudos já realizados por Dominices (2017), (que já havia estudado em seu trabalho outras cargas de sólidos como as de 10 e 30%), com uma concentração de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 1%_{m/v}, para os tempos de 15, 30 e 60 minutos nas temperaturas de 90, 100 e 121°C, analisando três formulações para cada temperatura com os diferentes tempos, onde as temperaturas de 90 e 100°C foram pré-tratadas no banho-maria e a de 121°C foram para autoclave, analisando-se ao todo 9 fracos. Obtendo como resposta as análises de açúcares e inibidores, fontes altamente fermentescíveis de açúcares para glicose, arabinose e xilose e pôr fim a otimização.

Todo material obtido foi separado entre base líquida e sólida, onde foi separado o licor do material sólido e o material sólido adquirido foi seco na estufa para determinar seus respectivos teores de umidade e exposto para descarte. Uma vez que a parte líquida adquiria todo material necessário para as análises contendo em seus licores materiais lignocelulósicos. Já parte sólida não foi utilizada pois não possuía a quantidade necessária de açúcares e inibidores significativas.

4.9 Metodologia de Superfície de Resposta

Nesse experimento foram avaliados os efeitos dos fatores carga de sólidos e concentração de ácido sulfúrico nas temperaturas de 90, 100 e 121 °C e no tempo reacional de



15, 30 e 60 minutos. Os tempos reacionais foi fixado em 15, 30 e 60 minutos baseado no estudo realizado por Dominices (2017), que demonstrou alta conversão de celulose, hemicelulose e lignina nestes tempos. Para isso foi utilizado um delineamento composto central com duas repetições na parte fatorial e três repetições no ponto central.

As respostas usadas para o delineamento experimental foram as concentrações de glicose, xilose, arabinose, furfural e 5-hidroximetilfurfural na fração líquida da hidrólise ácida (hidrolisado).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição química das ramas da batata-doce indica que esta biomassa possui grande potencial para a produção de etanol de segunda geração, pois apresenta altos conteúdos de celulose que posteriormente podem ser convertidos em oligômeros e monômeros.

Neste intuito foi realizado um estudo detalhado dos efeitos das concentrações de ácido sulfúrico nas hidrólises ácidas levando em consideração uma carga de sólido (20% m/m) e tempo reacional (15, 30 e 60 minutos) na temperatura de (90, 100 e 121°C).

5.1 Caracterização química das ramas

A caracterização química das ramas da batata-doce permitiu verificar seu potencial promissor para a produção de etanol de segunda geração, pois apresenta conteúdo de celulose (46,48%) ligeiramente maior que outras biomassas, além de possuir também um conteúdo mais baixo de hemicelulose (19,28%) e lignina (19,16%) que representa uma boa característica para os materiais destinados a produção de etanol de segunda geração, pois esses dois polissacarídeos diminuem a digestibilidade da celulose em relação as celulases.

5.2 Efeito da temperatura

A Tabela 1 apresenta as concentrações de carboidratos (glicose, arabinose, xilose, furfural e 5-HMF) quantificados após a hidrólise ácida das ramas da batata-doce para a concentração de 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

Com uma carga de sólido fixa de 20 % (m/m), pode-se observar que as maiores concentrações foram obtidas no tempo de 30 minutos.

Tabela 1 – Concentrações de carboidratos (glicose, arabinose, xilose), produtos de degradação (furfural e 5-HMF) na hidrólise ácida das ramas com carga de sólidos (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30, e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C e concentração de 1 %(m/v) de ácido sulfúrico.

Carga de sólidos (%m/m)	Tempo (min)	Concentração Ácida (%m/v)	Temperatura (°C)	D-Glicose (g/L)	DL-Arabinose (g/L)	D-Xilose (g/L)	Furfural (g/L)	5-HMF (g/L)
20	0	1%	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	1%	90	1,16	0,39	4,41	0,14	0,51
	30	1%	90	1,71	0,58	7,62	0,16	0,59
	60	1%	90	3,55	1,26	6,62	0,14	0,51
20	0	1%	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	1%	100	0,18	0,58	2,71	0,01	0,47
	30	1%	100	0,54	1,13	3,83	0,03	0,61
	60	1%	100	0,68	0,44	4,12	0,05	0,56
20	0	1%	121	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	1%	121	0,07	0,25	1,53	0,01	0,29
	30	1%	121	0,21	0,83	2,62	0,02	0,52
	60	1%	121	0,04	0,22	1,08	0,01	0,08

Fonte: Próprio autor, 2019.

O uso de altas cargas de sólidos (superiores a 15% de sólidos) apresenta muitas vantagens, incluindo o incremento nas concentrações de açúcares e etanol além de custos de capital. Na carga de sólido de 20 %(m/m) as maiores concentrações de glicose foram no tempo reacional de 60 minutos na temperatura de 90°C com teor de 3,55 g/L. Vale ressaltar que o aumento da viscosidade é um grande desafio que o manuseio com estes materiais apresentam, pois está diretamente ligado ao acréscimo de energia para a mistura tornando um fator limite no processo (MODENBACH; NOKES, 2012).

Na carga de sólido de 20 %(m/m) houve incremento tanto nos valores de arabinose (1,26 g/L, respectivamente) quanto de xilose (7,62g/L, respectivamente), contudo observa-se que os produtos de degradação também tiveram seus índices elevados tornando o meio reacional tóxico para a ação de microrganismos no processo posterior de fermentação, tais valores foram obtidos no tempo de 30 e 60 minutos e na temperatura de 90 °C. Os valores também com carga de sólidos igual a 20 %(m/m) e concentração ácida 1% para furfural (0,16 g/L, respectivamente) e a 5-HMF (0,61 g/L, respectivamente), nos tempos de 30 minutos na temperatura de 90 e 100°C. A temperatura e o tempo são parâmetros que devem ser levados em consideração uma vez que afetam o desenvolvimento de inibidores.



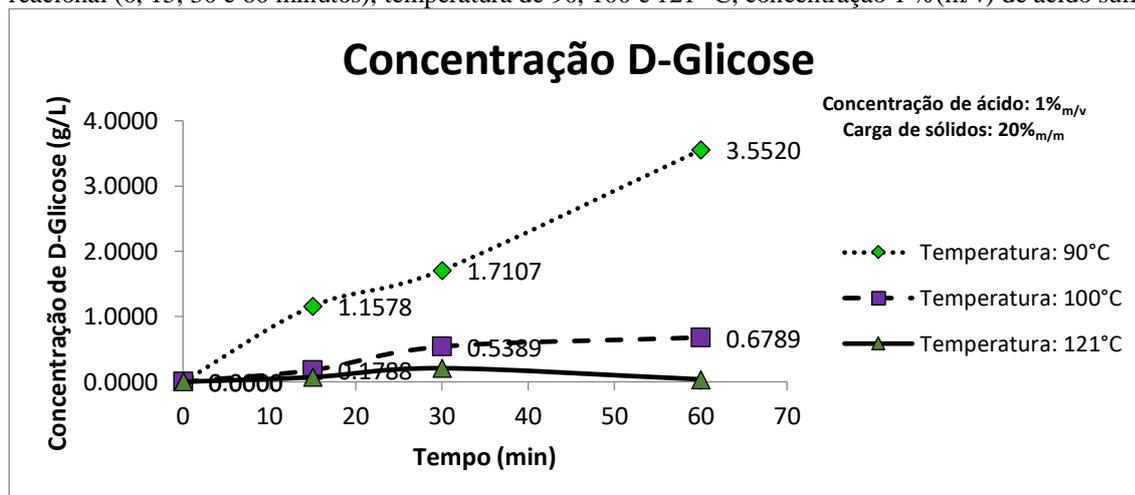
Pode-se observar que a xilose vem da hidrólise da hemicelulose e o pré-tratamento pode favorecer a quebra da xilose até formar furfural. Similarmente, a glicose advinda da hidrólise da celulose pode se converter a 5-hidroximetilfurfural.

Na carga de sólido de 20 % (m/m) nos tempos de 15 minutos não se obteve sucesso na hidrólise ácida, no tocante o aumento da carga de sólidos e a baixa concentração de ácido não foi suficiente para que a biomassa convergisse os polissacarídeos em oligômeros e monômeros. No tempo reacional estudado de 15 e 30 minutos, a biomassa era hidratada com a solução de ácido sulfúrico, no entanto após o período de hidrólise formava-se uma pasta consistente dificultando a separação do material sólido do hidrolisado (licor). Em uma carga de sólidos de 30% m/m este comportamento foi semelhante quando se empregaram concentrações de soluções ácidas superiores (2 e 3 % m/v), segundo Modenbach; Nokes (2012), que afirmaram que o aumento da viscosidade é um grande desafio, pois está diretamente ligado ao acréscimo de energia para a mistura tornando um fator limite no processo.

Desta forma pode se observar na figura 1, 2, 3, 4 e 5 que a máxima conversão de glicose, arabinose, xilose, furfural e 5-HMF concentrou nos tempos reacional de 30 e 60 minutos e temperatura de 90 e 100°C. Isso pode sugerir o desenvolvimento de um procedimento alternativo para o processo de pré-tratamento, operado de forma sequencial para melhor aproveitar as correntes minimizando a formação de inibidores, inclusive.

A Figura 1 mostra a concentração de glicose, na hidrólise ácidas das ramas com carga de sólido (20% m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico. Destacando-se que, a máxima conversão ocorreu no tempo de 60 minutos na temperatura de 90°C.

Figura 1 - Concentrações de Glicose, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

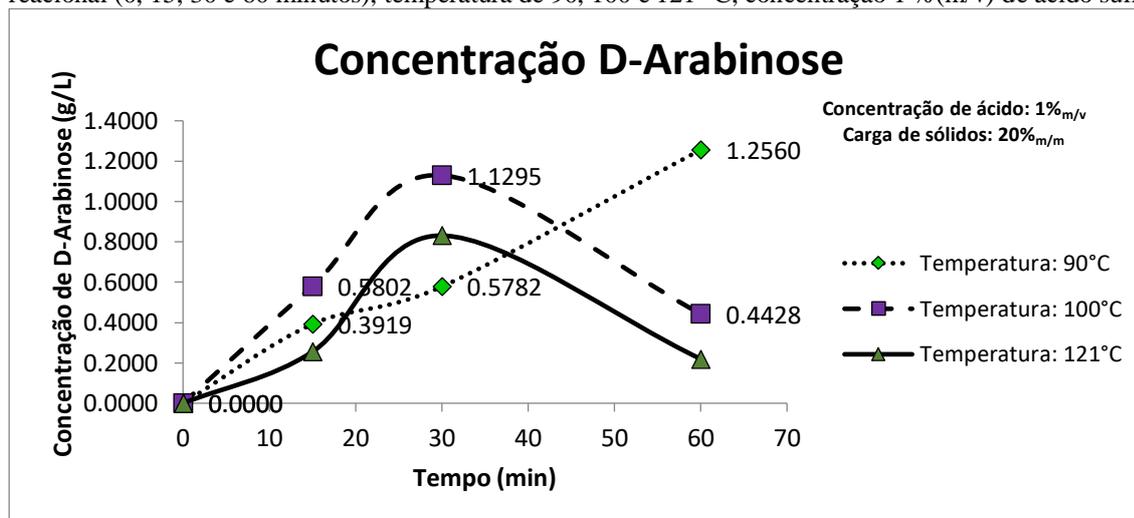


Fonte: Próprio autor, 2019.

Pode-se observar na Figura 1 que a máxima conversão de glicose na carga de sólidos de 20 % (m/m) foi de 3,55 g/L, respectivamente. A máxima conversão dos polímeros foi no tempo de 60 minutos na temperatura de 90°C. Contudo, para uma média carga de sólidos de 20 % (m/m) estudada, obteve-se no tempo reacional de 60 minutos. Portanto o uso de uma menor temperatura se mostrou mais severo. Já Rong (2012) realizou em seu trabalho um pré-tratamento do bagaço da cana de açúcar entre as concentrações de 0,25 e 5,0%, com um tempo de reação de 60 minutos a 121°C e obteve em seu estudo 1,46 g/L de glicose.

As concentrações de Arabinose, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 % m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico, ocorreu como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Concentrações de Arabinose, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

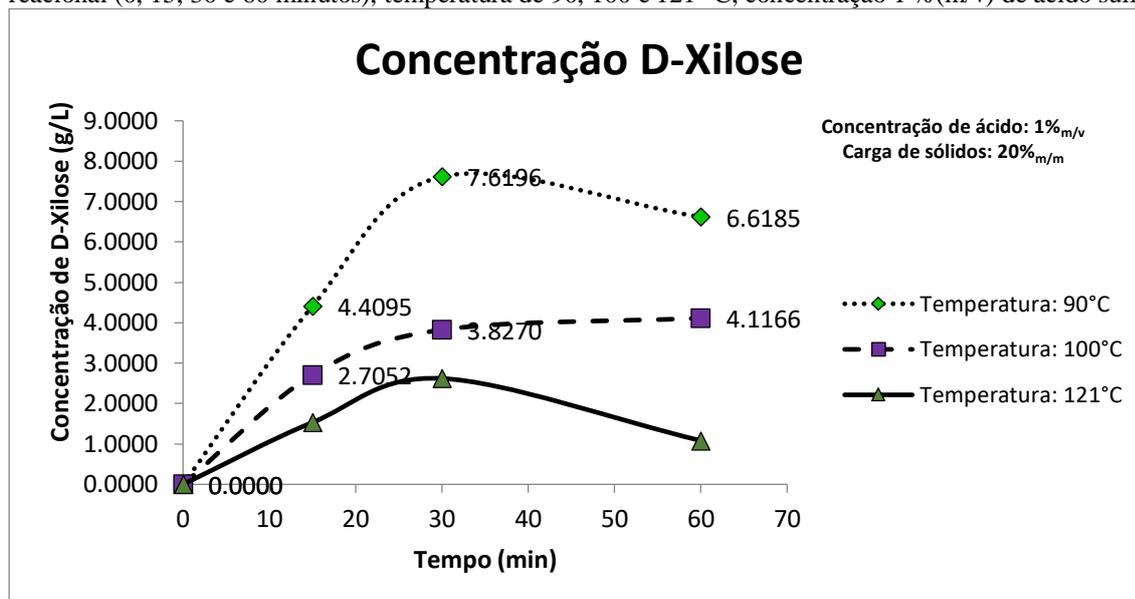


Fonte: Próprio autor, 2019.

Observa-se que na Figura 2 que a máxima conversão de arabinose foi de 1,26 g/L, respectivamente. Sabendo que, a máxima conversão dos polímeros foi no tempo de 60 minutos na temperatura de 90°C. Contudo, para uma média carga de sólidos de 20 % (m/m) estudada, obteve-se no tempo reacional de 60 minutos. Com isto o uso de uma menor temperatura se mostra mais severo. Paula (2009) estudou a hidrólise ácida da polpa de sisal e concluiu que, a formação de arabinose é mais influenciada pela concentração do ácido que pela temperatura. Destacou que a arabinose é relativamente estável até a temperatura de 70°C na concentração ácida de 45%, mantendo uma média de concentração de 0,21g.L⁻¹ ao término das 6h da reação. Contudo somente para 50% de H₂SO₄ é observado a composição da arabinose, à 70%.

Na Figura 3 abaixo podemos ver as concentrações de xilose, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

Figura 3 - Concentrações de Xilose, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

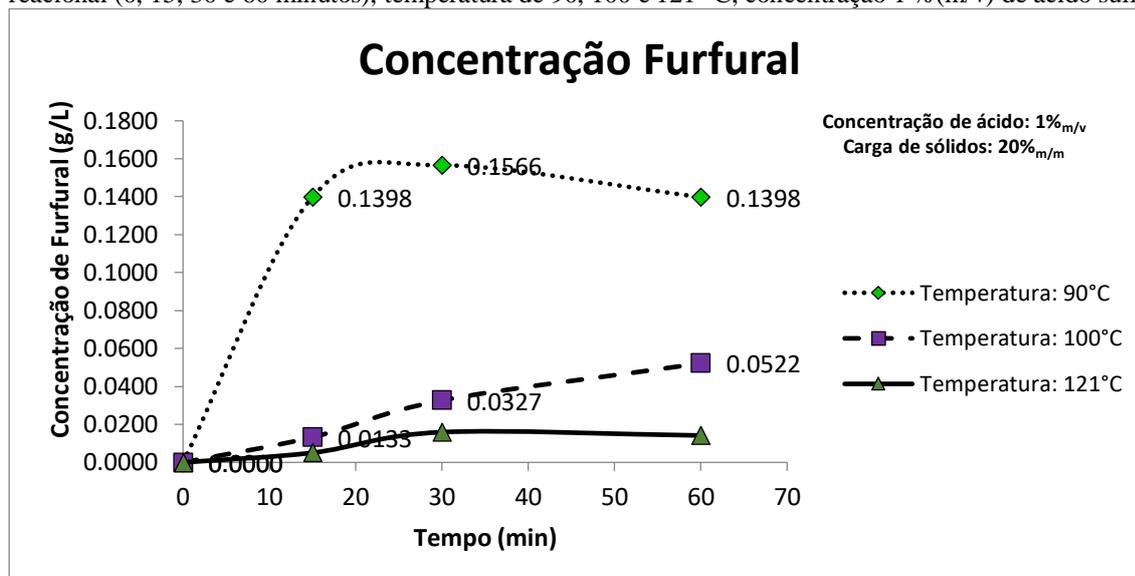


Fonte: Próprio autor, 2019.

No entanto na Figura 3 pode-se observar que a máxima conversão de xilose na carga de sólidos de 20 % (m/m) foi de 7,72 g/L, respectivamente. A máxima conversão dos polímeros foi no tempo de 60 minutos na temperatura de 90°C. Desta forma, para uma média carga de sólidos de 20 % (m/m) analisada, obteve-se no tempo reacional de 30 minutos. Entretanto o uso de uma menor temperatura mostra-se mais severo. Os resultados de Kipper (2009) mostraram que quanto maior o tempo de reação o rendimento de xilose obtido na pré-hidrólise diminui, devido a exposição prolongada a altas temperaturas e acidez que causam a formação de ácidos orgânicos furfurais. Onde obteve melhor rendimento e extração de xilose em seus estudos, nos tempos de 60 e 120 minutos na concentração de 1% que resultaram respectivamente em 7,13 g/L e 7,07 g/L de xilose.

A Figura 4 analisa as concentrações de Furfural, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

Figura 4 - Concentrações de Furfural, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

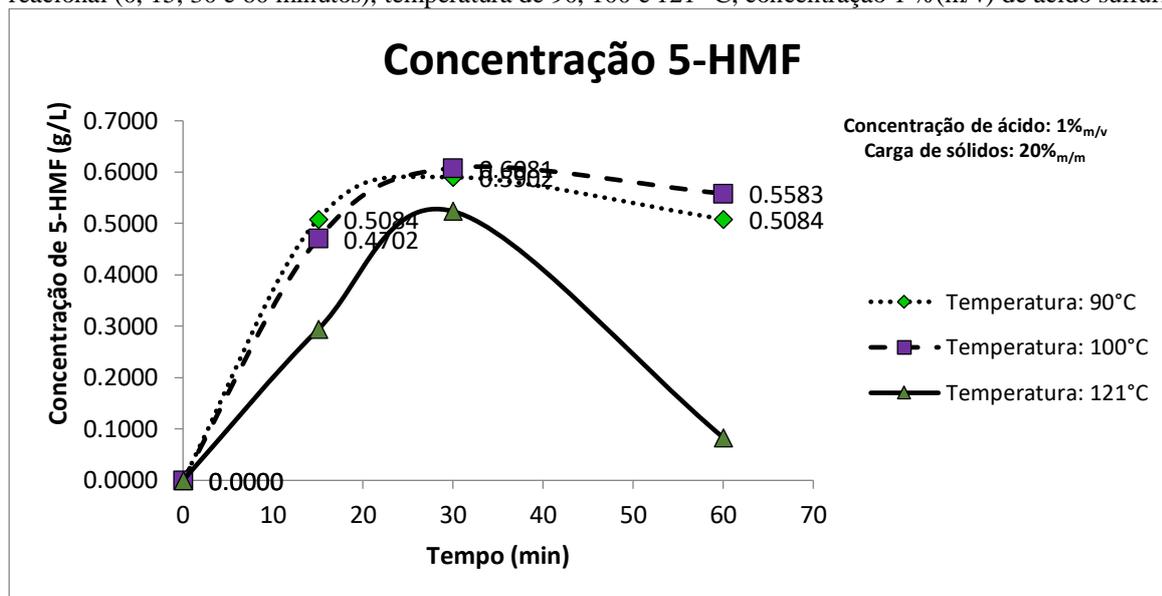


Fonte: Próprio autor, 2019.

Na Figura 4 a máxima conversão de furfural na carga de sólidos de 20 % (m/m) foi de 0,16 g/L, respectivamente. A máxima conversão dos polímeros foi no tempo de 30 minutos na temperatura de 90°C. Portanto o uso de uma menor temperatura se mostrou mais severo. Contudo, para uma média carga de sólidos de 20 % (m/m) estudada, pode ser obtida no tempo reacional de 30 minutos. Segundo Rong (2012) o aumento da temperatura resulta no aumento do furfural, onde estudou que as concentrações ótimas estabelecidas em seu trabalho foram entre 1,25 e 1,75 mg/L no tempo de 60 min, e na temperatura 180°C.

A Figura 5 ilustra a concentrações de HMF, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido 20 % (m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.

Figura 5 - Concentrações de HMF, na hidrólise ácida das ramas com cargas de sólido (20 %m/m), tempo reacional (0, 15, 30 e 60 minutos), temperatura de 90, 100 e 121 °C, concentração 1 % (m/v) de ácido sulfúrico.



Fonte: Próprio autor, 2019.

A Figura 5 mostra que a máxima conversão de 5-HMF na carga de sólidos de 20 % (m/m) foi de 0,61 g/L, respectivamente. A máxima conversão dos polímeros foi no tempo de 30 minutos na temperatura de 100°C. Contudo, para uma média carga de sólidos de 20 % (m/m) estudada, obteve-se no tempo reacional de 30 minutos. Portanto o uso da temperatura média se mostrou mais severo, apresentando elevados teores de ácido acético, furfural e 5-HMF que são inibidores do processo de fermentação. Paula (2009) observou claramente em seu trabalho que o aumento da temperatura leva o favorecimento da produção de HMF. Notou-se que na temperatura de 60°C e na concentração ácida de 30%, praticamente, não há formação de HMF, apenas a partir de 150 min de reação é observado uma pequena fração (0,002 g.L⁻¹). Por fim observou que a maior concentração de HMF detectada é consequência da maior temperatura considerada (100°C) e não da maior concentração de ácido (50%).

5.3 Condições ótimas da hidrólise ácida das ramas da batata doce utilizando a metodologia de superfície de resposta

Nesse estudo foram avaliados os efeitos do fator carga de sólidos (20 % (m/m)) e concentração de ácido sulfúrico na temperatura de 90, 100 e 121 °C e no tempo reacional de 0, 15, 30 e 60 minutos. As respostas usadas para o delineamento experimental foram as concentrações de glicose, xilose, arabinose, furfural e 5-hidroximetilfurfural na fração líquida

da hidrólise ácida (hidrolisado), como mostra as tabelas (2, 3, 4, 5 e 6) abaixo e suas respectivas superfícies sem resposta.

5.3.1 Glicose

A Tabela 2 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a glicose.

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a glicose na otimização da hidrólise ácida das ramas da batata-doce.

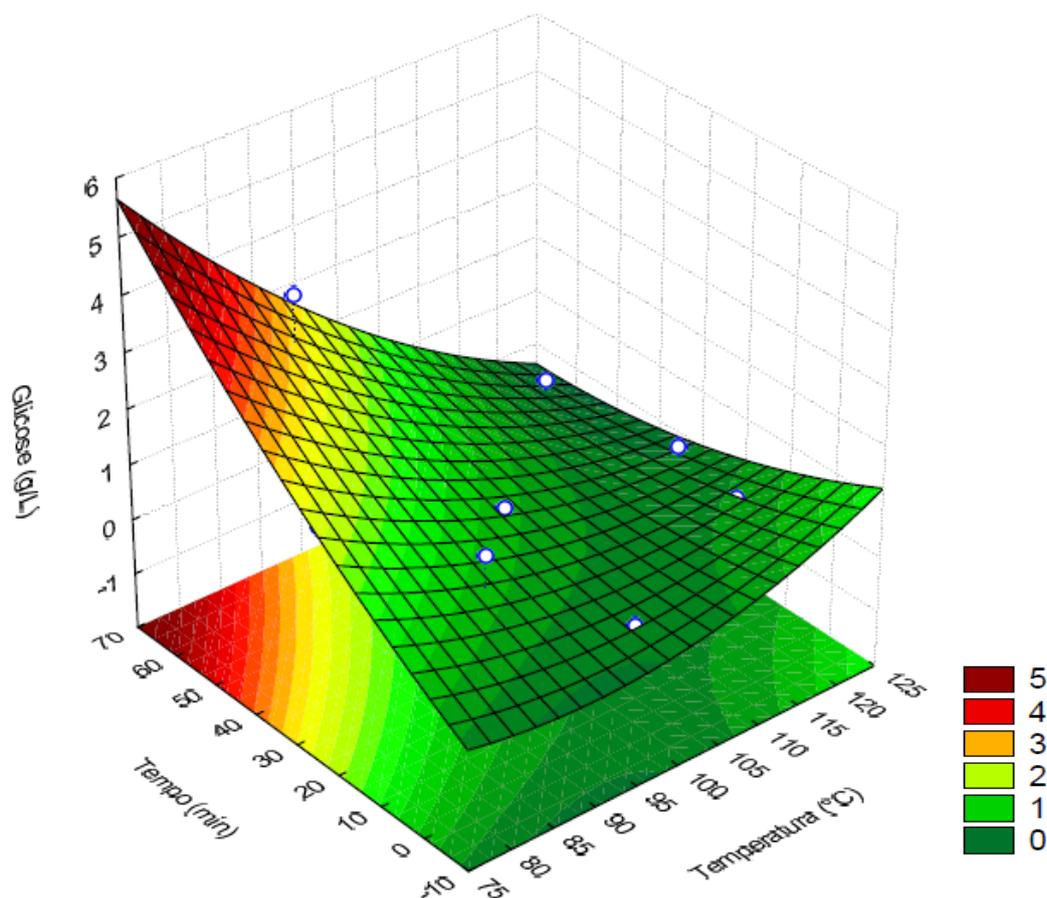
FONTE DE VARIAÇÃO	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Temperatura (°C)(L)	4,41457	1	4,414567	Não houve
Temperatura (°C)(Q)	0,36881	1	0,368814	-
Tempo (min)(L)	1,18700	1	1,187005	-
Tempo (min)(Q)	0,08197	1	0,081973	-
1L by 2L	1,67531	1	1,675310	-
Lack of Fit	2,28316	3	0,761054	-
Pure Error	0,00000	1	0,000000	-
Total SS	10,74340	9		-

Fonte: Próprio autor, 2019.

A partir do modelo apresentado foi obtida a superfície de resposta analisando o efeito da carga de sólido e da concentração de ácido sulfúrico na concentração de glicose dos hidrolisados ácidos de H₂SO₄ para as ramas da batata-doce.

Figura 6 – Efeito de temperatura e tempo na concentração de glicose no hidrolisado ácido das ramas da batata-doce.

Gráfico de Superfície de Resposta – Glicose (g/L)
Temperatura (°C) X Tempo (min)



Fonte: Próprio autor, 2019.

Pela representação da Figura 6 pode-se observar que a interação entre temperatura e tempo possui maior influência sobre a concentração de glicose, com isto, o aumento foi linear tanto para o tempo quanto para a temperatura. A maior concentração de glicose (3,55 g/L) foi obtida na temperatura de 75 °C e no tempo de 70 min. Os valores encontrados foram superiores aos apresentados por Betiku et al. (2013) que em seus estudos com a pele que recobre as raízes da batata-doce tiveram concentrações de glicose (174,4 g/L) para a condição de 60 °C e 60 minutos na etapa de liquefação.

5.3.2 Arabinose

A Tabela 3 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a arabinose.

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a arabinose na otimização da hidrólise ácida das ramas da batata-doce.

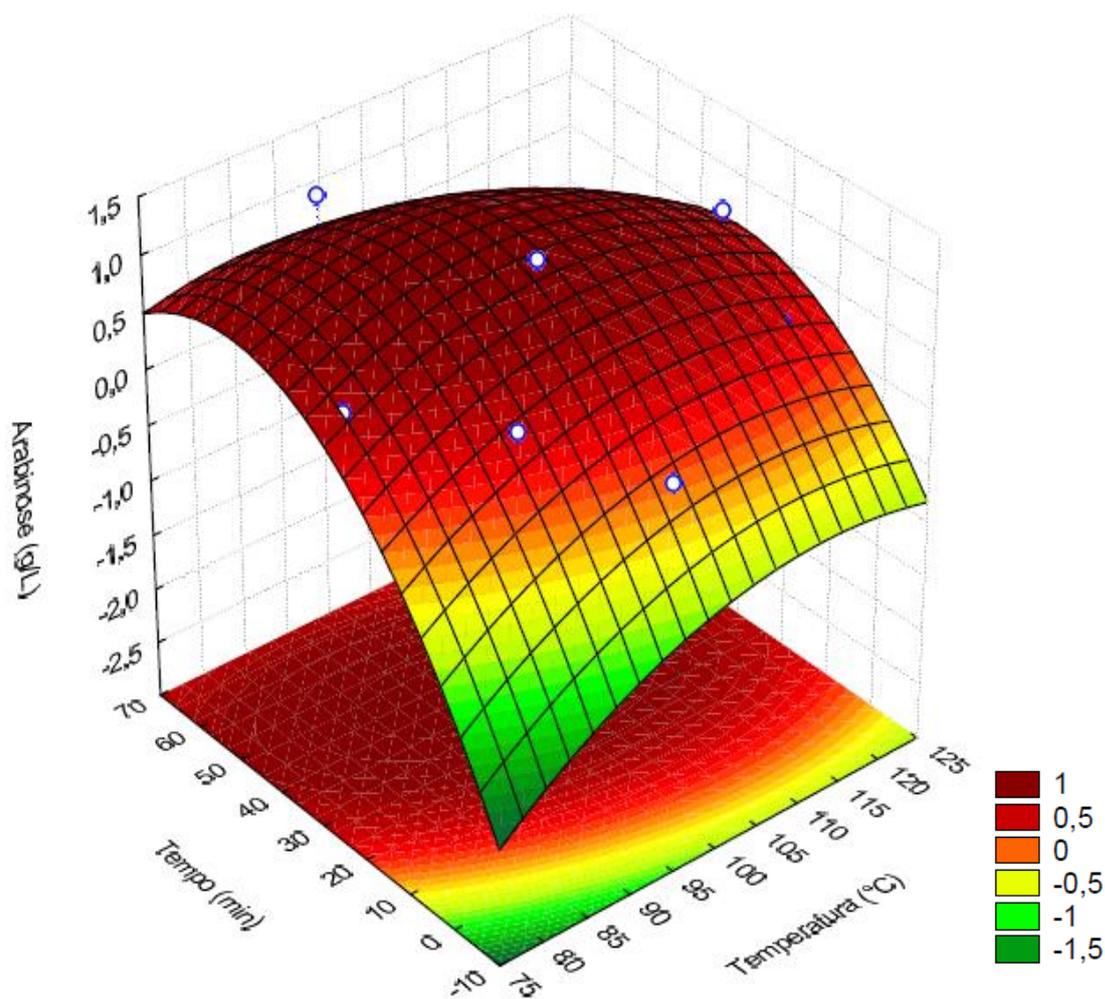
FONTE DE VARIAÇÃO	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
(Temperatura (°C))(L)	0,300356	1	4,414567	Não houve
Temperatura (°C)(Q)	0,246253	1	0,368814	-
Tempo (min)(L)	0,012327	1	1,187005	-
Tempo (min)(Q)	0,759156	1	0,081973	-
1L by 2L	0,161971	1	1,675310	-
Lack of Fit	0,343603	3	0,761054	-
Pure Error	0,000000	1	0,000000	-
Total SS	1,742010	9		-

Fonte: Próprio autor, 2019.

Com isto foi obtida a superfície de resposta analisando o efeito da carga de sólido e da concentração de ácido sulfúrico na concentração de arabinose dos hidrolisados ácidos de H₂SO₄ para as ramas da batata-doce.

Figura 7 – Efeito de temperatura e tempo na concentração de arabinose no hidrolisado ácido das ramas da batata-doce.

**Gráfico de Superfície de Resposta – Arabinose (g/L)
Temperatura (°C) X Tempo (min)**



Fonte: Próprio autor, 2019.

Pela representação da Figura 7 pode-se observar que a interação entre temperatura e tempo a concentração de ácido sulfúrico possui maior influência sobre a concentração de arabinose, de forma que se observa o aumento nessas concentrações à medida que as cargas de sólido e as concentrações de ácido sulfúrico se elevam. De forma que na carga de sólido de 20 % (m/m) e na concentração de ácido de 1 % (m/v), foi no tempo de 70 min na temperatura de 75°C, observa-se que as maiores concentrações de arabinose ocorreu em g/L, sendo 1,26 g/L. Os resultados estão bem abaixo dos resultados estudados por Rabelo (2010), onde mostrou a avaliação e otimização do pré-tratamento e da hidrólise enzimática do bagaço da

cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração, onde obteve 9,2 g/L de arabinose como resultado, onde destaca que quanto maior for a temperatura maior será a concentração de arabinose.

5.3.3 Xilose

A Tabela 4 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a xilose.

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a xilose na otimização da hidrólise ácida das ramas da batata-doce.

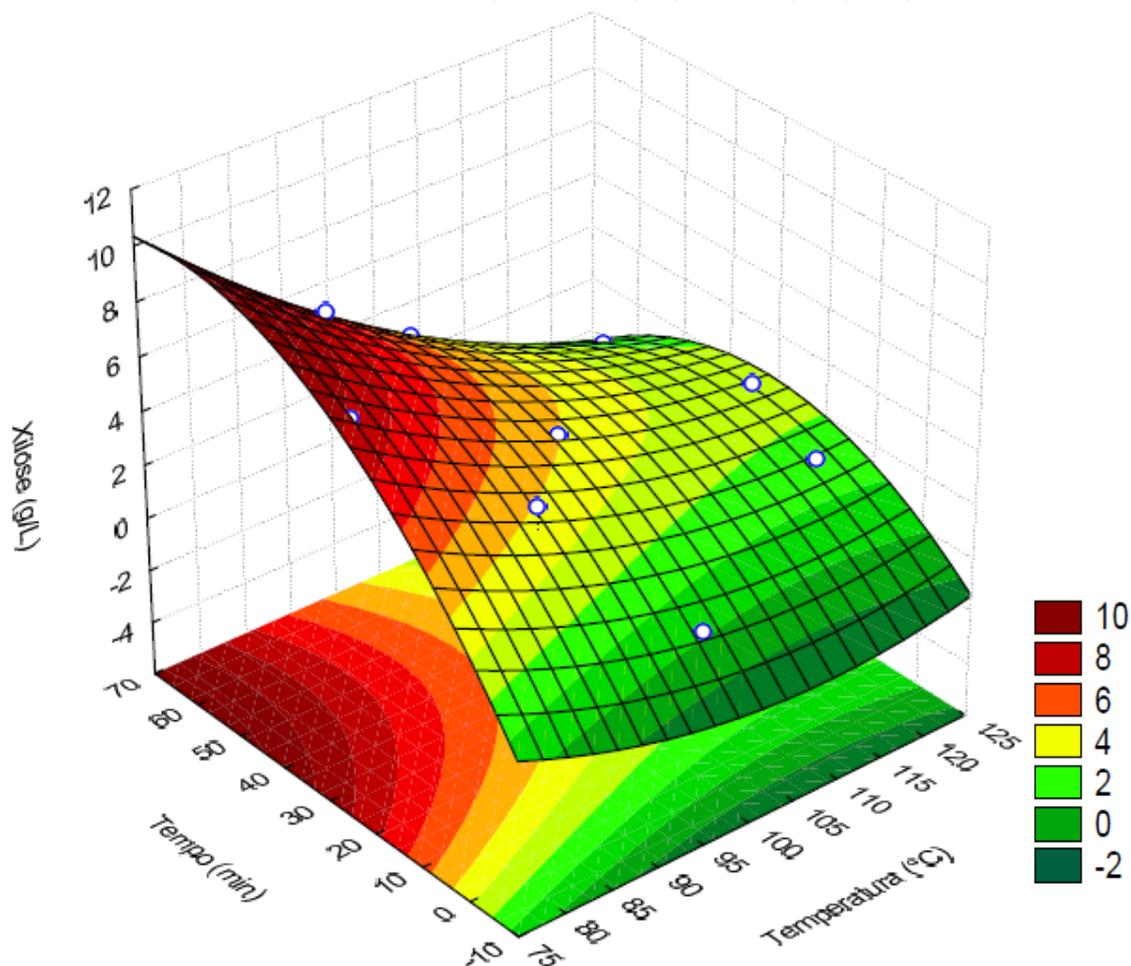
FONTE DE VARIAÇÃO	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
(1)Temperatura (°C)(L)	23,98995	1	23,98995	Não houve
Temperatura (°C)(Q)	1,65165	1	1,65165	-
(2)Tempo (min)(L)	2,22710	1	2,22710	-
Tempo (min)(Q)	4,96979	1	4,96979	-
1L by 2L	2,62224	1	2,62224	-
Lack of Fit	0,80164	3	0,26721	-
Pure Error	0,00000	1	0,00000	-
Total SS	50,85724	9		-

Fonte: Próprio autor, 2019.

Desta forma foi obtida a superfície de resposta analisando o efeito da carga de sólido e da concentração de ácido sulfúrico na concentração de xilose dos hidrolisados ácidos de H₂SO₄ para as ramas da batata-doce.

Figura 8 – Efeito de temperatura e tempo na concentração de xilose no hidrolisado ácido das ramas da batata-doce.

**Gráfico de Superfície de Resposta – Xilose (g/L)
Temperatura (°C) X Tempo (min)**



Fonte: Próprio autor, 2019.

Pela representação da Figura 8 pode-se observar que a interação entre temperatura e tempo a concentração de ácido sulfúrico possui maior influência sobre a concentração de xilose. Assim, na carga de sólido de 20 %(m/m) e na concentração de ácido de 1,0 %(m/v) observa-se as maiores concentrações de xilose (7,72 g/L). Ocorrendo em um menor tempo (70 min), e em uma maior temperatura (75°C). A concentração total de xilose obtida nos estudos de Ferreira (2012), sobre a produção eficiente de etanol de segunda geração a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar foi 14,19g/L, resultado este bem superior ao encontrado no presente estudo.

5.3.4 Furfural

A Tabela 5 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para o furfural.

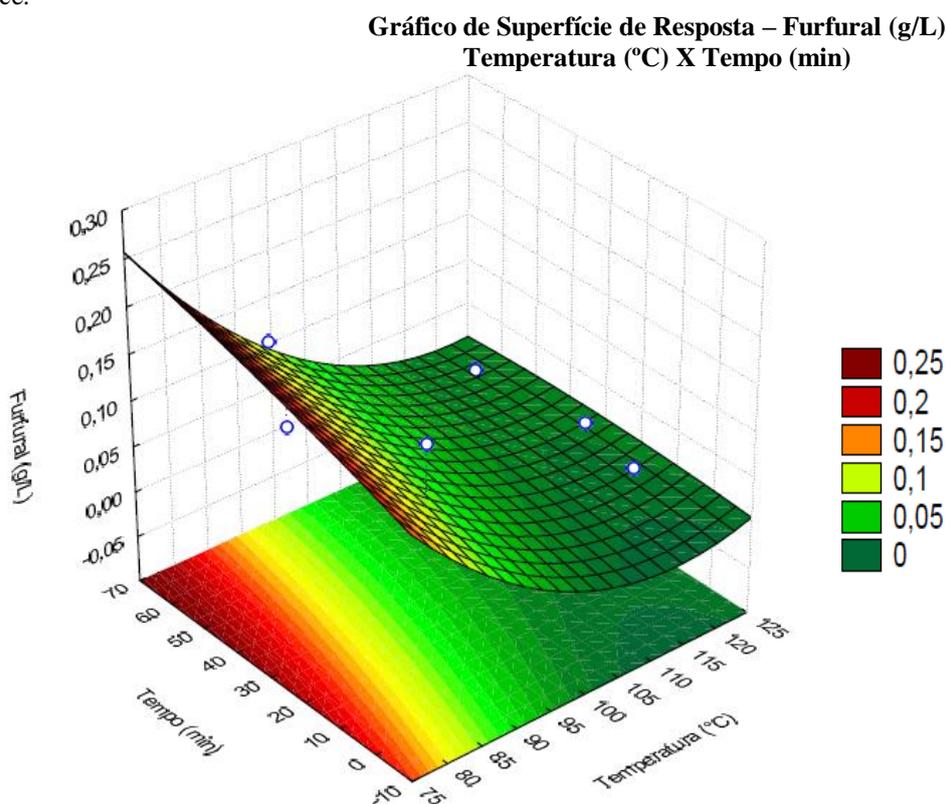
Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a furfural na otimização da hidrólise ácida das ramas da batata-doce.

FONTES DE VARIACÃO	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Temperatura (°C)(L)	0,014563	1	0,014563	Não houve
Temperatura (°C)(Q)	0,004097	1	0,004097	-
Tempo (min)(L)	0,000744	1	0,000744	-
Tempo (min)(Q)	0,000017	1	0,000017	-
1L by 2L	0,000265	1	0,000265	-
Lack of Fit	0,005650	3	0,001883	-
Pure Error	0,000000	1	0,000000	-
Total SS	0,034890	9		-

Fonte: Próprio autor, 2019.

A partir do modelo apresentado foi obtida a superfície de resposta analisando o efeito da carga de sólido e da concentração de ácido sulfúrico na concentração de furfural dos hidrolisados ácidos de H_2SO_4 para as ramas da batata-doce.

Figura 9 – Efeito de temperatura e tempo na concentração de furfural no hidrolisado ácido das ramas da batata-doce.



Pela representação da Figura 9 pode-se observar que o tempo (70 min) possui maior influência sobre a concentração de furfural, demonstrando aumento dessas concentrações sobre uma menor temperatura (75°C), observa-se que as maiores concentrações de furfural ocorreu em 0,16 g/L. Visto que, quando aumentava a temperatura e o tempo o furfural também tinha um aumento. Com isto foi detectado com a otimização, que nesta região onde ocorria o aumento, a quantidade de inibidor gerada era baixa. Contudo, ressalta que o furfural vem da degradação de arabinose e xilose.

5.3.5 5-Hidroximetilfurfural

A Tabela 6 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para o 5-hidroximetilfurfural.

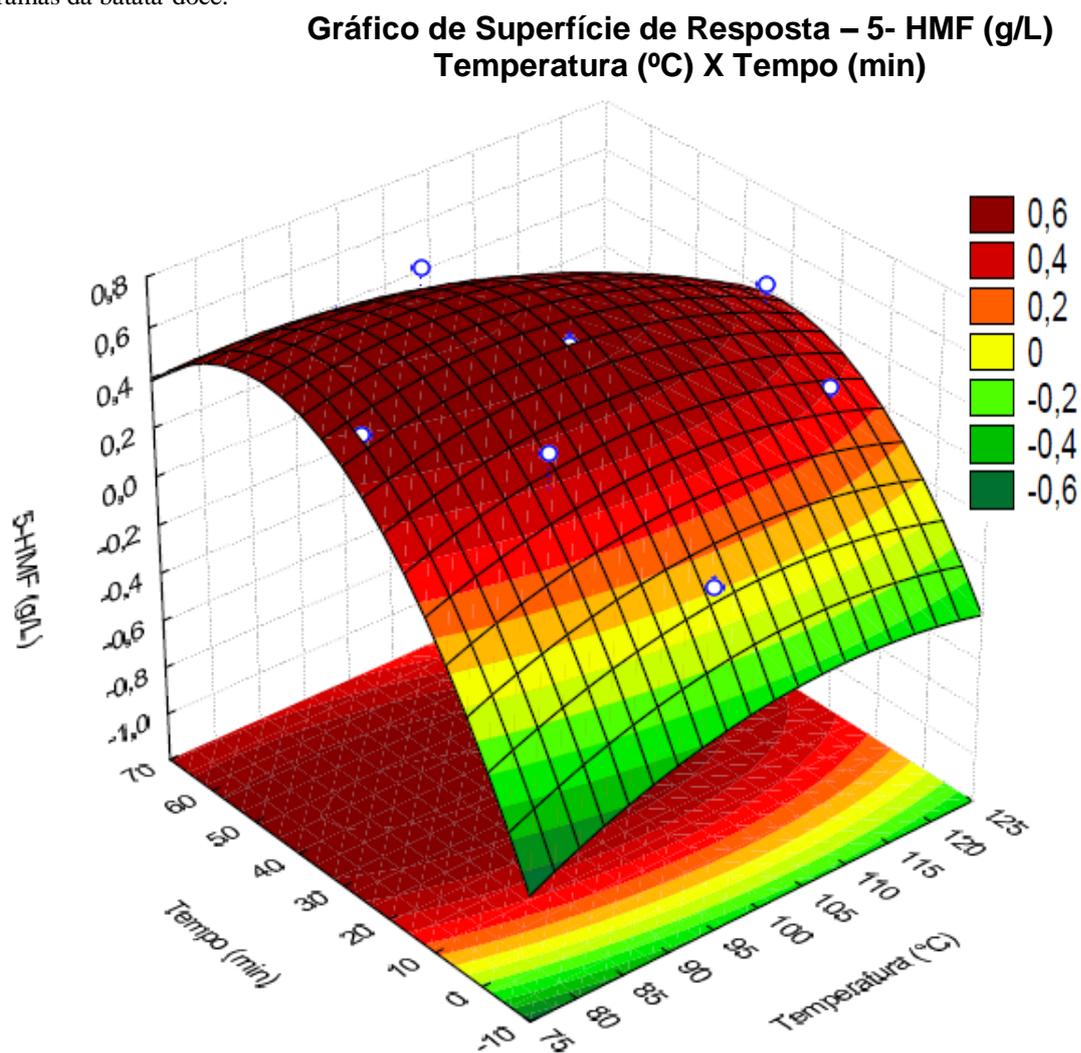
Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) da equação de regressão para a HMF na otimização da hidrólise ácida das ramas da batata-doce.

FONTE DE VARIAÇÃO	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Temperatura (°C)(L)	0,125879	1	0,125879	Não houve
Temperatura (°C)(Q)	0,027219	1	0,027219	-
Tempo (min)(L)	0,000422	1	0,000422	-
Tempo (min)(Q)	0,247464	1	0,247464	-
1L by 2L	0,027514	1	0,027514	-
Lack of Fit	0,039356	3	0,013119	-
Pure Error	0,000000	1	0,000000	-
Total SS	0,455160	9		-

Fonte: Próprio autor, 2019.

A partir do modelo apresentado foi obtida a superfície de resposta analisando o efeito da carga de sólido e da concentração de ácido sulfúrico na concentração de 5-hidroximetilfurfural dos hidrolisados ácidos de H₂SO₄ para as ramas da batata-doce.

Figura 10 – Efeito de temperatura e tempo na concentração de 5-hidroximetilfurfural no hidrolisado ácido das ramas da batata-doce.



Pela representação da Figura 10 pode-se observar que a interação da temperatura com o tempo possui maior influência sobre a concentração de 5-hidroximetilfurfural. Nas maiores concentrações de ácido sulfúrico, a partir de 20%(m/v) mostra-se a elevação dos teores do inibidor 5-hidroximetilfurfural. De forma que na concentração de ácido de 1 %(m/v), foi em um maior tempo (70 min) e posteriormente, em uma maior temperatura estimada em 100°C, observa-se que as maiores concentrações de 5- hidroximetilfurfural ocorreu em 0,61 g/L. Vale destacar que o HMF é proveniente da degradação da glicose.

Portanto, o importante era liberar mais açúcar e gerar menos inibidor. Isto significa dizer que os resultados obtidos para açúcares e inibidores foi interessante, obtendo altos



valores de açúcares e baixos valores de inibidores nessas características (DOMINICES, 2017).

5.3.6 Ponto Ótimo da hidrólise ácida das ramas da batata doce

Com a investigação dos efeitos das condições operacionais do processo de hidrólise ácida das ramas pode-se definir o melhor ponto na faixa considerada deste processo por meio do planejamento experimental realizado no software Statistica 7.0. O ponto considerado ótimo da hidrólise ácida das ramas foi com Carga de sólido (X_1) = 20 % (m/m); Concentração de ácido sulfúrico (X_2) = 1 % (m/v); Temperatura (X_3) = 89,16 °C; Tempo (X_4) = 41,26 minutos.

Nestas condições foram obtidas as maiores médias nas concentrações de glicose (3,55 g/L), xilose (7,72 g/L) e arabinose (1,26 g/L) além de apresentarem baixas concentrações dos produtos inibidores furfural (0,16 g/L) e 5-hidroximetilfurfural (0,61 g/L). Os inibidores que são produtos da degradação dos monossacarídeos não são desejáveis, pois apresentam influência negativa sobre os processos fermentativos. Palmqvist e Hahn-Hägerdal (2000) revelaram que uma concentração de 1,0 g/L de 5-HMF inibiu cerca de 33% da produção de etanol, e que 0,5 g/L de furfural inibiu 22%.

6. CONCLUSÃO

As ramas da batata-doce quanto a sua composição apresentaram elevados índices de xilose, componente expressivo para a produção de etanol de segunda geração, além de possuir menores teores de furfural e 5-HMF em relação a outros materiais destinados a produção de etanol lignocelulósico.

Os perfis das concentrações dos carboidratos mostram que as hidrólises ácidas das ramas de batata-doce tiveram maiores liberações nas cargas de sólido de 20 % (m/m) estudada, no entanto obtiveram também maior liberação de produtos de degradação. Na concentração estudada de 1 % (m/v) de ácido sulfúrico notou-se uma elevação nos níveis de glicose e xilose, assim como o destaque para a temperatura entre 90 e 100°C, e para o tempo reacional entre 30 e 60 minutos. Sendo satisfatório o ponto ótimo de 89,16°C para temperatura e de 41,26 min para o tempo. Com isso foi possível investigar, avaliar e otimizar a viabilidade da produção de etanol de segunda geração a partir da hidrólise ácida das raízes da batata-doce.

RÊFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; PINTO, N.A.V.D.; RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, R.C.; NEIVA, I.P.; AZEVEDO, A.M.; ANDRADE, P.C.R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, n. 30, p. 584-589, 2012.

ANDRADE, R.R.; FARIAS, D.; MAUGERI, F. **Kinetic Modeling of Ethanol Production by Scheffersomyces stipitis from xylose**. **Appl. Biochem. Biotechnol.** 2014.

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

BAEYENS, J., KANG, Q., APPELS, L., DEWIL, R., LV, Y., TAN, T. Challenges and opportunities in improving the production of bioethanol. **Prog. Energ. Combust. Sci.**, n.47, p. 60–88, 2015.

BARRERA, P. **Batata-doce**: uma das doze mais importantes culturas do mundo. São Paulo: Ícone, 1986.

BERTON, R. P. **Análise teórica comparativa de eficiência energética de sistemas integrados para pirólise rápida de biomassa**. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2012

BETIKU, E.; AKINDOLANI, O. O.; ISMAILA, A. R. Enzymatic hydrolysis optimization of sweet potato (*Ipomoea batatas*) peel using a statistical approach. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 03, p. 467476, 2013.

BIOEX ETANOL. Disponível em: <<http://www.bioexetanol.com/br/slides.html>>. Acesso em: 17 ago. 2010.

BOMTEMPO, J.V. O futuro dos biocombustíveis II: Por que a indústria de biocombustíveis do futuro será diferente da que conhecemos hoje? **Blog Infopetro** 2011.

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.; ALMEIDA E SILVA, J.B.; 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.

CASTRO, I. P. M. **Uso do soro de queijo na potencialização da produção convencional de etanol a partir de duas cultivares industriais de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins, 2009.

CAVALAGLIO, G.; GELOSIA, M.; INGLES, D.; POMPILI, E.; D'ANTONIO, S.; COTANA, F. Response surface methodology for the optimization of cellulosic ethanol production from *Phragmites australis* through pre-saccharification and simultaneous saccharification and fermentation. **Industrial Crops and Products**, n. 83, p. 431-437, 2016.

CINELLI, B.A. **Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial**. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CLARK, J.H., BUDARIN, V., DESWARTE, F.E.I., HARDY, J.J.E., KERTON, F.M., HUNT, A.J., LUQUE, R., MACQUARRIE, D.J., MILKOWSKI, K., RODRIGUEZ, A., SAMUEL, O., TAVENER, S.J., WHITE, R.J.; WILSON, A.J. Green chemistry and the biorefinery: a partnership for a sustainable future. **Green Chemistry**, v.8, n.10, p.853-860. 2006.

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.

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

DERMIBAS, A. Bioethanol from cellulosic materials are newable motor fuel from biomass. **Energy Sources**, v. 27, p. 327-333, 2005.

DOMINICES, K. M. C, **Desenvolvimento e otimização da produção de etanol de primeira e segunda geração a partir da batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam. (L))**. Campinas, SP. 2017.

DUSSAN, K. et al. Kinetics of levulinic acid and furfural production from *Miscanthus × giganteus*. **Bioresource Technology**, v. 149, p. 216-224, 2013.

DUVERNAY, W.H.; CHINNA, M.S.; YENCHO, G.C. Hydrolysis and fermentation of sweet potatoes for production of fermentable sugars and ethanol. **Industrial Crops and Products**, n. 42, p. 527537, 2013.

FERRARI, M. D.; GUIGOU, M.; LAREO, C. Energy consumption evaluation of fuel bioethanol production from sweet potato. **Bioresource Technology**, n. 136, p. 377-384, 2013.

FERREIRA, A. D. **Utilização da levedura *Pichia stipitis* UFMG-IMH 43.2 para obtenção de etanol em hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-deaçúcar**. 2010. 119 f.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

FERREIRA, A. D. **Processo eficiente de produção de etanol 2G a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar: otimização condições de cultivo e operacionais** 2016.

FERREIRA, S.; DUARTE, A. P.; RIBEIRO, M. H. L.; QUEIROZ, J. A.; DOMINGUES, F. C.. Response surface optimization of enzymatic hydrolysis of *Cistus ladanifer* and *Cytisus striatus* for bioethanol production. **Biochemical Engineering Journal**, n. 45, p. 192-200, 2009

FILHO, A. T et al., **Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo de pirólise**. Eng. Sanit. Ambient, v. 19, n. 2, p. 187-194, 2014.

FUJITA, T.; NAKAO, E.; TAKEUCHI, M.; TANIMURA, A.; ANDO, A.; KISHINO, S.; KIKUKAWA, H.; SWHIMA, J.; OGAWA, J.; SHIMIZU, S. Characterization of starch-accumulating duckweeds, *Wolffia globosa*, as renewable carbon source for bioethanol production. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, n. 6, p. 123-127, 2016.

GONÇALVES NETO, A. C. et al. **Correlação entre caracteres e estimação de parâmetros populacionais para batata-doce**. p. 713-719, 2012.

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

GURGEL, L. V. A. **Hidrólise ácida de bagaço da cana-de-açúcar: estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol**. 2010. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, Pós-Graduação em Ciências. São Carlos-SP.

GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. *Química Nova*, v. 32, p. 1500-1503, 2009.

HOLM-NIELSEN, J.B.; MADSEN, M.; POPIEL, P.O. **World Bioenergy 2006 Conference on Biomass for Energy**. Jönköping, Sweden. 2006.

LAREO, C.; FERRARI, M. D.; GUIGOU, M.; FAJARDO, L.; LARNAUDIE, V.; RAMÍREZ, M. B.; MARTÍNEZGARREIRO, J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. **Springer**, v. 2, n. 493, p. 111, 2013.

LE MOS, E. G. M et al. **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. Coleção PROPE Digital (UNESP), 2012.

LI, P.; CAI, D.; LUO, Z.; QIN, P.; CHEN, C.; WANG, Y.; ZHANG, C.; WHANG, Z.; TAN, T.. Effect of acid pretreatment on different parts of corn stalk for second generation ethanol production. **Bioresource Technology**, n. 206, p. 86-92, 2016.

LICARI, A.; MONLAU, F.; SOHLY, A.; BUCHE, P.; BARAKAT, A. Comparison of various milling modes combined to the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass for bioenergy production: Glucose yield and energy efficiency. **Energy**, n.102, p. 335-342, 2016.

LYND, R.L.; VAN ZYL, W.H.; McBRIDE, J.E.; LASER, M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. **Current Opinion in Biotechnology**, v.16, p.577-583, 2005.

MA, L.J.; CUI, Y.Z.; CAI, R.; LIU, X.Q.; ZHANG, C.Y.; XIAO, D.G.. Optimization and evaluation of alkaline potassium permanganate pretreatment of corn cob. **Bioresource Technology**, n. 180, p. 1–6, 2015.

MAITY, J.P., BUNDSCHUH, J., CHEN, C.-Y., BHATTACHARYA, P. Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and waste water treatment: Present and future perspectives – A mini review. **Energy**, n. 78, p. 104–113, 2014.

MALUF, W. R. **A batata-doce e seu o potencial na alimentação humana, na alimentação animal, e na produção de etanol biocombustível**, 2014. (Nota técnica).

MARTÍN, C.; KLINKE, H. B.; THOMSEM, A. B. Wet oxidation as a pretreatment method for enhancing the enzymatic convertibility of sugarcane bagasse. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, p. 426-432, 2007.

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.

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.

MIRANDA, J.E.C. (Coord). **A cultura da batata-doce**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças. EmbrapaSP. Brasília, 1995.

MONTEIRO, A.B. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, n. 2, p. 978981, 2007.

PALMQVIST, E.; HAHN-HÄGERDAL, B. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 17-24, 2000.

PAULA, M. P. **Hidrólise ácida de polpa de sisal: características do processo heterogêneo e estudos das reações correlatas**. São Carlos-SP, 2009.

PUPPAN, D. Environmental evaluation of biofuels. **Periodica Polytechnica Ser. Soc. Man. Sci.**, v. 10, p. 95-116, 2002.

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

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

RONG, C.; DING, X.; ZHU, Y.; LI, Y.; WANG, L.; QU, Y.; MA, Y.; WANG, Z. Production of furfural from xylose at atmospheric pressure by dilute sulfuric acid and inorganic salts. **Carbohydrate Research**, v. 350, n. 1 p. 77-80, 2012.

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., InTech, 2013. SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. A cultura da batatadoce. In: CEREDA, M. P. (org.). **Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargil, 2002. cap. 22, p. 448 – 457.

SLUITER, A.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. **Determination of Extractives in Biomass**, Laboratory Analytical Procedure, NREL, Report n° TP-510-42619, 1-12, 2008b.

VARGAS, G.; DOMÍNGUEZ, E.; VILA, C.; RODRÍGUEZ, A.; GARROTE, G.. Agricultural residue valorization using a hydrothermal process for second generation bioethanol and oligosaccharides production. **Bioresource Technology**, n. 191, p. 263–270, 2015.

VIEIRA, G. E. G.; ALEXANDRE, G. P. Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 23, p. 01-104, 2014.

SOBRE OS AUTORES

ROZE ANNE FERREIRA LIMA



Formada em Ciências e Tecnologia de Alimentos (2020), pelo Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins – IFTO, *Campus* Paraíso do Tocantins – TO. Possui experiência nas áreas de Biotecnologia, Controle de Qualidade e Análises de Alimentos.

SOBRE OS AUTORES

LORRANE RIBEIRO DE SOUZA



Formada em Ciências e Tecnologia de Alimentos (2020), pelo Instituto Federal de Educação ciências e tecnologia do Tocantins -IFTO- Campus Paraíso do Tocantins. Possui experiência na área de Tecnologia e ciências de alimentos e processamento de produtos carneos. Atualmente está cursando Engenharia agrônômica no Instituto Federal de Educação ciências e tecnologia - IFTO- Campus Palmas.

SOBRE OS AUTORES

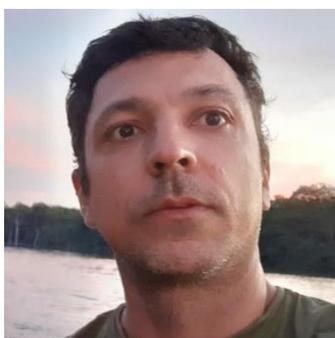
OTAVIO CABRAL NETO



Formado em Zootecnia (2003) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), possui Mestrado (2005) em Zootecnia, Doutorado (2011) em Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFRRJ) e Estágio Pós-Doutoral pelo PPGCTA/DTA/EMBRAPA Agroindústria de Alimentos. Tem experiência nas áreas de Zootecnia e Ciência e Tecnologia de Alimentos. Atualmente atua como Professor EBTT no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO - Campus Palmas.

SOBRE OS AUTORES

ALYSSON SOARES DA ROCHA



Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2004), mestrado em Ciência Animal Tropical pela Universidade Federal do Tocantins (2009) e doutorado em Ciências Animais pela Universidade de Brasília (2018). Atualmente é professor piscicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Tem experiência na área de Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, com ênfase em Aqüicultura, atuando principalmente nos seguintes temas: agronegócio, biomarcador, alternativas alimentares para peixes.

SOBRE OS AUTORES

ANTÔNIO CARLOS SILVEIRA GONÇALVES



Professor EBTT no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, na área de Recursos Naturais (Produção Animal). Pós-Doutor em Piscicultura Continental (UFLA/2015). Doutor em Nutrição e Produção de Não Ruminantes/Reprodução de Peixes (UFLA/2013). Mestre em Produção Animal (UFLA/2009). Graduado em Ciências Biológicas (Unincor/2014). Graduado em Zootecnia, recebendo mérito acadêmico (UFLA/2008).

SOBRE OS AUTORES

CLAUBER ROSANOVA



Graduado em Zootecnia pela UNESP - Jaboticabal, pós graduado em Gestão Agroindustrial pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), possui MBA Executivo em Gestão Empresarial Estratégica (EDUCON/NAIPPE), mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) e Doutorado pelo programa de pós graduação em Ciências do Ambiente - PPG/CIAMB da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em produção de pequenos ruminantes, comportamento animal e forragicultura, atuando principalmente nos seguintes temas: pecuária de corte e leite, ovinocaprinocultura, etologia, bioclimatologia, arranjo produtivo local, desenvolvimento sustentável e análise e elaboração de projetos.

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
[@epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)
[facebook.com.br/epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)

Roze Anne Ferreira Lima
Lorrane Ribeiro de Souza
Otavio Cabral Neto
Alysson Soares da Rocha
Antônio Carlos Silveira Gonçalves
Clauber Rosanova

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
NO PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO DAS RAMAS DA
BATATA-DOCE PARA OBTENÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**



2021

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
[@epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)
[facebook.com.br/epublicar](https://www.facebook.com/epublicar)

Roze Anne Ferreira Lima
Lorrane Ribeiro de Souza
Otavio Cabral Neto
Alysson Soares da Rocha
Antônio Carlos Silveira Gonçalves
Clauber Rosanova

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
NO PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO DAS RAMAS DA
BATATA-DOCE PARA OBTENÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**



2021