

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NAIR TAVARES DE MENEZES

**PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DE MANDIOCA**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

NAIR TAVARES DE MENEZES

**PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DE MANDIOCA**

Production of polymer composites from cassava processing waste

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a. Maria Helene Giovanetti Canteri

Coorientador(a): Prof.^a Dr.^a. Irede Angela Lucini Dalmolin

FRANCISCO BELTRÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

NAIR TAVARES DE MENEZES

**PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DE MANDIOCA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 06/dezembro/2021

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Irede Angela Lucini Dalmolin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thalita Grando Rauen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família por todo amor, confiança e inspiração. À minha mãe Maria Lúcia Tavares de Menezes e meu pai José Antônio de Menezes que fizeram o sonho da graduação se tornar realidade. Minha gratidão à minhas irmãs Regina Tavares de Menezes dos Santos e Larissa Tavares de Menezes por todo apoio ao longo dessa jornada.

Agradeço à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Helene Giovanetti Canteri, por todo apoio no desenvolvimento do trabalho, pelos ensinamentos e por toda amizade e carinho. Minha gratidão à coorientadora Prof.^a Dr.^a Irede Angela Lucini Dalmolin por todo auxílio e confiança prestados nesse projeto.

Quero agradecer a todos os professores da UTFPR de Francisco Beltrão que fizeram parte da realização da minha graduação e que contribuíram para o meu conhecimento.

RESUMO

A fabricação de fécula de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) gera resíduos em excesso, tais como o bagaço e a manipueira. O bagaço de mandioca configura um resíduo fibroso úmido com quantidade significativa de amido não extraído durante o processo. A tonelada da mandioca processada em uma fecularia média no Brasil produz aproximadamente 930 kg de bagaço. A crescente preocupação com o meio ambiente e desenvolvimento sustentável tem focado na procura de novos materiais biodegradáveis a partir do uso de resíduos agroindustriais. O objetivo do presente estudo propõe a ressignificação do bagaço com foco no desenvolvimento dos compósitos. Executou-se a caracterização do resíduo úmido oriundo de uma fecularia, com capacidade de produção de 250 toneladas de mandioca por dia, analisando-se os teores de umidade, cinzas, amido, celulose e fibra insolúvel. Um fator considerável da pesquisa está relacionado às condições climáticas do plantio da mandioca e a interferência na caracterização do bagaço. Após uma sucessão de testes apresentou-se a metodologia aplicada em quatro compósitos com diferentes proporções de bagaço, glicerol e emulsificante e sua avaliação quanto à coloração, propriedades mecânicas e biodegradabilidade. Os ensaios mecânicos demonstraram que o compósito 3 apresentou tensão de ruptura maior em 125,33 kPa; por outro lado, o compósito 2, maior alongamento com 3,46%, sendo ambos desenvolvidos em diferentes proporções com o bagaço seco peneirado. As diferenças nas metodologias de obtenção e nos resultados nas caracterizações dos compósitos contribuem para futuros estudos com uso do bagaço de mandioca.

Palavras-chave: resíduos; bagaço de mandioca; compósitos; biodegradável.

ABSTRACT

The manufacture of cassava starch (*Manihot esculenta Crantz*) generates excess waste, such as bagasse and manipueira. Cassava bagasse is a moist fibrous waste with a significant amount of starch not extracted during the process. A ton of cassava processed in an average starch factory in Brazil produces approximately 930 kg of bagasse. The growing concern with the environment and sustainable development has focused on the search for new biodegradable materials from the use of agro-industrial wastes. The aim of this study proposes the redefinition of bagasse with a focus on the development of composites. The characterization of the wet residue from a starch factory, with a production capacity of 250 tons of cassava per day, was carried out, analyzing the levels of moisture, ash, starch, cellulose and insoluble fiber. A considerable factor in this research is related to the climatic conditions of cassava planting and the interference in the characterization of bagasse. After a succession of tests, the methodology applied in four composites with different proportions of bagasse, glycerol and emulsifier was presented with evaluation of each composite for color, mechanical properties and biodegradability. The mechanical tests showed that composite 3 has higher tensile strength at 125.33 kPa; on the other hand, composite 2 has greater elongation with 3.46%, both being developed in different proportions with sieved dry bagasse. Differences in obtaining methodologies and in the results of composite characterizations contribute to future studies using cassava bagasse.

Keywords: wastes; cassava bagasse; composites; biodegradable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama para a produção de fécula de mandioca	14
Figura 2 - Balanço de massa na fabricação de fécula de mandioca	15
Figura 3 - Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b)	17
Figura 4 - Metodologia do compósito de bagaço-papel Kraft	20
Figura 5 - Coleta do bagaço de mandioca	22
Figura 6 - Centrifugação e secagem do bagaço de mandioca	23
Figura 7 - Etapas do procedimento de formação dos compósitos.....	29
Figura 8 - Avaliação das propriedades mecânicas.....	31
Figura 9 - Compósitos de bagaço de mandioca	34
Figura 10 – Gráfico da perda de massa (%) dos compósitos em função do tempo ..	37
Quadro 1 - Ensaio para obtenção dos compósitos.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização da matéria-prima.....	32
Tabela 2 - Análise colorimétrica do bagaço de mandioca	35
Tabela 3 - Propriedades mecânicas dos compósitos	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	Sólido insolúvel em etanol
AMG	Amiloglucosidase
CMP	Compósito
DQO	Demanda química de oxigênio
GLs	Peneiras extratoras de alta rotação
GOD	Glicose oxidase
LDP	Polietileno de baixa densidade
Tg	Temperatura de transição vítrea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO GERAL	11
2.1	Objetivos específicos	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	Panorama das produções da mandioca e da fécula	12
3.2	Funcionamento da indústria da fécula	13
3.3	Amido e processo de gelatinização	16
3.4	Compósitos poliméricos à base de resíduos de amido	18
3.5	Plastificante	20
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
4.1	Matéria-prima	22
4.2	Caracterização química do resíduo	23
4.2.1	Umidade	23
4.2.2	Cinzas	24
4.2.3	Amido	24
4.2.4	Celulose	25
4.2.5	Fibra insolúvel	26
4.3	Desenvolvimento dos compósitos	27
4.4	Análise dos compósitos	29
4.4.1	Determinação de cor	29
4.4.2	Espessura	29
4.4.3	Propriedades mecânicas	30
4.4.4	Biodegradabilidade.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	Caracterização da matéria-prima	32
5.2	Perfil dos compósitos	33
5.2.1	Formação dos compósitos	33
5.2.2	Coloração	35
5.2.3	Ensaio mecânicos.....	36
5.2.4	Biodegradabilidade.....	36
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais são empregadas fontes alternativas de obtenção de bioplásticos em detrimento do uso de plásticos convencionais. Principalmente devido às consequências evidenciadas ao longo dos anos, como a vida útil de pouca duração, a mudança gerada nos ecossistemas, biodiversidade e, sobretudo, a baixa degradabilidade do material no meio ambiente, que pode levar cerca de 100 a 400 anos (SANTOS *et al.*, 2012).

Dentre algumas das soluções implantadas para diminuir o volume de resíduos sólidos derivados de polímeros sintéticos estão a incineração com reaproveitamento da energia gerada e a reciclagem (DEBIAGI *et al.*, 2013). Contudo, a reciclagem sofre certa restrição devida, principalmente, à variedade de resinas encontradas nas embalagens sintéticas (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

O impacto do plástico no ecossistema tem impulsionado muitas pesquisas acerca de matérias-primas provenientes de recursos renováveis, como o caso do plástico biodegradável (DEBIAGI *et al.*, 2013). Para isso alguns resíduos agroindustriais oriundos de fontes amiláceas são uma alternativa para a criação de materiais poliméricos.

Dentre a diversidade de culturas agrícolas, a mandioca é diferenciada pela quantidade plantada e a facilidade de cultivo. Anualmente, estima-se a safra mundial de 170 milhões de toneladas de mandioca, com grande parte geralmente destinada à fabricação de fécula (OTSUBO; LORENZI, 2004). Diversos resíduos são gerados no processamento, como por exemplo, o farelo, a manipueira e a fécula residual perdida no depósito da fábrica. Grande parte dos subprodutos da mandioca é constituída por uma elevada carga orgânica cianogênica, que pode causar diversos problemas de ordem ambiental (CASTIGLIONI *et al.*, 2013).

Por serem compostos altamente energéticos e de baixo custo, os resíduos podem ser reaproveitados para o desenvolvimento de polímeros. Diante disso, a seguinte pesquisa tem como finalidade de avaliar a utilização do bagaço de mandioca como matéria-prima para a produção de compósitos poliméricos biodegradáveis e oferecer uma metodologia de baixo custo para a obtenção do material.

2 OBJETIVO GERAL

Determinar a viabilidade técnica de obtenção de compósitos biodegradáveis com a utilização do resíduo do processamento da mandioca.

2.1 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização química do farelo da mandioca quanto aos teores de umidade, cinzas, amido, celulose e fibra;
- Testar diferentes proporções dos ingredientes (farelo, glicerol e emulsificante) para o desenvolvimento de compósitos de bagaço de mandioca;
- Avaliar o compósito produzido quanto aos parâmetros de biodegradabilidade, propriedades físico-químicas e mecânicas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Panorama das produções da mandioca e da fécula

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), também denominada aipim ou macaxeira, é uma planta da família *Euphorbiaceae* com possível origem na América do Sul, especificamente no Brasil, sendo os indígenas os primeiros povos que disseminaram a cultura no continente anterior a vinda dos europeus. Com a descoberta do Brasil e as viagens realizadas pelos portugueses e espanhóis ocorreu o crescimento da cultura no mundo, principalmente na África e Ásia (OTSUBO; LORENZI, 2004).

Diversas razões favorecem a produção da mandioca como a facilidade de cultivo; sem a necessidade de técnicas agrícolas avançadas, a tolerância à pragas, a rápida reprodução e regeneração das plantas, a diversidade genética e principalmente sua capacidade de adaptação às condições climáticas em solos inférteis e em períodos de seca (MATSUURA; FOLEGATTI; SARMENTO, 2003). Caracteriza-se como uma das poucas culturas que suporta dentre quatro a seis meses com estiagem em que os índices pluviométricos chegam apenas a cerca de 800 mm (ANDRÉ; SANTOS, 2012).

A possibilidade do uso de técnicas rústicas no plantio faz com que haja diminuição do custo de produção e garante a disseminação da cultura pelos pequenos e médios produtores. Com isso, a mandioca se tornou um dos alimentos mais importantes para países em desenvolvimento, pois com poucos insumos ainda podem ser obtidos elevados rendimentos na plantação, contribuindo para o desenvolvimento econômico, e garantindo a segurança alimentar contra a fome e a pobreza rural (FAO, 2013).

A finalidade agroindustrial de cada tipo de mandioca depende do teor de ácido cianídrico (HCN). As mansas são utilizadas na culinária por possuírem um índice de até 50 mg de HCN por quilo de raiz fresca, enquanto que a mandioca brava possui uma concentração de mais de 100 mg por quilo de raiz fresca, sendo considerada tóxica e usada apenas pela indústria por ter grande quantidade de amido (ANDRÉ; SANTOS, 2012).

No consumo nacional, as raízes da mandioca são uma fonte rica em amido e de grande interesse para a alimentação *in natura* e fabricação de farinhas, féculas, tapiocas, entre outros (MATSUURA; FOLEGATTI; SARMENTO, 2003).

Dentre os derivados da mandioca, a produção de fécula tem se destacado mais nos últimos anos. No Brasil, em 2018, foram produzidas cerca de 536,6 mil toneladas do produto com aumento de 27% em relação ao ano de 2017. Ao analisar o setor, uma jornada de trabalho anual de 280 dias com mesma capacidade instalada, produziria mais 1,5 milhão de toneladas. Para que seja alcançada essa meta seriam necessárias a diminuição das sazonalidades de venda e da produção e o foco nas exportações (FELIPE, 2019).

3.2 Funcionamento da indústria da fécula

O processamento de mandioca para obtenção da fécula caracteriza-se por algumas operações básicas como a lavagem das raízes, descascamento, ralação para desintegração das células, separação do material solúvel e a secagem (LEONEL; CEREDA, 2000).

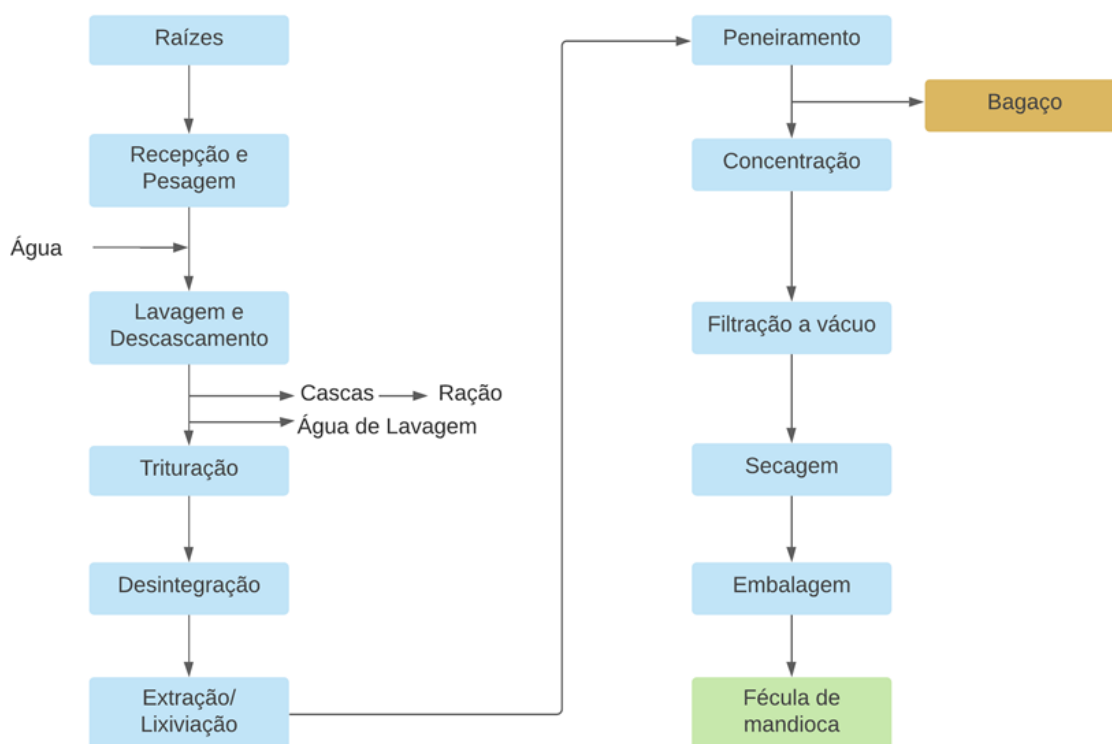
No início, com o descarregamento das raízes ocorre a etapa de pesagem, seguida da lavagem e do descascamento. O lavador ou descascador é alimentado de forma contínua através de esteiras ou outros condutores. Mesmo com o descascamento, a entrecasca é conservada, uma vez que contém uma boa parcela de amido (MATSUURA; FOLEGATTI; SARMENTO, 2003).

A próxima operação é a trituração, gerando tiras com tamanhos entre 2 e 3 cm, a fim de que haja a desintegração das células e aumento da liberação de amido. Nessa etapa, as raízes passam por um cilindro giratório de lâminas dentadas que ralam a mandioca com adição de água (PINTO, 2008). Posteriormente, a extração do amido é realizada pelas peneiras extratoras de alta rotação (GLs). Conforme atravessa os extratores cada vez mais finos, uma matéria fibrosa fica retida, sendo essa denominada de farelo ou bagaço de mandioca. O material, que passa pelo peneiramento, denominado “leite de fécula”, segue adiante no processo (LEONEL; CEREDA, 2000).

Para remover a água e compostos solúveis do “leite de fécula”, é necessária a etapa de refinação. O material é encaminhado para as separadoras ou concentradoras centrífugas de pratos, que giram em 1000 rpm. Desse modo, o concentrado passa por filtros rotativos a vácuo, até 45% de diminuição da umidade (MATSUURA; FOLEGATTI; SARMENTO, 2003).

A operação final consiste na secagem, em que a fécula vai para a válvula rotativa que dosifica a massa e depois para o secador pneumático do tipo *flash dryer*. Com os ciclones, ocorre a separação do ar e do amido e, logo em seguida se obtém o produto final com temperatura de 58 °C e aproximadamente 13% de umidade. O pó é conduzido para um silo para estoque até embalagem e distribuição para consumo (PINTO, 2008). Conforme a Figura 1, durante o processamento do amido de mandioca são gerados vários resíduos.

Figura 1 - Diagrama para a produção de fécula de mandioca



Fonte: Adaptado de Larotonda (2002)

As cascas, o bagaço e os descartes são exemplos de resíduos sólidos, geralmente destinados para alimentação de animais (CASTIGLIONI *et al.*, 2013). A própria fécula residual gerada no processamento, que por ser proveniente do piso de

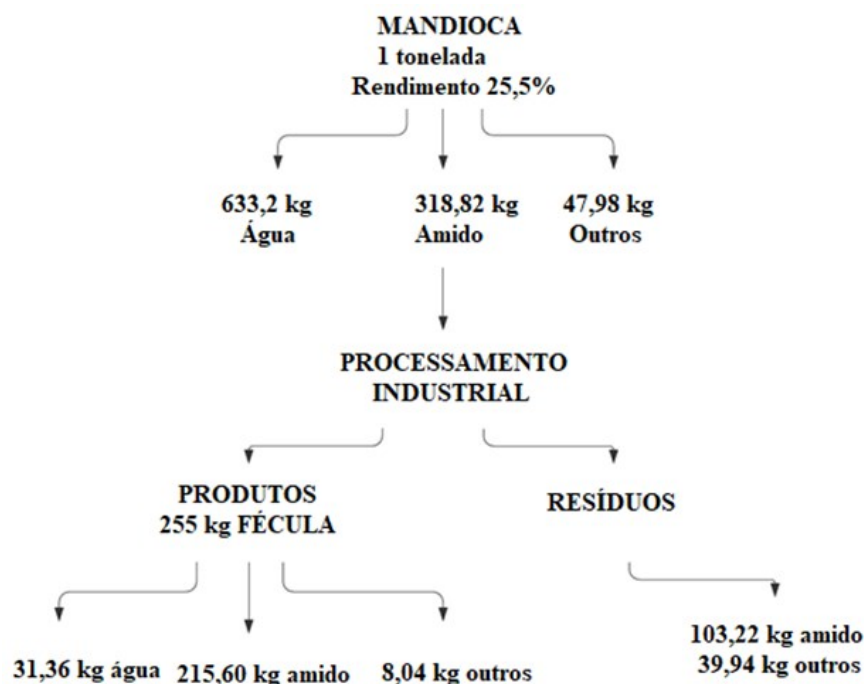
fábrica, ou também por estar inapropriada para consumo humano, pode ser considerada como um resíduo sólido (ANDRÉ; SANTOS, 2012).

Quanto aos resíduos líquidos do processo, obtém-se a água de lavagem das raízes e a manipueira (CASTIGLIONI *et al.*, 2013). A manipueira é um resíduo altamente tóxico, uma vez que contém o glicosídeo cianogênico. No caso da fabricação de farinha de mandioca, a etapa de prensagem da massa ralada gera esse resíduo líquido; já, na fabricação de fécula, a manipueira é formada na etapa de extração e purificação (CAMPOS *et al.*, 2006).

Por apresentar caráter poluente, a manipueira deve passar por um processo de tratamento, podendo ser físico, químico ou biológico. Os processos físicos são os métodos mais simples e econômicos definidos por gradeamento, floculação, flotação, centrifugação e filtração. Também pode ser empregado o método químico com reações de precipitação, coagulação, adsorção, entre outros (PINTO, 2008).

O rendimento do processamento está diretamente relacionado à quantidade de resíduos gerados, uma vez que se houverem excedentes a eficiência do processo precisa ser revisada, conforme pode se observar no balanço de massa realizado em uma típica fecularia brasileira (Figura 2).

Figura 2 - Balanço de massa na fabricação de fécula de mandioca



Fonte: Adaptado de Lebourg (1996, apud LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998)

De acordo com Lebourg (1996, apud LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998), em uma fecularia que processa cerca de 200 toneladas de raízes/dia, o rendimento é em torno de 25,5%. Logo, são produzidos 254,7 kg de fécula com aproximadamente 10% de umidade, e 928,6 kg de farelo com umidade de 85%, para cada tonelada de raiz processada. Dessa maneira, por volta de um terço de amido da raiz é perdido com o bagaço.

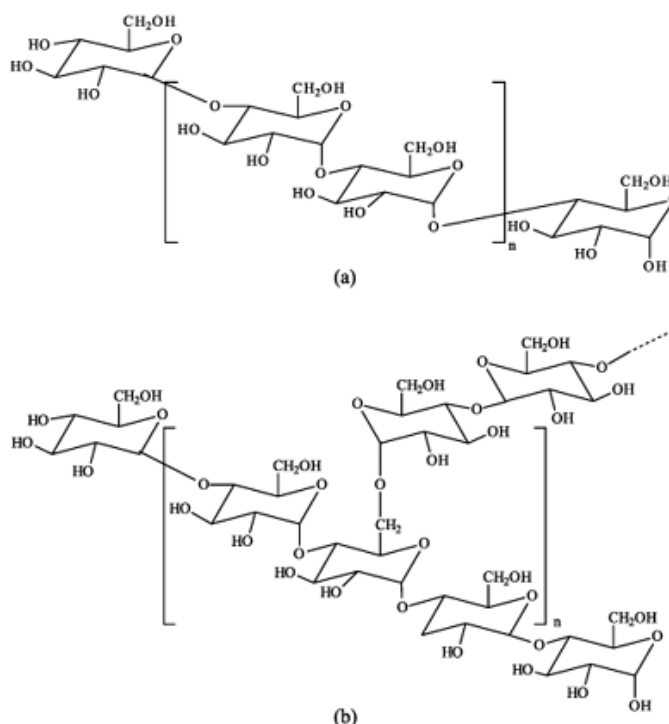
A manipueira também constitui um dos resíduos mais gerados pelas fecularias. Segundo Cereda e Mattos (1996), são formados em torno de 600 litros de manipueira diluída com menos de 5% de matéria seca, 5.000 DQO (demanda química de oxigênio) e 60 ppm de CN^- , para cada tonelada de raiz processada. A manipueira é um efluente problemático, pois possui altas concentrações de glicosídeos cianogênicos, a linamarina e a lotaustralina, que hidrolisam na presença de ácidos e enzimas que produzem CN^- e, conseqüentemente, ácido cianídrico (HCN) (CEREDA; MATTOS, 1996).

O desempenho das fecularias chega ao valor de 30%, devido principalmente ao volume excessivo de resíduos que constituem um problema de ordem ambiental (ANDRÉ; SANTOS, 2012). Alguns fatores são discutidos para o aumento do rendimento de fécula levando em consideração os custos dessa otimização. Um exemplo de melhoria no rendimento seria na etapa de moagem, com o uso de serras de 20 dentes por polegadas, telas de retenção com perfurações de 1 mm de diâmetro, e redução da velocidade de rotação no tambor que poderia diminuir o volume de farelo (LEONEL; CEREDA, 2000).

3.3 Amido e processo de gelatinização

O amido é uma das principais reservas de carboidratos presentes em células vegetais, sendo formado por duas estruturas: amilopectina e amilose. A amilopectina é estruturada por unidades de glicose compostas por uma cadeia linear de ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4), unidas por ligações ramificadas α (1 \rightarrow 6). A amilose é composta por unidades de glicose conectadas por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4), formando a cadeia linear (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). A Figura 3 apresenta as estruturações da amilose (a) e amilopectina (b).

Figura 3 - Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b)



Fonte: Corradini *et al.* (2005)

O amido possui caráter parcialmente cristalino, em consequência da estruturação da amilopectina, devido à organização estrutural linear helicoidal dupla estabilizada pelas ligações de hidrogênio entre grupamentos de hidroxila. Em contrapartida, a amilose é caracterizada por ser a região amorfa e menos organizada. Por apresentar características diferentes quanto à estruturação, os grânulos de amido possuem birrefringência ao serem analisados em um microscópio ótico sob luz polarizada (LAROTONDA, 2002).

A viabilidade de obtenção de polímeros biodegradáveis a partir de amido tem surgido, principalmente, pela presença da amilose. Para formação de polímeros, é necessário destruir a estrutura granular do amido para obter uma matriz polimérica, homogênea e amorfa. Para alcançar esse perfil é necessária a realização da etapa de gelatinização (DEBIAGI *et al.*, 2013).

Os grãos de amido são insolúveis na água fria, por conta da interação das pontes de hidrogênio que mantêm as cadeias unidas (CORRADINI, 2004). Ao realizar o aquecimento do amido granular com água, ocorre o fenômeno de gelatinização, que consiste no processo de transformação do amido em um material termoplástico. A gelatinização causa a perda da cristalinidade e promove a

solubilização do material. Ao aquecer a suspensão aquosa amilácea ocorre o rompimento das ligações de hidrogênio e as moléculas de água se ligam aos grupos de hidroxilas da molécula de amido. Enquanto isso, as duplas hélices da amilopectina são dissociadas, conseqüentemente causando a dissolução dos cristais (DEBIAGI *et al.*, 2013).

A primeira etapa da gelatinização consiste no aquecimento entre 60 a 70 °C, quando o grânulo sofre inchaço, o que conseqüentemente causa a perda da birrefringência. Após essa etapa, a temperatura alcança aproximadamente 90 °C, o que ocasiona mudanças irreversíveis de suas propriedades (CORRADINI, 2004).

3.4 Compósitos poliméricos à base de resíduos de amido

Os materiais poliméricos biodegradáveis são aqueles que sofrem a ação de microrganismos responsáveis pela quebra da cadeia polimérica. O motivo para a facilidade de degradação se deve principalmente as funções orgânicas de suas cadeias alifáticas, como por exemplo, as carbonilas, hidroxilas, ésteres e hidroxíácidos mais suscetíveis à ação enzimática. Entretanto, o desempenho na degradação é diferente para cada material dependendo das circunstâncias do meio como a temperatura, pH, umidade e luz; além das propriedades de cada polímero, como a massa molar, cristalinidade, entre outros (DEBIAGI *et al.*, 2013).

Os biofilmes são um dos maiores exemplos de aplicabilidade dos polímeros biodegradáveis. Basicamente, são definidos por materiais flexíveis e finos obtidos a partir de polissacarídeos ou de proteínas, utilizados, principalmente, para a criação de embalagens alimentícias (LAROTONDA, 2002).

Um dos polissacarídeos mais empregados na formação de biofilmes é o amido. A alta disponibilidade atrelada ao baixo custo tem beneficiado o biopolímero termoplástico (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Entretanto, existem certas limitações quanto ao uso do amido, como por exemplo, com relação à ação da umidade do ar e a questão das fracas propriedades mecânicas (PLOTEGHER; RIBEIRO, 2013).

Como forma de solucionar a problemática da resistência mecânica, o biopolímero é aplicável como um compósito, ou seja, um material constituído de duas ou mais fases de origens diferentes, coexistindo em escala pelo menos

micrométrica, com interfaces bem determinadas. Para aplicabilidade é necessária à seleção adequada de cargas para a alteração do comportamento mecânico do polímero (PLOTTEGHER; RIBEIRO, 2013).

Diversos estudos sugerem o emprego de fibras vegetais como material de reforço para os polímeros. O conceito é reaproveitar as fibras de resíduos agroindustriais por apresentarem baixo custo e serem biodegradáveis. Um exemplo de resíduo é o uso do bagaço de mandioca, um dos maiores descartes de fecularias. Além da alta concentração de fibras, o bagaço tem grande quantidade de amido, incapaz de ser extraído durante o processamento. Com isso, além de reforço pode desempenhar o papel de matriz polimérica, recebendo o tratamento de outros aditivos (DEBIAGI *et al.*, 2013).

Existem pesquisas na literatura que empregaram o bagaço de mandioca como matéria-prima para a criação de compósitos. Farias *et al.* (2014) coletaram amostras do resíduo de duas fecularias nos estados do Paraná e São Paulo, com a caracterização físico-química, térmica e microscópica e produção de compósitos em extrusora monorosca a partir de duas amostras de bagaço em diferentes quantidades (10, 20 e 30%) em uma matriz de polietileno de baixa densidade (LDP). O compósito com 70% de LDP e 30% de bagaço resultou em um aumento no módulo de elasticidade.

Matsui (2002) desenvolveu um estudo sobre compósitos à base de bagaço de mandioca com adição de papel Kraft com aplicação na produção de bandejas para acondicionamento de alimentos, como frutas e legumes. Na pesquisa foram aplicadas diversas metodologias com composições diferentes para cada elemento, permitindo assim encontrar o melhor método de preparação.

Na Figura 4, encontra-se uma das técnicas utilizadas similar à produção de papel reciclado artesanal, em que se utilizaram quadros de náilon com 30 x 40 cm mergulhados na mistura contendo bagaço de mandioca com adição de 10% de papel Kraft. No período de 2 horas, cada quadro foi encaminhado para a secagem em uma estufa de circulação de ar na temperatura de 100 °C (MATSUI, 2002).

Figura 4 - Metodologia do compósito de bagaço-papel Kraft



Fonte: Matsui (2002)

3.5 Plastificante

Para melhorar o desempenho nos ensaios mecânicos, como no caso os compósitos a base de amido, são empregados os agentes plastificantes, caracterizados por moléculas com baixa volatilidade e com propriedades similares aos polímeros. Os plastificantes mais aproveitados são os oligossacarídeos, polióis, lipídeos e derivados. Um exemplo seria o glicerol, composto por uma molécula hidrofílica, com três grupos hidroxilas, que se relacionam facilmente com as cadeias de amido. Outro polioliol recomendado é o sorbitol formado por seis grupos de hidroxilas (ALMEIDA, 2010).

Com uso do plastificante é possível reduzir as forças intermoleculares e diminuir as discontinuidades e rachaduras do material, permitindo o ganho de mobilidade para as cadeias de polímeros e resultando em baixas temperaturas de transição vítrea (T_g), conseqüentemente, alterando as propriedades mecânicas. A transição vítrea representa por sua vez a transição de fase que ocorre em um material amorfo que é sujeito a uma determinada temperatura. Quando T_g é baixa, o material está em estado vítreo, ou seja, com mobilidade molecular reduzida, gera-se um material mais rígido. Com a T_g alta, o material encontra-se em estado borrachudo, proporcionando maior mobilidade molecular gerando assim maior flexibilidade (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

O plastificante, como água ou glicerol, é aplicado no processo de obtenção do amido termoplástico durante o aquecimento em 90 a 180 °C, para que haja a ruptura da estrutura cristalina dos grãos. Por meio da força de cisalhamento, resulta-

se em um material amorfo: o amido termoplástico. Para a plastificação pode utilizar-se os equipamentos dos polímeros convencionais, tal como injetoras, cilindros, extrusoras, dentre outros (CORRADINI *et al.*, 2005).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Matéria-prima

Cerca de 3 kg de bagaço de mandioca foram fornecidos pela indústria Fino Alimentos LTDA situada na cidade de Toledo, oeste do estado do Paraná. Os resíduos estavam separados em dois lotes de aproximadamente 1,5 kg cada, conforme Figura 5, sendo encaminhados para o campus da UTFPR de Francisco Beltrão, em que logo em seguida, foram refrigerados.

Figura 5 - Coleta do bagaço de mandioca



Fonte: Autoria própria (2021)

Um lote de 1,5 kg de bagaço de mandioca úmido foi inserido em uma centrífuga (marca CONSUL), conforme a primeira imagem da Figura 6. A partir da centrifugação, foram obtidos 550 g de bagaço e 548,5 g de água. Durante o processo na centrífuga existe uma significativa perda de massa do bagaço. Após o processo, essa massa foi encaminhada para a secagem, conforme a segunda imagem da Figura 6, na estufa com circulação e renovação de ar (marca SOLAB, modelo SL 102) durante 24 horas na temperatura de 50 °C, antes da pesagem do material que resultou em 177,27 g.

Figura 6 - Centrifugação e secagem do bagaço de mandioca

Fonte: Autoria própria (2021)

4.2 Caracterização química do resíduo

4.2.1 Umidade

Primeiramente, analisou-se o teor de umidade do bagaço de acordo com a metodologia 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), em que a umidade corresponde ao valor perdido em massa, depois do material sofrer aquecimento. O procedimento ocorreu em triplicata e iniciou-se ao pesar cerca de 7 g da amostra em um cadinho de porcelana previamente tarado, ocorrendo à secagem na estufa com circulação e renovação de ar (marca SOLAB, modelo SL 102) a 105 °C por 1 hora. Após o resfriamento, as amostras foram novamente pesadas. O cálculo do teor de umidade corresponde à Equação 1:

$$\text{Umidade (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{Amostra seca}}{\text{Amostra úmida}} \right) \quad (1)$$

4.2.2 Cinzas

A obtenção do resultado da análise de cinzas ocorreu pelo método 018/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). A princípio foram aquecidos os cadinhos de porcelana a 150 °C no período de 1 hora e depois do resfriamento no dessecador foram previamente pesados na balança analítica. Posteriormente, pesou-se 7 g de amostra nos três cadinhos de porcelana. Logo em seguida ocorreu a calcinação em uma mufla a 550 °C, e depois a pesagem novamente. A operação foi em triplicata e o teor calculado através da Equação 2:

$$\text{Cinzas (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{Amostra cinza}}{\text{Amostra}} \right) \quad (2)$$

4.2.3 Amido

A análise do teor de amido foi realizada conforme Demiate, Konkel e Pedroso (2001), com adaptação do método. Cerca de 200 mg de amostra foi dissolvido em 3 mL de água deionizada. Posteriormente, colocou-se a amostra em tubos herméticos, sendo o pH corrigido para a faixa de 5,5 a 6,0 e acrescentados 40 ppm de Ca⁺⁺ (solução de cloreto de cálcio) e 10 µL da enzima Termamyl 120L® (Novozymes, Araucária, PR, Brasil). Durante 15 minutos, a suspensão permaneceu em banho-maria de ebulição. Em seguida, ocorreu o resfriamento à temperatura ambiente em que o pH foi ajustado para 4,5 e adicionou-se 20 µL da enzima AMG 300L® (Novozymes, Araucária, PR, Brasil). Para a hidrólise de amido os tubos herméticos permaneceram em banho-maria a 60 °C no período de 24 horas.

Sequencialmente, as amostras foram colocadas em béqueres e ajustou-se a massa para 10 g com água deionizada, sendo transferidas para frascos de erlenmeyer com 90 g de água deionizada em que as amostras foram submetidas à agitação por 4 horas a 45 °C. Em seguida, foram retiradas alíquotas de cada frasco e as amostras foram diluídas cinco vezes. Por meio do método colorimétrico da glicose oxidase (GOD), quantificou-se a glicose com base na construção de uma curva padrão da absorbância das alíquotas diluídas (2.500 vezes, em base úmida) e

dos teores de amido em base seca. Para confiabilidade dos resultados foram realizadas duas hidrólises de amido e glicose e quantificada em triplicata (DEMIATE, KONKEL, PEDROSO, 2001).

4.2.4 Celulose

A princípio preparou-se a amostra de bagaço de mandioca seco como um sólido insolúvel em etanol (AIS) (RENARD; GINIES, 2009). De início, lavou-se cerca de 5 g de amostra seca com etanol a 70%. As lavagens ocorrem até não restarem açúcares, a partir da filtração em cadinhos de Gooch e filtros de tecido sintético. Posteriormente, lavou-se duas vezes a amostra com acetona: água: ácido acético (v/v/v 60:39:1), em seguida duas vezes com acetona: solução aquosa (v/v 80:20), finalmente com acetona pura para descolorir o sobrenadante. No período de 4 horas o resíduo sólido foi seco a 40 °C.

A hidrólise de material insolúvel em água foi realizada pesando-se cerca de 8 e 12 mg de cada amostra em tubos tampados, nos quais se acrescentou 250 µL de ácido sulfúrico 72% (H₂SO₄), com agitação em vórtex. Durante uma hora, os tubos permaneceram em temperatura ambiente em torno de 20 °C com agitação a cada quinze minutos. Logo em seguida, acrescentou-se 1,7 mL de água destilada, com homogeneização. Cada tubo foi acondicionado em um bloco digestor a 100 °C, com agitação ocasional. Na finalização da hidrólise, resfriaram-se os tubos em água corrente sendo mantido em repouso para decantação do material insolúvel, o que corresponde à hidrólise de Saeman.

No processo de hidrólise simples aproximadamente 1 mL de água destilada foi acrescentada em 8 a 12 mg de cada amostra, em tubos com tampa. Realizou-se a agitação em vórtex, e adicionou-se 1 mL de ácido sulfúrico 2M, sendo homogeneizados vigorosamente. Os tubos foram mantidos no período de três horas a 100 °C, com agitação ocasional, sendo resfriados posteriormente, em água corrente. O resultado da glicose obtida da quebra da cadeia de celulose foi encontrado pela diferença entre a glicose do sobrenadante da hidrólise de Saeman e da hidrólise simples (INRA, 2009).

Por meio da metodologia da glicose oxidase resultou-se o teor de glicose que foi obtido de 30 µL da amostra homogeneizada com 3 mL do reagente

(QUIMIGLIC – OX, Glicose Oxidase), colocada em banho-maria a 37 °C durante 5 minutos, para que em seguida, fosse realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro UV/Vis à 500 nm.

4.2.5 Fibra insolúvel

Para a determinação do teor de fibra insolúvel foi seguido o método 985.29 (AOAC INTERNATIONAL, 2005). Primeiramente, reservou-se 5 cadinhos de Gooch para análise de fibra insolúvel, colocados na mufla à temperatura de 525°C pelo período de uma hora. Logo em seguida, removeram-se os cadinhos para acomodá-los no dessecador para resfriamento e posterior pesagem (FREITAS *et al.*, 2008).

A próxima etapa consistiu em pesar 3 replicatas de amostra com cerca de 1 g cada no béquer de 400 mL em que se acrescentou a solução tampão fosfato de pH 6. Cada béquer foi coberto com papel filme e reservaram-se 2 béqueres para o branco. O banho Dubnoff foi acionado e completado com água destilada ajustando-se para a temperatura de 95 °C. Durante 20 minutos, as amostras foram colocadas em banho-maria e agitadas em 100 rpm para que ocorresse o processo de gelatinização do amido. A agitação foi interrompida para acrescentar 0,1 mL da enzima Termamyl com o auxílio do pipetador. Reiniciou-se o processo de agitação em 100 rpm a 95 °C, com os béqueres cobertos por papel filme durante 35 minutos. Depois as amostras foram retiradas do banho e resfriadas à temperatura ambiente.

Na sequência, o pHmetro previamente calibrado foi utilizado para o ajuste do pH das amostras em 7,5. Empregou-se cerca de 2 mL de NaOH 5% e quando necessário HCl 5% para a correção do pH. Após a adição de 0,1 mL da solução de protease os béqueres foram cobertos e novamente ficaram em banho-maria e agitação em 100 rpm na temperatura de 60 °C durante 30 minutos. As amostras foram retiradas do banho e resfriadas para que em seguida o pH seja ajustado para 4,3 com a utilização de 2 mL de HCl 5% e quando necessário com NaOH 5%.

Prontamente acrescentou-se 0,1 mL da solução de amiloglucosidase e cobriu-se os béqueres para a repetição do processo de agitação em 100 rpm no banho-maria a 60 °C no período de 30 minutos. A finalização da análise de fibra insolúvel corresponde à filtração das amostras por meio do sistema de filtração a

vácuo. Removeu-se quantitativamente todo o resíduo do béquer usando a solução tampão fosfato.

4.3 Desenvolvimento dos compósitos

Para a produção dos compósitos foram empregados dezoito ensaios com diferentes formulações de bagaço de mandioca, glicerol e emulsificante comercial Emustab®. A adição de emulsificante pode contribuir para que haja um aumento na área de secagem do material.

Nos primeiros ensaios empregou-se as mesmas etapas de operação do ensaio 1, conforme descrito na metodologia presente no Quadro 1. As diferenças entre os testes foram com relação à proporção de emulsificante e glicerol variada entre 1:1 até 1:5, respectivamente, ao utilizar-se uma faixa de 80 a 200 g de bagaço úmido.

Com os resultados dos primeiros ensaios ocorreram mais testes com a utilização do bagaço seco ou úmido, porém seguindo a metodologia realizada por Matsui (2002), com algumas modificações, para que houvesse o aprimoramento da secagem dos compósitos.

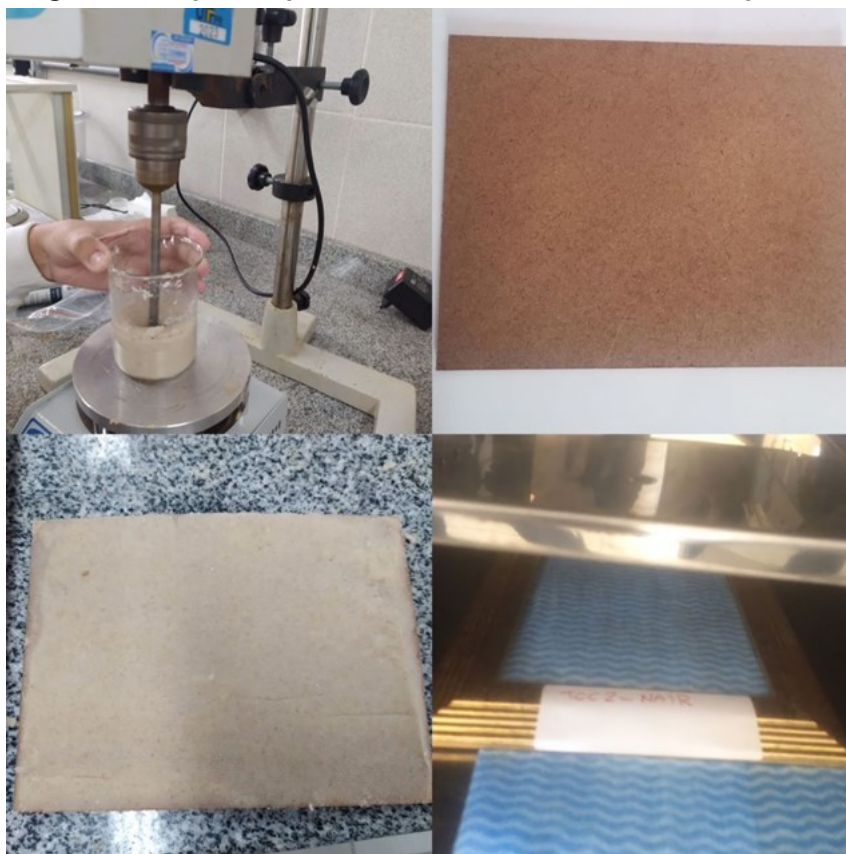
No Quadro 1 abaixo segue a metodologia utilizada nos quatro ensaios que apresentaram melhores desempenhos. Nas metodologias 2 e 3, o bagaço seco foi previamente submetido a peneiramento (marca BERTEL, 28 mesh).

Quadro 1 - Ensaio para obtenção dos compósitos

Ensaio e proporções	Descrição
Ensaio 1 (2 g de Emustab® e 2 g glicerol)	Uma amostra úmida de 200,96 g foi misturada com emustab® e glicerol com auxílio de uma batedeira doméstica por 20 minutos, obtendo-se uma massa consistente, distribuída em uma placa de petri (60 x 15 mm) e encaminhada para a estufa com circulação e renovação de ar (marca SOLAB, modelo SL 102) a 50 °C durante 24 horas.
Ensaio 2 (1 g de Emustab® e 3 g glicerol)	Colocou-se cerca de 10,25 g de bagaço seco peneirado para umedecer em 50 g de água destilada no período de 24 horas. Posteriormente, o bagaço, com mais 25 g de água destilada, foi encaminhado para o agitador mecânico em 1000 rpm a 50 °C por 25 minutos, conforme a primeira imagem da Figura 7. Após esse tempo, com a adição do emustab® e glicerol, manteve-se em aquecimento e agitação por mais 25 minutos. Em seguida, o material foi colocado em um molde retangular de acordo com a segunda e terceira imagens da Figura 7, da forma mais homogênea possível e sem curvatura. Um pano tipo perfex® foi disposto em uma das superfícies, com o objetivo de reter a umidade do material. Com isso, encaminhou-se para a estufa com circulação e renovação de ar (marca SOLAB, modelo SL 102) a 50 °C por 24 horas, como se observa na última imagem da Figura 7.
Ensaio 3 (2 g de Emustab® e 6 g glicerol)	Realizou-se o mesmo procedimento experimental do ensaio 2, porém aplicou-se cerca de 20 g de bagaço de mandioca seco peneirado, umedecido em 100 g de água destilada por 24 horas.
Ensaio 4 (2 g de Emustab® e 6 g glicerol)	Empregou-se 192 g de bagaço úmido para a preparação do compósito. O material foi colocado em agitação em um agitador mecânico por 25 minutos a 50 °C. Logo em seguida, adicionou-se o Emustab® e glicerol mantendo-se a agitação e aquecimento por 25 minutos. Assim como no Ensaio 2, o material foi distribuído em um molde retangular e realizou-se o procedimento de secagem na estufa com circulação e renovação de ar (marca SOLAB, modelo SL 102) a 50 °C durante 24 horas.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 7 - Etapas do procedimento de formação dos compósitos



Fonte: Autoria própria (2021)

4.4 Análise dos compósitos

4.4.1 Determinação de cor

A avaliação da cor foi determinada através do colorímetro com sistema CIEL L^* , a^* e b^* . Os dados de L^* representa luminosidade que tem variação entre preto (0) e branco (100), a^* indica a coordenada cromática do verde (-60) ao vermelho (+60) e b^* coordenada cromática do azul (-60) ao amarelo (+60) (FIORDA *et al.*, 2013).

4.4.2 Espessura

Para a avaliação da espessura foram realizadas dez medições em um paquímetro digital profissional (marca Digital Caliper, resolução de 0,01 mm) e calculada a média aritmética para determinação do valor final (ALVES *et al.*, 2015).

4.4.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos compósitos foram obtidas com o uso do texturômetro (marca Stable Micro System, modelo TA.XTPlus). As amostras foram cortadas em retângulos de 2 cm de largura e 5 cm de altura (ALVES *et al.*, 2015). Os parâmetros de tensão de ruptura (T_R) e o alongamento (E) foram calculados pelas seguintes Equações 3 e 4.

$$T_R = \frac{F_R}{A} \quad (3)$$

$$E (\%) = 100 \times \left(\frac{D_R - D_I}{D_I} \right) \quad (4)$$

Sendo que F_R seria a força de ruptura (N), A seria a área da seção transversal (cm^2), D_I distância inicial e D_R distância no momento da ruptura (cm), que representa a diferença entre a distância de separação no momento da ruptura. A Figura 8 apresenta o texturômetro utilizado nos ensaios mecânicos.

Figura 8 - Avaliação das propriedades mecânicas



Fonte: Autoria própria (2021)

4.4.4 Biodegradabilidade

A biodegradabilidade foi analisada por meio do enterramento do material em recipiente com terra que continha fertilizantes e compostos orgânicos, conforme a norma ASTM 6400-99 (especificação padrão para plásticos compostáveis) com algumas alterações. Cada amostra foi recortada em 4 cm de comprimento e 2 cm de largura. O material ficou mantido a 3 cm da superfície por 3 semanas em condições ambientes e por dia recebeu 100 mL de água. A cada semana, as amostras foram limpas e pesadas, para que fosse calculada a perda de massa por ação dos microrganismos (RODRIGUES; SOUZA *et al.*, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da matéria-prima

Os dados da composição do bagaço de mandioca quanto aos teores de umidade, cinzas, amido, celulose e fibra insolúvel encontram-se na Tabela 1 com a média e desvio padrão.

Tabela 1 - Caracterização da matéria-prima

	Umidade (%)	Cinzas (%)	Amido (%)	Celulose (%)	Fibra insolúvel (%)
Bagaço	85,87 ± 6,41	2,36 ± 0,36	67,55 ± 0,69	4,84 ± 0,65	47,10 ± 1,32

Fonte: Autoria Própria (2021)

O teor de umidade do bagaço de mandioca em 85,87 ± 6,41% representa valor aproximadamente similar à umidade de 84,21 ± 0,04% obtido por Carvalho, Jorge, Freitas e Terhaag (2018). Lebourg (1996, apud LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998), determinou o valor de 85% de umidade para cada tonelada de raiz de mandioca processada em uma fecularia com capacidade de 200 toneladas de raízes por dia. É importante salientar que a fecularia em que se obteve o resíduo opera com a capacidade de 250 toneladas de mandioca por dia (FINO ALIMENTOS, 2021).

A característica úmida é um dos fatores que dificulta a utilização do bagaço de mandioca no processo. O resíduo possui grande capacidade de retenção de água ocasionando um fator problemático para as fecularias quanto à logística de transporte e armazenamento do resíduo (JASKO *et al.*, 2013).

A obtenção de cinzas em torno de 2,36 ± 0,36% tem composição acima do valor de 1,5% apresentado por Leonel e Cereda (2000). Fiorda *et al.* (2013), determinaram em um teor de 1,81 ± 0,17%, para a farinha de bagaço de mandioca anteriormente submetida por um processo de desidratação. A composição de cinzas que ultrapassa o limite máximo estimado de 2% conforme a legislação apresenta irregularidades durante a extração de amido principalmente nas etapas de lavagem e descascamento (FIORDA *et al.*, 2013 apud BRASIL, 2005).

O bagaço de mandioca apresentou teor de amido 67,55 ± 0,69%. Jasko *et al.* (2013) aplicaram a mesma metodologia descrita por Demiate, Konkell e Pedroso (2001), resultando em 42% de amido do bagaço de mandioca da fecularia do

município de Nova Esperança, Paraná. Sabe-se que a quantidade de amido residual presente no bagaço possui um valor elevado, sendo diretamente relacionado à eficiência do processo de extração do amido da mandioca para o produto final.

Quanto à análise do teor de fibra insolúvel de $47,10 \pm 1,32\%$, observa-se que Ronko, Travalini e Demiate (2020) apresentaram valor similar em torno de $46,13\%$ para o bagaço industrial obtido em Amaporã (PR) avaliado no estudo. Em contrapartida, Fiorda *et al.* (2013) obtiveram $56,84 \pm 2,78\%$ em bagaço de mandioca recebido por uma fecularia no município de Bela Vista de Goiás (GO).

A diferença na composição de fibra insolúvel evidencia a diversidade dos plantios de mandioca e ressalta a influência das condições climáticas. Um ponto considerável a retratar seria sobre a quantidade de fibra retida no bagaço, o que evidencia a eficiência do processamento da mandioca, com retenção da fibra no resíduo e garantindo que grande parcela de amido esteja presente no produto da fécula (RONKO; TRAVALINI; DEMIATE, 2020).

A quantidade de celulose do bagaço de mandioca varia entre 15 a 50% (RUANGUDOMSAKUL; RUKSAKULPIWAT; RUKSAKULPIWAT, 2015). O valor encontrado pela análise foi de $4,84 \pm 0,65\%$, diferença possivelmente decorrente da influência do processo de fabricação, como também do clima do local da plantação da mandioca.

5.2 Perfil dos compósitos

5.2.1 Formação dos compósitos

Para o desenvolvimento dos compósitos realizaram-se ao total de dezoito ensaios iniciais para aplicação de diferentes composições do bagaço de mandioca, emulsificante e glicerol.

A seguir na Figura 9, estão representadas as imagens do compósito (CMP) 1, 2, 3 e 4, respectivamente, que se apresentaram mais bem desenvolvidos.

Figura 9 - Compósitos de bagaço de mandioca

Fonte: Autoria própria (2021)

Os primeiros testes experimentais apresentaram a mesma metodologia do ensaio 1, com variabilidade nas composições de glicerol e emulsificante. Notou-se que a aplicação de proporções elevadas de glicerol proporcionava um compósito esfarelado e seco que dificultava sua utilização. Com isso o ensaio 1 obteve o melhor compósito empregando essa metodologia, obtendo-se o CMP 1.

Entretanto, apesar do êxito do CMP 1 nos primeiros testes, as principais dificuldades evidenciadas durante o desenvolvimento dos ensaios em placas de petri foram o encurvamento dos compósitos, após a etapa de secagem na estufa e conseqüentemente, a formação de rachaduras. O tempo excessivo na estufa pode ter ocasionado à obtenção do material trincado. Os compósitos produzidos com o bagaço úmido, CMP 1 e CMP 4, apresentaram mais rachaduras em comparação aos demais. A irregularidade na espessura do compósito também foi uma das questões a serem trabalhadas.

Para a correção do encurvamento indesejado dos compósitos, foi realizada a distribuição da massa na parte de trás de um molde retangular sendo colocado o pano do tipo perflex® em uma das faces. A metodologia empregada aproximou-se da obtenção dos compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca, realizado por Matsui (2002), que se utilizou de quadros com telas de náilon, colocados na estufa de circulação de ar para a secagem do material.

5.2.2 Coloração

A primeira análise dos compósitos foi a coloração (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise colorimétrica do bagaço de mandioca

Compósitos	L*	a*	b*
1	70,37 ± 0,89	1,63 ± 0,05	12,61 ± 0,47
2	59,60 ± 1,00	3,85 ± 0,16	17,73 ± 0,23
3	66,47 ± 0,31	3,39 ± 0,29	15,95 ± 0,48
4	78,30 ± 0,85	2,91 ± 0,34	17,52 ± 0,88

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na avaliação de coloração dos compósitos, constatou-se a eficiência do processo de extração de amido da mandioca retido na fécula do produto final, restando uma boa parcela de cinzas e fibras no bagaço. Ronko, Travalini e Demiate (2020) realizaram a análise colorimétrica do amido industrial que resultou em L* 95,23 ± 0,41%, enquanto que o bagaço de mandioca industrial L* foi 75,62 ± 0,25%, dado similar ao L* obtido pelos compósitos. O parâmetro L* representa a luminosidade, conseqüentemente, o bagaço tem valor menor para o L* em comparação à fécula, o que pode indicar menor quantidade de amido e maior de cinzas e fibras nas camadas exteriores dos grãos, o que torna a cor mais escura para o bagaço (FIORDA *et al.*, 2013).

Em contrapartida, as coordenadas cromáticas a* e b* do amido (a* 0,45 ± 0,04% e b* 3,91 ± 0,21%) e bagaço (a* 3,25 ± 0,05% e b* 15,17 ± 0,10%), resultaram valores maiores no bagaço (RONKO; TRAVALINI; DEMIATE, 2020). O CMP 2 obteve L* 59,60 ± 1,00%, a* 3,85 ± 0,16% e b* 17,73 ± 0,23% com L* indicando menor presença de amido e maiores valores dos parâmetros a* e b*, o que significa que a cor aproxima-se do vermelho e amarelo nas coordenadas cromáticas.

5.2.3 Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos foram representados na Tabela 3, com resultados para a tensão de ruptura, alongamento e espessura. O CMP 1 obtido apresentou-se menos resistente e rompeu antes da análise mecânica, não sendo possível obter os valores dessas propriedades.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas dos compósitos

Compósitos	Espessura (mm)	Elongamento (%)	Tensão (kPa)
1	0,93 ± 0,04	-	-
2	1,11 ± 0,03	3,46 ± 1,53	92,55 ± 4,22
3	1,35 ± 0,04	2,63 ± 1,72	125,33 ± 2,17
4	0,98 ± 0,13	1,82 ± 0,98	48,49 ± 1,25

Fonte: Autoria Própria (2021)

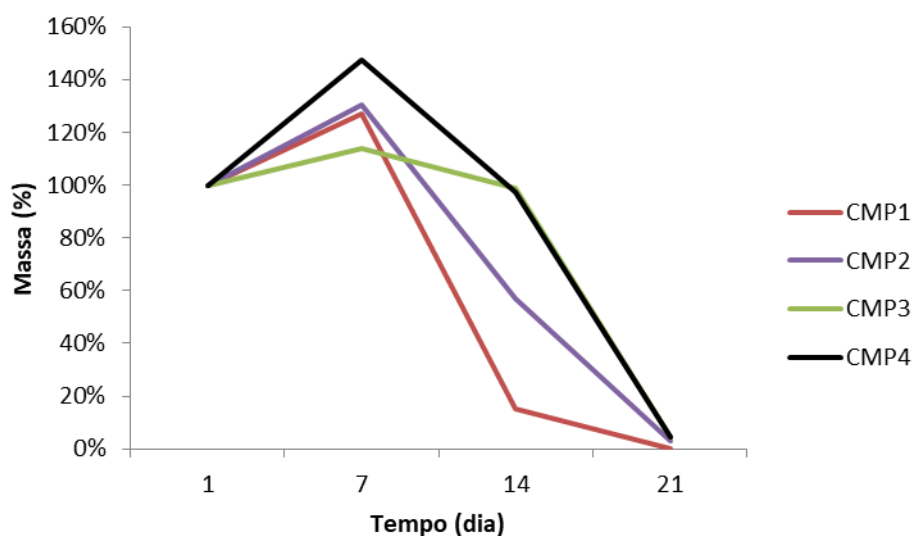
Constata-se que o bagaço previamente seco na formação dos CMP 2 e CMP 3 tem influência direta na tensão de ruptura, visto que foram os mais rígidos e com maiores valores de espessura. A quantidade de sólidos secos empregada na composição é um fator considerável para a espessura média o que provoca a rigidez do material (ALVES *et al.*, 2015). Farias *et al.* (2014) realizaram os testes mecânicos com o bagaço de mandioca e polietileno de baixa densidade e comprova que incorporação do bagaço de mandioca torna o compósito mais rígido como consequência ao mecanismo de emaranhamento das cadeias poliméricas com os componentes fibrosos.

A flexibilidade é um ponto crucial para a viabilidade do material polimérico (ALVES *et al.*, 2015). A partir dos dados comprova-se que o CMP 2 apresenta maior alongamento, o que indica maior flexibilidade com espessura e tensão de ruptura intermediárias em relação aos outros compósitos.

5.2.4 Biodegradabilidade

No período de 21 dias, cada amostra dos quatro compósitos formados foi desenterrada e pesada a cada 7 dias. O gráfico exibido na Figura 10 demonstra a porcentagem da perda de massa em função do tempo.

Figura 10 – Gráfico da perda de massa (%) dos compósitos em função do tempo



Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme se observa na Figura 10, as amostras tiveram um aumento na massa devido à retenção de água. Porém, é notória a queda na massa no decorrer dos dias da análise. O inchaço é explicado pela reação entre as hidroxilas presentes no amido e as ligações de hidrogênio na água (RODRIGUES; SOUZA *et al.*, 2020).

As amostras menos espessas tiveram menores massas e degradaram mais rapidamente. A degradabilidade no CMP1 foi mais eficiente em comparação aos outros compósitos, já que na segunda semana resultou em uma massa próxima à zero. O CMP2 obteve uma perda de massa brusca no 14º dia. CMP3 apresentou perda de massa menor em relação aos demais compósitos.

Na metodologia de obtenção é necessário o aperfeiçoamento do método de secagem para evitar que surjam rachaduras e trincas. Uma ação a ser tomada é uma pesquisa mais aprofundada no tempo de secagem na estufa que poderia ser reduzido. Outros pontos a serem abordados é a inclusão de mais aditivos na formulação dos compósitos e a diminuição do uso da água na metodologia.

Conclui-se que a utilização do bagaço de mandioca torna-se uma alternativa sustentável de agregar valor a um resíduo obtido em toneladas pelas indústrias de fécula. A aplicabilidade do material como embalagem alimentícia é objeto de futuros estudos com uso do bagaço.

6 CONCLUSÃO

O perfil do bagaço de mandioca quanto à composição evidencia o caráter úmido (85,87%) do resíduo, com uma boa parcela de amido (67,55%) e fibra (47,10%). Nas caracterizações é importante salientar como a condição climática no cultivo da mandioca, utilizada na fabricação de fécula, influencia a composição do resíduo.

Constata-se que a metodologia apresentada em todos os compósitos, com exceção ao primeiro (CMP1), demonstrou eficácia nos ensaios mecânicos. Destacam-se o desempenho do CMP2, com relação à flexibilidade por meio do resultado do alongamento, e do CMP3 pela rigidez com alto valor na tensão de ruptura. É notório que os compósitos com o bagaço previamente seco e peneirado desenvolveram melhores respostas das propriedades mecânicas.

A coloração dos compósitos também exerceu um papel crucial para as análises comprovando que maiores valores para as coordenadas cromáticas a^* e b^* indicam elevada presença de fibras principalmente nos CMP2 e CMP3, fator que pode ter contribuído para melhores comportamentos nos ensaios mecânicos. Com relação à biodegradabilidade, CMP1 degradou-se mais rapidamente em 14 dias; em contrapartida, CMP3 teve uma perda de massa menor em comparação aos demais materiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. M. **Biofilme de Blenda de Fécula de batata e Celulose Bacteriana na conservação de fruta minimamente Processada**. 2010. 284 f. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos Agroindustriais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- ALVES, R. C. *et al.* CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE BIOFILMES COMESTÍVEIS À BASE DE GELATINA E DE AMIDOS DE MILHO E MANDIOCA. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - Cobeq Ic 2015**, [S.l.], p. 1686-1691, jun. 2015.
- ANDRÉ, T. B.; SANTOS, A. C. dos. **Uso de produtos da cultura da mandioca (Manihot) na produção animal**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p.1622–1647, 2012.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International, 2005.
- CAMPOS, A. T. *et al.* Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 235-242, abr. 2006
- CARVALHO, J. V. C.; JORGE, L. M.; FREITAS, J. D. de; TERHAAG, M. M. DESENVOLVIMENTO E ACEITABILIDADE DE COOKIES FORMULADOS A PARTIR DE BAGAÇO DE MANDIOCA. **Arquivos de Ciências da Saúde da Unipar**, Umuarama, v. 21, n. 3, p. 193-199, 19 fev. 2018.
- CASTIGLIONI, G. L. *et al.* Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Rev. Bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 987-994, set. 2013
- CEREDA, M. P.; MATTOS, M.C.Y. LINAMARIN: the toxic compound of cassava. **Journal Of Venomous Animals And Toxins**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 06-12, 1996.
- CORRADINI, E. **Desenvolvimento de blendas de zeína e amido de milho**. 2004.114 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- CORRADINI, E. *et al.* Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 268-273, nov. 2005.
- DEBIAGI, F. *et al.* Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **Bbr - Biochemistry And Biotechnology Reports**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 57-67, 28 mar. 2013.
- DEMIATE, I. M.; KONKEL, F. E.; PEDROSO, R. A. ENZYMATIC DETERMINATION OF STARCH IN DOCE DE LEITE USING DIALYSIS. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 339-342, dez. 2001.

FAO (Food and Agriculture Organization) (org.). Produzir mais com menos: Mandioca – Um guia para a intensificação sustentável da produção. 2013. (Informe de Política). Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i2929o.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

FARIAS, F. O. *et al.* Characterisation of Cassava Bagasse and Composites Prepared by Blending with Low-Density Polyethylene. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [S.L.], v. 57, n. 6, p. 821-830, dez. 2014.

FELIPE, F. I. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - Cepea-esalq/usp. **Produção e consumo de fécula de mandioca no Brasil**. 2019. Pesquisador do Cepea. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinio-cepea/producao-e-consumo-de-fecula-de-mandioca-no-brasil.aspx>. Acesso em: 24 abr. 2020.

FINO ALIMENTOS (org.). Nossa história. 2021. Disponível em: <https://finoalimentos.com.br/empresa/historia/>. Acesso em: 27 set. 2021.

FIORDA, F. A. *et al.* Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 408-416, dez. 2013.

FREITAS, S. C. de *et al.* **Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel**. 2008. Embrapa Agroindústria de Alimentos. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/biologia/livros/PROCEDIMENTO%20OPERACIONAL%20PADRAO%20PARA%20DETERMINACAO%20DE%20FIBRAS%20SOLUVEL%20E%20INSOLUVEL.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

INRA-INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. UMR 408. **Dosage des oses neutres par la méthode des acetates d'alditols**: 63 Characterization of cell walls. Avignon: protocolo de atividade prática fornecido em 07 jan. 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 15 ago. 2020.

JASKO, A. C. *et al.* Caracterização físico-química de bagaço de mandioca in natura e após tratamento hidrolítico. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 427-441, 5 dez. 2011. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR)

LAROTONDA, F. D. S. **Desenvolvimento de biofilmes a partir da fécula de mandioca**. 2002. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 241-245, maio 1999.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE FÉCULA DE MANDIOCA E BATATA DOCE - UM ESTUDO DE CASO. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 343-345, ago. 1998.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p.122-127, abr. 2000.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 137-156, 30 abr. 2010. Universidade Estadual de Londrina.

MATSUI, K. N. **Desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir do bagaço de mandioca**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002..

MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. da S.; SARMENTO, S. B. S. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da mandioca**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 115 p. (Série Agronegócios). Unidade responsável: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/993937>. Acesso em: 04 abr. 2020.

ONU (Organização das Nações Unidas) (org.). **ONU Meio Ambiente aponta lacunas na reciclagem global de plástico**. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-meio-ambiente-aponta-lacunas-na-reciclagem-global-de-plastico/>. Acesso em: 17 maio 2020.

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Cultivo da mandioca na região Centro-Sul do Brasil**. 2004. Embrapa Agropecuária Oeste - Sistema de Produção. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/249613>. Acesso em: 02 abr. 2020.

PINTO, P. H. M. Tratamento de manipueira de fucularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. 2008. xiii, 87 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.

PLOTEGHER, F.; RIBEIRO, C.. Preparação e Caracterização de Compósitos Poliméricos Baseados em Amido Termoplástico e Materiais de Alta Área Superficial: zeólita zsm-5 e sílica coloidal. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 236-241, 19 abr. 2013.

RENARD, C. M.G.C.; GINIES, C. Comparison of the cell wall composition for flesh and skin from five different plums. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 114, n. 3, p. 1042-1049, jun. 2009.

RODRIGUES, N. H. P. *et al.* Starch-Based Foam Packaging Developed from a By-Product of Potato Industrialization (*Solanum tuberosum* L.). **Applied Sciences**, [S.l.], v. 10, n. 7, p. 2235-2235, 25 mar. 2020.

RONKO, L. Z.; TRAVALINI, A. P.; DEMIATE, I. M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 14, n. 1, p. 2962-2982, 2 mar. 2020. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

RUANGUDOMSAKUL, W.; RUKSAKULPIWAT, C.; RUKSAKULPIWAT, Y. Preparation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Cassava Pulp. **Macromolecular Symposia**, [S.L.], v. 354, n. 1, p. 170-176, ago. 2015.

SANTOS, A. S. F. *et al.* Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. **Polímeros**, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 228-237, 2012