

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUÍS ANTONIO ABSOLON LEAL

**PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOCMPÓSITOS DERIVADOS
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS RICOS EM AMIDO**

FRANCISCO BELTRÃO

2023

LUÍS ANTONIO ABSOLON LEAL

**PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOCOMPÓSITOS DERIVADOS
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS RICOS EM AMIDO**

Protocol for the development of biocomposites derived from agro-industrial residues
rich in starch

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. Dra. Maria Helene Giovanetti
Canteri

Coorientador(a): Prof. Dr. Juan Carlos Pokrywiecki.

FRANCISCO BELTRÃO

2023



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.

LUÍS ANTONIO ABSOLON LEAL

**PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOCMPÓSITOS DERIVADOS
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS RICOS EM AMIDO**

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/setembro/2023

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juan Carlos Pokrywiecki
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Tania Maria Cassol
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

FRANCISCO BELTRÃO

2023

Dedico este trabalho à minha família, pela
inesgotável fonte de amor, apoio e
incentivo em cada passo do caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e por sempre guiar meus passos e me dar forças durante toda essa jornada.

À minha família, especialmente à minha avó/mãe, Maria das Graças e às minhas tias/mães, Fábria e Fabiana pelo amor incondicional, educação que sempre me foi dada; e por me incentivarem nas minhas escolhas e serem meu alicerce.

À minha orientadora Profa. Dra. Maria Helene Giovanetti Canteri, pelos ensinamentos, paciência e orientação ao longo deste trabalho. Sou grato por toda a orientação e aprendizado proporcionados.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Juan Carlos Pokrywiecki, pela disponibilidade e suporte fornecidos ao longo desta jornada.

Aos meus colegas e amigos de faculdade, por tornarem essa jornada mais agradável e repleta de momentos inesquecíveis.

Aos meus amigos Bia, Thais, Camila, Adri, Anna e Junior pelos momentos incríveis, repletos de risadas e por sempre estarem comigo desde o início dessa jornada, tornando essa experiência ainda mais especial.

Aos meus amigos de pensionato, “Os guris da pensão” (Helô, Kenji, Letícia, as Madus, Gabriel, Vitor e Leo), pela amizade, conversas que proporcionaram boas gargalhadas, apoio emocional, e os diversos momentos felizes e memoráveis que tivemos.

Aos técnicos de laboratório da Coordenação de Estação Experimental (COEXP), pela assistência nas análises do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Sou imensamente grato a todos vocês.

RESUMO

A utilização de materiais plásticos provenientes de fontes não renováveis aumentou bastante nos últimos anos, e apesar de suas vantagens industrialmente; causam sérios problemas ambientais quando descartados de forma inadequada. Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais causados pelos plásticos, diversos estudos têm sido realizados a fim de desenvolver produtos biodegradáveis para diversas aplicações, e os polímeros biodegradáveis vêm ganhando cada vez mais destaque pelo potencial de substituir em diversas áreas os polímeros provindos de fontes não renováveis. Uma das alternativas é o desenvolvimento de compósitos poliméricos biodegradáveis obtidos a partir de resíduos gerados pela agroindústria, a exemplo do resíduo de batata. A criação de compósitos a partir de resíduos agroindustriais reduz a quantidade de resíduo gerado pelas indústrias e o volume de descarte de resíduo no meio ambiente, sendo assim uma alternativa sustentável. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a criação de um compósito polimérico biodegradável a base de resíduo agroindustrial de batata, utilizando pectina, amido, emulsificante e glicerol para conferir propriedades mecânicas adequadas ao material. Executou-se a caracterização química do resíduo de batata quanto aos teores de umidade, cinzas, amido, celulose e fibra insolúvel. Os compósitos utilizados para as análises das propriedades mecânicas e biodegradabilidade foram os compósitos 1 e 2, referentes aos ensaios 4 e 5. A partir dos ensaios mecânicos obtidos, o compósito 1 apresentou tensão de ruptura maior que o compósito 2, resultando em 100,27 kPa e um alongamento de 14,67%, apresentando também resultado satisfatório no teste de biodegradabilidade; demonstrando ser um material de fácil produção e com diversas possibilidades de aplicação industrial.

Palavras-chave: biocompósitos; resíduo; amido; agroindústria.

ABSTRACT

The use of plastic materials from non-renewable sources has increased a lot in recent years, and despite the advantages that plastics provide for the industries; when improperly disposed of they cause serious environmental problems. With the aim of minimizing the environmental impacts caused by plastics, several studies have been carried out to develop biodegradable products for various applications, and biodegradable polymers have been gaining more and more prominence for their potential to replace in various areas the polymers from non-renewable sources. One of the alternatives is the development of biodegradable polymer composites obtained from residues generated by agroindustry, such as potato waste. The creation of composites from agroindustrial residues reduces the amount of residue generated by the industries and the volume of residue disposal in the environment, making it a sustainable alternative. Thus, the present work aimed at creating a biodegradable polymer composite based on agroindustrial potato residue, using pectin, starch, emulsifier and glycerol to confer properties to the material. The chemical characterization of the potato waste was carried out regarding the moisture, ash, starch, cellulose and insoluble fiber contents. The composites used for the mechanical properties and biodegradability analyses were composites 1 and 2, referring to tests 4 and 5. From the mechanical tests obtained, composite 1 presented higher tensile strength than composite 2, resulting in 100.27 kPa and an elongation of 14.67%, also presenting satisfactory result in the biodegradability test; demonstrating to be a material of easy production and with several possibilities of industrial application.

Keywords: biocomposites; waste; starch; agroindustry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Etapas do processo de desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis a partir do resíduo industrial de batata	25
Figura 2- Compósitos produzidos a partir do resíduo de batata	28
Figura 3- Compósito 1 (à esquerda) e compósito 2 (à direita)	29
Figura 4- Degradação dos compósitos poliméricos de resíduo de batata em decorrência da ação de microrganismos (fungos)	31
Figura 5- Gráfico da perda de massa dos compósitos de resíduo de batata em função do tempo	32
Figura 6- Compósito de resíduo de batata após a 1ª semana de análise.....	32
Figura 7- Compósitos de resíduo de batata após a 5ª semana de análise.....	33
Quadro 1- Ensaio para obtenção dos compósitos biodegradáveis a partir de resíduo de batata.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produção nacional da batata entre os anos de 2011 a 2021	13
Tabela 2- Quantidade de ingredientes utilizados para o desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis	23
Tabela 3- Caracterização química do resíduo agroindustrial de batata	27
Tabela 4- Análise colorimétrica dos compósitos biodegradáveis de resíduo de batata.....	29
Tabela 5- Espessura, tensão de ruptura e alongamento dos compósitos poliméricos biodegradáveis	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMG	Amiloglucosidase
BC	Borra de Café
FC	Fibra de Coco
FB	Fibra de Bananeira
GOD	Glicose Oxidase
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LDP	Polietileno de Baixa Densidade
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PHB	Polihidroxibutirato
PLA	Ácido Polilático
TPS	Amido Termoplástico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
	2.1 Objetivo Geral	12
	2.2 Objetivos Específicos	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
	3.1 Batata - definição e classificação taxonômica	13
	3.1.1 Panorama econômico da batata (produção mundial e nacional).....	13
	3.1.2 Uso da batata nas indústrias alimentícia e não alimentícia	14
	3.1.3 Amido	14
	3.1.4 Resíduos do processamento da batata	15
	3.2 Rejeitos agroindustriais e impacto ambiental	15
	3.3 Compósitos biodegradáveis	16
	3.3.1 Exemplos de compósitos com aplicação para redução dos resíduos agroindustriais	17
	3.3.2 Principais análises para caracterização de biocompósitos.....	18
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
	4.1 Material	20
	4.2 Caracterização química do resíduo	20
	4.3 Desenvolvimento dos biocompósitos	23
	4.4 Análise dos biocompósitos	25
	4.4.1 Determinação de cor	25
	4.4.2 Espessura	25
	4.4.3 Propriedades mecânicas	26
	4.4.4 Biodegradabilidade.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
	5.1 Obtenção e caracterização da matéria-prima	27
	5.2 Perfil dos compósitos	28
	5.2.1 Formação dos compósitos	28
	5.2.2 Coloração	29
	5.2.3 Ensaio mecânicos	30
	5.2.4 Biodegradabilidade.....	31
6	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos podem ser produzidos a partir de diferentes fontes, podendo ser de origem fóssil, renovável ou ainda mineral. A utilização desses materiais provindos de fontes não renováveis acelerou bastante nos últimos anos, chegando a quase 360 milhões de toneladas produzidas mundialmente em 2018 (PLASTICS EUROPE, 2019). Apesar das inúmeras vantagens proporcionadas por estes materiais, quando descartados de forma indevida, podem causar sérios problemas ambientais, contaminando o solo e a água e apresentando riscos significativos para a vida selvagem, tanto terrestre quanto aquática (GIACOVELLI *et al.*, 2018).

Atualmente, existem pesquisas focadas em desenvolver produtos ecologicamente corretos para diversas aplicações, e os polímeros biodegradáveis vêm ganhando destaque pelo potencial de substituir em diversas áreas os sintéticos provindos de fontes não renováveis. No entanto, existem limitações no processamento desse material, uma vez que se degradam a altas temperaturas, interferindo na aplicação do produto final. Desta forma, é necessário criar alternativas para melhorar suas propriedades, sendo uma delas desenvolver biocompósitos, por meio da combinação de dois ou mais materiais na forma bifásica (matriz polimérica biodegradável e reforço). A incorporação do reforço de origem natural à matriz polimérica reduz a quantidade de material polimérico utilizado e o volume de descarte de resíduo no meio ambiente, tornando assim o biocompósito uma alternativa sustentável (SANTOS; PASSADOR; MONTAGNA, 2020).

A batata, planta nativa da América do Sul, é um dos principais alimentos básicos para a humanidade, com produção por décadas próxima a 270 milhões de toneladas, em termos globais (SALLES, 2015). No entanto, durante o processamento desta hortaliça, alguns resíduos são gerados em grandes quantidades, como a casca e a polpa da batata, normalmente descartados no meio ambiente ou utilizados como complemento na alimentação animal (WU, 2016). Esses resíduos agroindustriais amiláceos, a exemplo da batata, são uma alternativa para o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar a viabilidade técnica de obtenção de compósitos biodegradáveis com a utilização do resíduo industrial do processamento da batata (*Solanum tuberosum* L.).

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização química do resíduo industrial da batata.
- Testar diferentes proporções de outros ingredientes como plastificante (glicerol) e emulsificante no desenvolvimento de compósitos de resíduos de batata.
- Avaliar os compósitos produzidos quanto as propriedades físico-químicas, mecânicas e de biodegradabilidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Batata - definição e classificação taxonômica

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma dicotiledônea da família Solenaceae e pertence ao gênero *Solanum*, com mais de 2000 espécies, dentre as quais, cerca de 160 produzem tubérculos (porções de caules subterrâneos transformados) e apenas vinte são cultivadas. É uma planta nativa da América do Sul, da Cordilheira dos Andes, consumida por populações nativas há mais de 8000 anos. Foi introduzida na Europa por volta de 1570, e em meados de 1620 foi levada para a América do Norte, onde se tornou um alimento bastante popular, difundindo-se para vários países (SILVA; LOPES, 2015).

3.1.1 Panorama econômico da batata (produção mundial e nacional)

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2023) na safra de 2021, a produção nacional chegou a pouco mais de 3,8 milhões de toneladas de batata. Pode-se inferir a partir dos dados da Tabela 1 que, apesar da área plantada ter diminuído, o rendimento por hectare aumentou, indicando indiretamente a melhoria das técnicas de plantio.

Tabela 1- Produção nacional da batata entre os anos de 2011 a 2021

Ano	Área plantada (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)
2011	149.292	3.917.234	26.253
2012	136.019	3.731.798	27.446
2013	128.118	3.553.772	27.752
2014	132.077	3.689.836	27.941
2015	131.943	3.867.681	29.316
2016	129.953	3.851.396	29.662
2017	118.176	3.655.069	30.941
2018	120.429	3.728.953	31.176
2019	116.968	3.711.744	31.766
2020	117.263	3.752.999	32.008
2021	116.428	3.853.464	33.099

Fonte: IBGE (2023)

Considerada a quarta cultura agrícola na ordem de importância depois do trigo, do arroz e do milho e cultivada em mais de 120 países, a batata é um dos

principais alimentos básicos para a humanidade. A produção mundial dessa hortaliça manteve-se por várias décadas próxima a 270 milhões de toneladas. A Ásia é a maior produtora desse tubérculo, com cerca de 35% da produção mundial. Em alguns países europeus houve uma redução na produção e no consumo, devido à mudança de hábitos alimentares, que passou a incentivar o consumo de cereais, verduras e frutas (SALLES, 2015).

3.1.2 Uso da batata nas indústrias alimentícia e não alimentícia

A batata possui várias finalidades na indústria alimentícia; em termos globais, mais de 50% da batata produzida é comercializada fresca, porém uma porção significativa é destinada à indústria alimentícia para se transformar em novos produtos como pré-fritas, farinha, amido, entre outros. As formas tradicionais de consumo da hortaliça são assadas, cozidas ou fritas; todavia, mudanças no perfil de consumo da população tem feito com que as indústrias produzam alimentos com mais facilidade e vantagem para atender às tendências do mercado, tendo como um dos principais produtos comercializados a batata frita em palitos (*french fries*). Estima-se que 7 milhões de toneladas desse tipo de batata processada seja consumido anualmente em todo o mundo (SILVA; LOPES, 2015).

A fécula de batata também é utilizada em indústrias não alimentícias, como por exemplo na indústria de madeira, na qual é utilizada como aglutinante, na indústria de papel como agente de textura, na indústria têxtil como adesivo e na indústria farmacêutica como enchimento. O amido pode ainda ser empregado na produção de poliestireno, gerando plásticos biodegradáveis descartáveis (SILVA; LOPES, 2015).

3.1.3 Amido

O amido, juntamente com a celulose constituem uma das mais abundantes fontes de carboidratos, sendo amplamente presente na natureza. Encontrado nas plantas em forma de grânulos, o amido é composto por dois tipos de polissacarídeos: amilose e amilopectina, cuja proporção varia em função da origem vegetal do amido. A maioria dos amidos provenientes do milho, batata e trigo apresentam um teor de amilose que varia de 20 a 30% (CORRADINI *et al.*, 2007). A amilose é um polímero

linear constituído de unidades de D-glicose ligadas por ligações α -(1→4); a amilopectina é um polímero altamente ramificado, constituído por unidades de D-glicose ligadas através de ligações α -(1→4) e ramificações α -(1→6). As variações nas proporções desses polissacarídeos podem alterar as propriedades físico-químicas e funcionais dos grânulos de amido, influenciando sua aplicação na indústria (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

O amido granular possui uma estrutura semicristalina; no entanto, quando submetido a fenômenos como pressão, cisalhamento, temperaturas na faixa de 90 a 180 °C ou na presença de um plastificante como água ou glicerol; as cadeias de amilose e amilopectina intercalam-se e a estrutura semicristalina do grânulo é destruída, dando origem a uma matriz polimérica homogênea e amorfa, sendo denominado amido termoplástico (TPS) (CORRADINI *et al.*, 2007; MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

3.1.4 Resíduos do processamento da batata

Durante o processo de industrialização da hortaliça, um enorme volume de casca e polpa de batata é gerado em forma de subproduto e descartado como resíduo, causando uma preocupação ambiental devido à sua deterioração microbiana. Geralmente, os resíduos de casca de batatas são utilizados na produção de ração animal de baixo valor (WU, 2016), causando desperdício de uma matéria-prima que poderia ser aplicada em outras tecnologias que agreguem maior valor ao subproduto.

Em alguns países da Europa, onde a água residual da batata é utilizada para irrigação do solo, ocorre a contaminação em sua superfície através da formação de espuma, causando odores desagradáveis e levando fósforo e nitrogênio para a água do subsolo (FERNANDES *et al.*, 2008).

3.2 Rejeitos agroindustriais e impacto ambiental

Os resíduos originários da agroindústria, como casca, caroço, talos, entre outros, são materiais orgânicos passíveis de reaproveitamento. Quando um resíduo industrial é gerado, é necessário que seja atribuído um destino apropriado a ele, pois além de causarem problemas ao meio ambiente se descartados de forma indevida,

representam perdas de matéria-prima e energia, gerando gastos significativos em tratamentos para controle da poluição (COELHO *et al.*, 2001; PELIZER; PONTIERI; MORAES, 2007).

Com o aumento do número de indústrias de processamento de batata, a completa utilização da matéria-prima torna-se cada vez mais necessária para atender à exigência de redução de subprodutos e liberar a pressão ambiental acerca desses (WU, 2016). Desse modo, transformar os subprodutos em novos produtos com valor agregado promove sua redução, reutilização e recuperação.

A utilização de polímeros oriundos de fontes não renováveis acelerou nos últimos anos; em 2018, a produção global de plásticos chegou a quase 360 milhões de toneladas (PLASTICS EUROPE, 2019). Suas inúmeras propriedades mecânicas e térmicas, baixa densidade, e baixo custo fazem deste material um importante produto com uma ampla gama de aplicações no mercado (GÓMEZ; ESCOBAR, 2022).

Apesar das inúmeras vantagens que esse material proporciona, normalmente é descartado de forma indevida no meio ambiente, representando riscos para os seres vivos, tanto em terra quanto nos oceanos. Estima-se que 79% dos resíduos plásticos produzidos estão em lixões, ou no meio ambiente, enquanto cerca de 12% foram incinerados e apenas 9% foram reciclados. Se as políticas de gestão de resíduos e os padrões de consumo não forem revistos, estima-se que até 2050 haverá em torno de 2 bilhões de toneladas de lixo plástico em aterros sanitários e no meio ambiente (GIACOVELLI *et al.*, 2018).

3.3 Compósitos biodegradáveis

Devido à busca por materiais menos agressivos ao meio ambiente, os polímeros biodegradáveis têm sido bastante estudados, com potencial de substituição aos sintéticos e convencionais, derivados de fontes não renováveis e frequentemente descartados de forma incorreta no meio ambiente. Esses materiais se degradam a compostos de baixa massa molar devido à ação de microrganismos (fungos e bactérias) e macroorganismos, além de serem provenientes de fontes renováveis; porém, existem limitações no seu processamento, uma vez que vários se deterioram em altas temperaturas, impedindo de serem aplicados como produto final. Deste modo, torna-se interessante buscar melhorias nas propriedades dos polímeros

biodegradáveis, sendo uma alternativa o desenvolvimento de biocompósitos (FALCONE; AGNELLI; FARIA, 2007; SANTOS; PASSADOR; MONTAGNA, 2020).

Os biocompósitos são constituídos por dois ou mais materiais na forma bifásica: fase contínua, correspondente à matriz polimérica biodegradável e a fase descontínua, composta pelo reforço e/ou carga. Com a incorporação de reforços de origem natural à matriz polimérica, ocorre a redução na quantidade utilizada para fabricação do produto, bem como no volume do descarte de resíduos de forma inadequada no meio ambiente, o que torna uma alternativa sustentável (SANTOS; PASSADOR; MONTAGNA, 2020).

3.3.1 Exemplos de compósitos com aplicação para redução dos resíduos agroindustriais

Atualmente, existem várias pesquisas focadas em sistemas poliméricos biodegradáveis como alternativa para produção de embalagens que não causem danos ao meio ambiente. Muitos polímeros provenientes de biomassa vêm sendo estudados, tais como a celulose e seus derivados, a quitina, a quitosana e o amido termoplástico. Porém, a origem natural desses materiais muitas vezes dificulta a padronização de propriedades como resistência mecânica e permeabilidade a gases (PLOTTEGHER; RIBEIRO, 2013).

Existem pesquisas na literatura que empregam os resíduos agroindustriais na criação de compósitos poliméricos biodegradáveis. Nos estudos de Farias *et al.* (2014), foram coletadas amostras de bagaço de mandioca de duas plantas industriais nos estados do Paraná e São Paulo, caracterizadas por meio de técnicas físico-químicas, térmicas e microscópicas, para produção de compósitos utilizando uma matriz de polietileno de baixa densidade (LDP); as misturas foram feitas com diferentes quantidades (10, 20 e 30%) de bagaço de mandioca. O compósito com 70% de LDP e 30% de bagaço de mandioca resultou em um aumento no módulo de elasticidade.

Nas pesquisas de Plotegher e Ribeiro (2013), foram produzidos compósitos poliméricos de amido termoplástico (TPS) reforçados com materiais de alta área superficial, a fim de verificar a variação nas propriedades do polímero. Os autores utilizaram sílica coloidal e uma zeólita do tipo ZSM-5, produzida em laboratório, em

teores de 2 a 10% em massa. A adição de ambos os materiais melhorou as propriedades mecânicas do TPS, apesar de nos maiores teores haver redução da qualidade das interfaces e das propriedades. No entanto, com a introdução da carga inorgânica, a permeabilidade ao vapor d'água foi reduzida em até 20% em comparação à permeabilidade do TPS.

Os autores Pereira *et al.* (2009) produziram compósitos de polihidroxibutirato (PHB) reforçados com resíduos do beneficiamento do café (casca e pergaminho do café); os compósitos foram preparados em diferentes concentrações de 5, 10 e 15% (p/p) utilizando o método de evaporação *casting*, obtendo-se uma mistura polimérica. A utilização do reforço (casca de café) com granulometria de 80 mesh e concentração de 15% em matriz PHB resultou no aumento da força de punctura do compósito obtido.

3.3.2 Principais análises para caracterização de biocompósitos

Com base em pesquisas na literatura, existem várias formas de analisar compósitos biodegradáveis. De acordo com as pesquisas de Nery, Santos e José (2018), foi desenvolvido um biocompósito a partir de PHB e 5 e 10% de fibra de bananeira (FB), sendo realizada sua caracterização térmica, mecânica e morfológica. Os autores observaram que nos compósitos produzidos com 5% da FB houve um leve acréscimo nas propriedades mecânicas, principalmente nas propriedades de resistência à tração e impacto.

Nos estudos de Santos, Passador e Montagna (2020), foi produzido um biocompósito polimérico de ácido polilático (PLA) reforçado com diferentes porcentagens (0, 5 e 15% m/m) de fibra de coco (FC) e borra de café (BC). As amostras foram caracterizadas pela análise visual, medidas de ângulo de contato, teste de absorção de água e envelhecimento na estufa, seguido do ensaio de resistência ao impacto Izod; também foi feita a caracterização morfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os autores concluíram que os valores de ângulo de contato mostraram um comportamento hidrofílico das amostras e que os compósitos foram mais suscetíveis à degradação térmica pelo teste de envelhecimento em estufa em comparação ao PLA puro, devido à natureza das cargas utilizadas. Também observaram que a umidade influenciou bastante na degradação hidrolítica das amostras, resultando na redução de resistência ao

impacto; porém o envelhecimento na estufa, resultou no leve aumento dos valores de resistência ao impacto.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Material

Foram fornecidos cerca de 5 kg de resíduo de processamento de batata da indústria Vapza Alimentos, localizada na cidade de Castro, no estado do Paraná, utilizados como matéria-prima.

Foram utilizadas as enzimas α -amilase (Thermamyl®), glicoamilase ou amiloglucosidase (AMG 300®), da empresa Novozymes e glicose oxidase (Quimiglic-Ox®), da empresa Ebram Produtos Laboratoriais. O amido e a glicerina foram adquiridos da VHTex. Foram utilizadas duas amostras de pectina, de alta e de baixa metoxilação, gentilmente doadas pela empresa Herbstreith & Fox, da Alemanha, bem como o emulsificante Emustab®, da empresa Selecta.

4.2 Caracterização química do resíduo

O teor de umidade do resíduo de batata ocorreu pela metodologia 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), com adaptação do método. O procedimento ocorreu em triplicata onde pesou-se cerca de 3 g de amostra em um cadinho previamente tarado e adicionou-se cerca de 1 g de celite; após isso, levou-se a amostra para estufa de secagem a 105 °C durante um período de 24 h. Após o resfriamento, pesou-se novamente as amostras. O teor de umidade foi quantificado através da equação 1:

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

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

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

O teor de amido do resíduo de batata foi calculado por meio da metodologia descrita por Araújo (2021) com adaptação do método, conforme descrito a seguir. A princípio foi pesado em 4 béqueres cerca de 1 g de resíduo de batata e diluído em 50 mL de solução tampão fosfato pH 6. Posteriormente adicionou-se 100 µL da enzima α-amilase (Thermamyl) aos béqueres, sendo estes colocados em banho-maria a 90 °C durante 30 min. Decorrido o tempo reacional, a temperatura do sistema foi reduzida para 60 °C e o pH das amostras foi ajustado para 4,5 utilizando H₂SO₄ 10% e com NaOH 10%, quando necessário; acrescentou-se 100 µL da enzima glicoamilase (AMG 300) e deixado em banho maria durante 24 h. A glicose do sobrenadante das amostras foi quantificada por meio do método enzimático glicose oxidase (GOD). Preparou-se uma solução de glicose com concentração de 10 mg/mL, sendo diluída em 4 vezes, em seguida retirou-se 100 µL da solução e colocado em seis tubos de ensaio e posteriormente adicionado 3 mL da enzima glicose oxidase (QUIMIGLIC-OX®); o procedimento ocorreu em duplicata. Os tubos de ensino foram levados à estufa de secagem a 37 °C durante 15 min e em seguida analisados no espectrofotômetro UV-Vis, a fim de se obter a curva de calibração da glicose. As alíquotas retiradas do sobrenadante das amostras foram colocadas em tubos de ensaio e diluídas em água destilada numa proporção de 1:10, sendo adicionado 3 mL da enzima glicose oxidase e posteriormente levadas à estufa de secagem a 37 °C durante 15 min. Decorrido este tempo, a absorbância das alíquotas foi medida em um espectrofotômetro UV-Vis para determinar o teor de glicose presente nas amostras e posteriormente o teor de amido em base seca. Para esta análise foi preparado 5 amostras, uma amostra contendo somente resíduo-solução fosfato (branco), e quatro amostras contendo enzimas.

O teor de amido foi quantificado de acordo com a seguinte equação:

$$Amido_{\text{peso seco}} (\%) = \frac{(GT - GR) \times V_t \times 100}{MSG \times 1,11} \quad (3)$$

Onde:

GT: concentração de glicose total (g L⁻¹);

GR: concentração de glicose residual (g L⁻¹);

V_t: volume total (L);

MSG: massa seca do resíduo (g).

O teor de celulose do resíduo de batata foi determinado em triplicata por meio da metodologia descrita por Rodrigues (2010). Foi pesado aproximadamente 1g de amostra pré-seca em tubos de ensaio, e em seguida adicionado cerca de 16,5 mL de solução do reagente ácido (ácido acético glacial + água destilada + ácido nítrico concentrado). Os tubos foram levados a banho-maria em ebulição durante trinta minutos para que ocorresse a digestão das proteínas e carboidratos. Após a digestão, os tubos foram retirados do banho maria e adicionou-se 20 mL de etanol e deixados em temperatura ambiente para esfriar. Posteriormente o material foi transferido quantitativamente para cadinhos de gooch, com o auxílio de uma pesseta contendo álcool. A parte líquida foi separada da parte sólida por meio do sistema de filtração à vácuo; após a filtração as amostras foram lavadas com 20 mL de etanol quente, 20 mL de benzeno quente e finalmente 20 mL de éter sulfúrico. Os cadinhos de gooch foram então levados à estufa a 105 °C durante 4 h para secar; decorrido o tempo de secagem foram resfriados em um dessecador e pesados. Finalmente foram levados à mufla a 550 °C, a fim de se obter o peso da celulose.

A análise de fibra insolúvel foi realizada seguindo a metodologia 985.29 da AOAC International (2005), de acordo com Freitas *et al.* (2008). A princípio ligou-se o banho Dubnoff em uma temperatura entre 95 e 100 °C. Pesou-se 5 amostras com cerca de 1 g, em um béquer, em seguida, adicionou-se 50 mL de solução tampão fosfato (pH = 6) em cada béquer e cobriu com papel alumínio. Os béqueres foram colocados em banho maria a 95-100 °C e agitados ocasionalmente durante 20 min. Após esse período, adicionou-se 0,1 mL da enzima Thermamyl (α -amilase) com o auxílio de um pipetador, exceto no branco. Cobriu-se novamente os béqueres com papel alumínio deixando-os em banho-maria a 95-100 °C por 35 min. Removeu-se as amostras do banho-maria, deixando-as esfriar à temperatura ambiente, e em seguida, ajustou-se o pH de cada amostra para aproximadamente 7,5, utilizando NaOH 5 % e HCl 5 %, quando necessário. Adicionou-se 0,1 mL da solução de protease e novamente os béqueres foram cobertos com papel alumínio e levados em banho maria a 60 °C por 30 min. As amostras foram removidas do banho, resfriadas em temperatura ambiente e o pH foi ajustado para aproximadamente 4,3. Adicionou-se 0,1 mL da solução de amiloglicosidase (AMG 300) e incubou-se as amostras por 30

minutos em banho-maria a 60 °C. A finalização da análise de fibra insolúvel correspondeu à filtração à vácuo das amostras em cadinhos de gooch, em seguida colocando-as em uma estufa a 100 °C durante 1 h, seguindo do resfriamento no dessecador e posteriormente a pesagem.

4.3 Desenvolvimento dos biocompósitos

Os resíduos foram encaminhados para a UTFPR campus Francisco Beltrão. Cerca de 4,3 kg do resíduo de batata foi acondicionado em tecido sintético e inserido em uma centrífuga (marca CONSUL), a 2800 rpm, para remoção parcial do volume de água, sendo denominado de resíduo úmido. Logo após esse processo, o material foi disposto em sacos herméticos e congelado para conservação, sendo descongelado aos poucos antes dos ensaios para produção do compósito.

Para a produção dos compósitos biodegradáveis foram feitos ensaios com diferentes proporções de plastificante (glicerol) e emulsificante comercial. Foram utilizadas, em alguns ensaios, quantidades fixas de amido solúvel e pectina de alta metoxilação. Inicialmente foram feitos pré-testes utilizando resíduo de batata proveniente de um restaurante local da cidade, com o objetivo de obter as melhores formulações para os compósitos e posteriormente aplicá-las para a produção utilizando o resíduo industrial de batata.

As proporções de ingredientes utilizados nos ensaios experimentais para a produção dos biocompósitos estão apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2- Quantidade de ingredientes utilizados para o desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis

Ensaio	Resíduo industrial de batata (g)	Amido solúvel (g)	Pectina de alta metoxilação (g)	Glicerol (g)	Emustab® (g)
1	100,08	5	0	5	2
2	100,05	5	0	6	2
3	100,96	5	10	7	3
4	100,69	5	10	8	3
5	100,62	5	10	9	3

Fonte: Autoria própria (2023)

Os procedimentos experimentais para a produção dos compósitos estão descritos conforme apresentado o Quadro 1.

Quadro 1- Ensaio para obtenção dos compósitos biodegradáveis a partir de resíduo de batata

Ensaio	Descrição
Ensaio 1	Foram adicionados 5 g de amido solubilizado aquecido a 85 °C, em 100 mL de água destilada, em uma amostra úmida de resíduo de cerca de 100 g. Em seguida, a amostra foi submetida a um processo de trituração em moinho de facas, com o objetivo de reduzir os pedaços maiores de casca a tamanhos menores. Adicionou-se o Emustab®, a glicerina e a pectina e misturou-se o material sob forte agitação em batedor elétrico com pás por 20 min; depois o material seguiu para agitação a 50 °C durante 30 min em agitador mecânico para retirada parcial da umidade e melhor homogeneização. Após isso, o material foi colocado em um molde retangular, com um pano tipo Perfex® disposto em uma das superfícies para reter a umidade do material. O compósito foi encaminhado para a estufa de secagem a 40 °C por 24 h.
Ensaio 2	Seguiu-se o mesmo procedimento experimental do ensaio 1, com adição 20 mL de água na etapa de trituração.
Ensaio 3	Foram adicionados 5 g de amido solubilizado aquecido a 85 °C, em 100 mL de água destilada, em uma amostra úmida de cerca de 100 g. Em seguida a amostra foi triturada com o auxílio de em moinho de facas. Logo depois foi adicionado Emustab® e misturado com o auxílio de um batedor elétrico com pás por 10 min. Após esse tempo foi adicionado a glicerina e a pectina e misturada por mais 10 min, misturou-se o material sob forte agitação em misturador elétrico com pás. A emulsão foi então encaminhada para agitação em um agitador mecânico a 70 °C para homogeneização e evaporação parcial da água. Em seguida foi disposta em um molde com formato circular envolto por um tecido sintético. O compósito foi então encaminhado para a estufa de secagem a 40 °C durante 24 h.
Ensaio 4	Seguiu-se o mesmo procedimento experimental do ensaio 3.
Ensaio 5	

Fonte: Autoria própria (2023)

As imagens do procedimento para o desenvolvimento dos biocompósitos estão apresentadas na Figura 1. A etapa 1 corresponde ao processo de mistura dos ingredientes (resíduo de batata, amido solúvel, pectina, glicerol e Emustab®). A etapa 2 consiste no processo de homogeneização e aquecimento da mistura, com o objetivo de incorporação de ar e remoção parcial da umidade. A etapa 3 refere-se ao processo de moldagem do material, quando foi distribuído o mais uniformemente possível em

um tecido sintético, sobre um molde circular. Por fim, a etapa 4 corresponde à etapa de secagem do material em uma estufa de secagem.

Figura 1- Etapas do processo de desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis a partir do resíduo industrial de batata



Fonte: Autoria própria (2023)

4.4 Análise dos biocompósitos

Foram selecionadas duas formulações dos biocompósitos aprimorados (ensaios 4 e 5), nas quais as características de coesão e textura foram mais interessantes para uso como embalagem para as análises em triplicata.

4.4.1 Determinação de cor

A avaliação de cor foi feita através do colorímetro com sistema CIEL L^* , a^* , e b^* , onde os dados de L^* referem-se à luminosidade ou brilho e podem variar do preto ao branco (0 a 100), de a^* do verde ao vermelho (-60 a +60) e os de b^* do azul ao amarelo (-60 a +60) (FIORDA *et al.*, 2013).

4.4.2 Espessura

Para a determinação da espessura foram realizadas vinte medições em um paquímetro digital profissional (resolução de 0,01 mm) e calculada a média aritmética para determinar o valor final, conforme Alves *et al.* (2015).

4.4.3 Propriedades mecânicas

Obteve-se as propriedades mecânicas dos biocompósitos com o auxílio de um texturômetro (marca Stable Micro System, modelo TA.XTPlus); as amostras foram cortadas em retângulos de 3 cm de largura e 5 cm de altura (ALVES *et al.*, 2015). Os parâmetros de tensão de ruptura (T_R) e alongamento (E) foram determinados de acordo com as equações 3 e 4:

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

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

Onde F_R é a força de ruptura dada em Newton (N), A é a área da seção transversal (m^2), D_I a distância inicial e D_R a distância de ruptura (cm), que representa a diferença entre a distância de separação no momento da ruptura.

4.4.4 Biodegradabilidade

O teste de biodegradabilidade foi realizado por meio do enterramento do biocompósito em um recipiente com terra, de acordo a norma ASTM 6400-99 (especificação padrão para plásticos compostáveis) sendo feitas algumas alterações. As amostras foram recortadas em dimensões de 5x3 cm. O material foi mantido sob o solo a 3 cm de profundidade durante um período de 5 semanas em condições ambientes, recebendo 100 mL de água quando fosse necessário. A cada semana, as amostras foram limpas e pesadas para que pudesse ser calculada a perda de massa em decorrência da ação dos microrganismos. (RODRIGUES, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Obtenção e caracterização da matéria-prima

A partir do processo de centrifugação da matéria-prima, foram obtidos 624,05 g de resíduo de batata. Durante o processo de centrifugação houve uma significativa perda de massa do resíduo, relativa à água livre removida.

A média e o desvio padrão dos dados da caracterização físico-química do resíduo de batata quanto aos teores de umidade, cinzas, amido, celulose e fibra insolúvel foram obtidos com o auxílio de um software e encontram-se dispostos na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização química do resíduo agroindustrial de batata

Umidade (%)	Cinzas (%)	Amido (%)	Celulose (%)	Fibra insolúvel (%)
71,13±0,77	1,46±0,02	55,5±0,02	30,02±7,25	26,05±1,70

Fonte: Autoria própria (2023)

O teor de umidade encontrado do resíduo de batata foi de $71,13 \pm 0,77\%$. O valor encontrado por Rodrigues (2020) foi próximo de $82 \pm 0,08\%$ (ambos em base úmida) para o subproduto da batata. Vale ressaltar que o resíduo de batata foi centrifugado, perdendo assim boa parte de água presente no mesmo.

Em relação ao teor de cinzas, foi encontrado um percentual de $1,46 \pm 0,02\%$ no resíduo industrial de batata. Segundo Favoretto (2005), os compostos inorgânicos ou minerais presentes na batata podem variar de acordo com o clima, local de plantio, armazenamento, variedade e maturação.

O resíduo industrial de batata apresentou um teor de amido de $55,5 \pm 0,02\%$, valor superior ao de Khawla *et al.* (2014) de $48,46 \pm 1,88\%$. Os autores estudaram as possibilidades de utilização do resíduo de casca de batata para produzir amilase, além da matéria-prima para produção de bioetanol a partir da hidrólise adequada. O valor também foi próximo ao encontrado por Rodrigues (2020), de $59,74 \pm 1,19\%$. Neste estudo, foi desenvolvido um material para embalagem biodegradável a partir de subprodutos de batata (*Solanum tuberosum* L.).

O teor de celulose encontrado no resíduo de batata foi de $30,02 \pm 7,25\%$. O valor encontrado para a celulose indica que está presente em quantidade significativa no resíduo de batata, o que possibilita sua extração e aplicação para a fabricação de produtos biodegradáveis a base de celulose.

Em relação ao percentual de fibra insolúvel, o resíduo de batata obteve um valor de $26,05 \pm 1,70\%$; valor relativamente alto comparado ao de Rodrigues (2020), que obteve um percentual de $12,58 \pm 0,18\%$.

É importante ressaltar que a composição química de cada resíduo de batata pode ser afetada por vários fatores como a região de plantio, o clima e armazenamento.

5.2 Perfil dos compósitos

5.2.1 Formação dos compósitos

Para que os compósitos fossem desenvolvidos, foram realizados pré-testes com aplicação de diferentes proporções de resíduo de batata, emulsificante e glicerol; porém os compósitos obtidos dos pré-testes apresentavam rachaduras, quebrando facilmente, não sendo possível nem mesmo sua retirada do molde devido seu esfarelamento. Os ensaios que apresentaram resultados promissores foram os que tiveram a adição também de amido e pectina de alta metoxilação (ensaios 3, 4 e 5).

Os compósitos desenvolvidos de acordo com os ensaios 4 (à esquerda) e 5 (à direita) podem ser observados na Figura 2.

Figura 2- Compósitos produzidos a partir do resíduo de batata



Fonte: Autoria própria (2023)

Os ensaios seguiram praticamente a mesma metodologia, variando as proporções de emulsificante e glicerol. Notou-se que a aplicação da pectina de alta metoxilação proporcionava um compósito mais maleável, em comparação aos compósitos desenvolvidos somente com emulsificante e glicerol; a pectina é responsável por promover um aumento da viscosidade e funciona como um colóide estabilizante (CANTERI *et al.*, 2012). A medida também que era aumentada a proporção de glicerol, notou-se que o compósito ganhava mais resistência e flexibilidade, facilitando assim sua retirada do molde.

5.2.2 Coloração

Os resultados da análise colorimétrica dos compósitos 1 e 2 (ensaios 4 e 5) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Análise colorimétrica dos compósitos biodegradáveis de resíduo de batata

Compósitos	L*	a*	b*
1	59,32±1,20	3,77±0,20	14,60±1,02
2	57,08±0,21	4,61±0,11	15,45±0,43

Fonte: Autoria própria (2023)

Os valores de L*, a* e b* representam as coordenadas de cores no sistema CIEL. Os valores das coordenadas para ambos os compósitos foram bem próximos, indicando que eles apresentaram cores bastante semelhantes, como é observado na Figura 3.

Figura 3- Compósito 1 (à esquerda) e compósito 2 (à direita)



Fonte: Autoria própria (2023)

O valor de L^* indica o quanto o material aproxima sua coloração para o claro ou escuro. O compósito 1 apresentou uma luminosidade (L^*) de $59,32 \pm 1,20$ ligeiramente maior em relação ao compósito 2, que apresentou um valor de $57,08 \pm 0,21$. Os valores de a^* e b^* indicam as coordenadas cromáticas dos compósitos em relação as cores verde/vermelho e azul/amarelo.

5.2.3 Ensaios mecânicos

Os resultados das análises de espessura, tensão de ruptura e alongamento dos compósitos 1 e 2 (ensaios 4 e 5) estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5- Espessura, tensão de ruptura e alongamento dos compósitos poliméricos biodegradáveis

Compósitos	Espessura (mm)	Tensão de ruptura (kPa)	Elongamento (%)
1	1,12±0,10	100,27±5,77	14,67±0,35
2	1,16±0,23	48,40±0,82	13,48±0,24

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com a Tabela 5, a espessura dos compósitos não diferiu significativamente. A tensão de ruptura do compósito 1 foi de $100,27 \pm 5,77$ kPa, valor praticamente duas vezes maior que o obtido no compósito 2, apresentando um valor de $48,40 \pm 0,82$ kPa. Essa diferença pode estar relacionada com a espessura das amostras dos compósitos que foram analisadas no texturômetro. Apesar do compósito 2 apresentar uma tensão de ruptura mais baixa, ele também demonstrou ser bastante resistente.

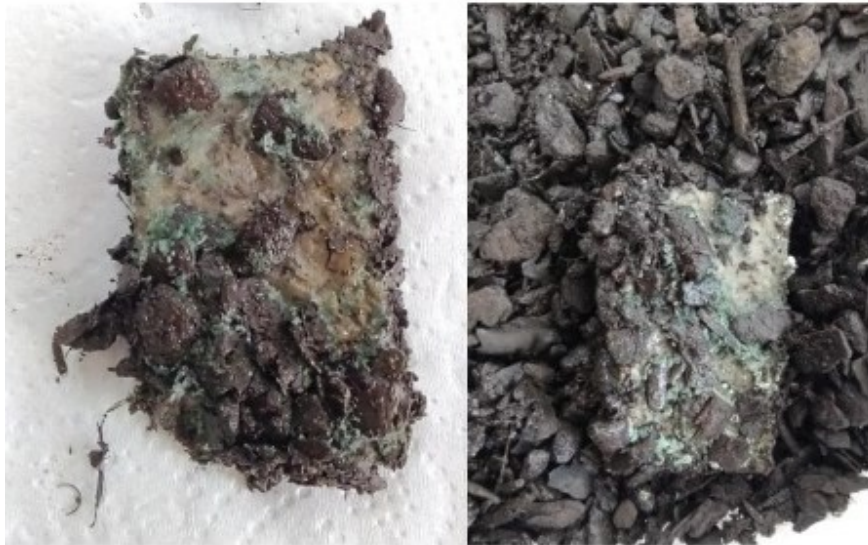
O compósito 1 demonstrou um percentual de alongamento bem próximo do compósito 2, indicando que a maleabilidade e flexibilidade de ambos são bem próximas, devido a quantidade de glicerol utilizada na fabricação dos materiais biodegradáveis, uma vez que o glicerol interage com as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular, tornando-os mais flexíveis (MALI *et al.*, 2005). Em seus estudos, Marengo, Vercelheze e Mali (2013), encontraram percentuais de alongação para os compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e fibra de coco armazenados a 90% de umidade relativa, nomeados como FC10 e FC20, os valores de 15,84 e 15,99%. Esses autores desenvolveram compósitos biodegradáveis

utilizando amido de mandioca e resíduos agroindustriais como fibra de coco, farelo de soja e bagaço de cana-de-açúcar e estudaram as propriedades físicas e mecânicas desses materiais.

5.2.4 Biodegradabilidade

Em relação à biodegradabilidade, observou-se que a ação dos microrganismos foi o principal mecanismo para degradação dos compósitos 1 e 2, como é observado na Figura 4.

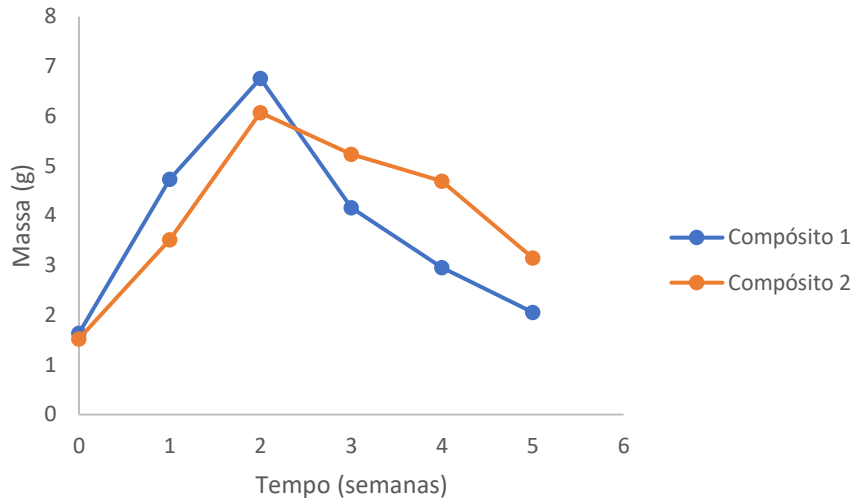
Figura 4- Degradação dos compósitos poliméricos de resíduo de batata em decorrência da ação de microrganismos (fungos)



Fonte: Autoria própria (2023)

Nas duas primeiras semanas, ocorreu um aumento de massa nas amostras, devido à retenção de água, como é possível observar no gráfico apresentado na Figura 5. Esse inchaço pode ser explicado pela reação de hidrólise do amido, uma vez que os grupos hidroxilas das moléculas de amido podem ter reagido com as moléculas de água presentes no solo, decorrente da pulverização, de acordo com Rodrigues (2020).

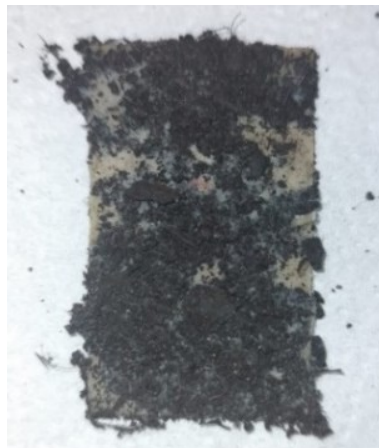
Figura 5- Gráfico da perda de massa dos compósitos de resíduo de batata em função do tempo



Fonte: Autoria própria (2023)

Os compósitos foram desenterrados e pesados a cada 7 dias, e já na primeira semana encontrou-se dificuldade em separar a amostra do substrato devido à alta aderência ao solo conforme também é relatado por Rodrigues (2020) em sua pesquisa; explicando também o aumento de massa das amostras, conforme observado na Figura 6.

Figura 6- Compósito de resíduo de batata após a 1ª semana de análise



Fonte: Autoria própria (2023)

O resultado da análise também pode ser observado de acordo com a imagem apresentada na Figura 7.

Figura 7- Compósitos de resíduo de batata após a 5ª semana de análise



Fonte: Autoria própria (2023)

O longo período de degradação das amostras pode estar relacionado a fatores como o clima, pois no período em que o teste de biodegradabilidade estava sendo realizado, o clima chuvoso e as baixas temperaturas não permitiam a evaporação da água presente no substrato, diminuindo assim a atividade de decomposição pelos microrganismos.

6 CONCLUSÃO

Com base nas análises feitas no resíduo de batata, foi possível encontrar um percentual de umidade de 71,13% e uma boa parcela de amido (55,5%), além de uma quantidade significativa de celulose (30,02%). O valor encontrado para o desvio padrão da celulose, em comparação aos das demais análises do resíduo de batata destaca a importância de realizar mais análises a fim de garantir resultados mais precisos do teor de celulose.

Com base na coloração, ambos os compósitos apresentaram valores bem próximos das coordenadas cromáticas, indicando que apresentaram uma coloração muito próxima entre eles. Em relação aos ensaios mecânicos, a metodologia utilizada para fabricar os compósitos demonstrou eficácia. O compósito 1 apresentou um desempenho significativo quanto aos ensaios de tensão de ruptura e alongação, no qual apresentou mais maleabilidade e flexibilidade. E por fim, quanto ao teste de biodegradabilidade, ambos os compósitos iniciaram o processo de perda de massa a partir da 3ª semana, apresentando um bom desempenho quanto ao processo de degradação.

A partir das análises feitas nos compósitos, foi possível concluir que o resíduo industrial de batata apresenta um grande potencial para a fabricação de compósitos poliméricos biodegradáveis, além de apresentar características promissoras para substituir embalagens plásticas convencionais. Contudo, é necessário que sejam realizadas mais pesquisas, testando novas formulações e proporções de outros ingredientes a fim de aprimorar o desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis.

REFERÊNCIAS

- 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, 2015. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/227-32908-250651.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International, 2005.
- ARAÚJO, L. L. de. **Otimização da produção de amilases recombinantes para hidrólise de amido de mandioca visando produção de etanol**. 2021. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8344#preview-link2>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- CANTERI, M. H. G. *et al.* Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.
- COELHO, M. A. Z. *et al.* Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 33-42, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/414064>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- CORRADINI, E. *et al.* Amido Termoplástico. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/30796/amido-termoplastico>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- FALCONE, D. M. B.; AGNELLI, J. A. M.; FARIA, L. I. L. de. Panorama setorial e perspectivas na área de polímeros biodegradáveis. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 5-9, 2007.
- FARIAS, F. O. *et al.* Characterization of cassava bagasse and composites prepared by blending with low-density polyethylene. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, v. 57, n. 6, p. 821-830, 2014.
- FAVORETTO, P. **Parâmetros de crescimento e marcha de absorção de nutrientes na produção de minitubérculos de batata cv. Atlantic**. 2005. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7b9c/4bd1f545733530777a50315b8b100649d801.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- FERNANDES, A. F. *et al.* Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum Lineu*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 56-65, 2008.

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

FREITAS, S. C. de *et al.* **Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/416714>. Acesso em: 02 ago. 2023.

GIACOVELLI, C. *et al.* Single-use plastics: A roadmap for sustainability (rev. 2). 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>. Acesso em: 07 ago. 2023.

GÓMEZ, I. D. L.; ESCOBAR, A. S. The dilemma of plastic bags and their substitutes: A review on LCA studies. **Sustainable Production and Consumption**, v. 30, p. 107-116, 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Método físico-químicos para análise de alimentos. 2008. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/ial/publicacoes/livros/metodos-fisico-quimicos-para-analise-de-alimentos>. Acesso em: 01 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), Produção agrícola-lavoura temporária. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/0>. Acesso em: 01 ago. 2023.

KHAWLA, B. J. *et al.* Potato peel as feedstock for bioethanol production: A comparison of acidic and enzymatic hydrolysis. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 144-149, 2014.

MALI, S. *et al.* Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n 3, 2005.

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

MARENGO, V. A.; VERCELHEZE, A. E. S.; MALI, S. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, v. 36, n 5, p. 680-685, 2013.

NERY, T. B. R.; SANTOS, Z. I. G. dos; JOSÉ, N. M. Desenvolvimento e caracterização de biocompósitos de polihidroxibutirato e fibra de bananeira. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. de O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

PEREIRA, L. *et al.* Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis de PHB e resíduos do beneficiamento de café. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Foz do Iguaçu, 2009. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/1281.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2023.

PLASTICS EUROPE. Plastics-the Facts 2019: an analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe: Association of Plastics Manufacturers, Brussels, 2019. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2019/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

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**, v. 23, n. 2, p. 236-241, 2013.

RODRIGUES, N. H. P. **Embalagem de espuma à base de amido desenvolvida a partir do subproduto da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5115>. Acesso em: 01 ago. 2023.

RODRIGUES, R. C. Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos. Pelotas: Embrapa Clima temperado, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/884390/metodos-de-analises-bromatologicas-de-alimentos-metodos-fisicos-quimicos-e-bromatologicos>. Acesso em: 01 ago. 2023.

SALLES, L. A. Mercado mundial. **Revista Cultivar**, 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/mercado-mundial>. Acesso em: 02 ago. 2023.

SANTOS, E. B. dos; PASSADOR, F. R.; MONTAGNA, L. S. Influência de fatores ambientais nas propriedades mecânicas de biocompósitos de PLA reforçado com fibra de coco e borra de café. **Tecno-lógica**, v. 24, n. 1, p. 93-102, 2020.

SILVA, G. O. da; LOPES, C. A. Sistema de produção de batata. Embrapa, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132923/1/Sistema-de-Producao-da-Batata.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2023.

WU, D. Recycle technology for potato peel waste processing: A review. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 103-107, 2016.