

Efeitos da adição de casca de arroz na foto e biodegradação de biopolímeros em pectina termoplastificada

Effects of rice hull addition on photodegradation and biodegradation of biopolymers in thermoplastified pectin

Efectos de la adición de cáscara de arroz en la fotodegradación y biodegradación de biopolímeros en pectina termoplastificada

Recebido: 05/06/2023 | Revisado: 18/06/2023 | Aceitado: 19/06/2023 | Publicado: 23/06/2023

Juliana Belani

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0588-8645>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: belanijuliana@gmail.com

Josiane Matias Tessmer

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5940-7352>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: tessmerjosiane@gmail.com

Laura Coelho Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7309-217X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: laurinha.almeida01@gmail.com

Anita Dutra Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3517-9568>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: anitadutra8@gmail.com

Ana Carolina Salgado de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1928-2856>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: anacarolengalimentos@gmail.com

Marcelo Möller Alves

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6140-8548>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Brasil
E-mail: marceloalves@ifsul.edu.br

Soraia Vilela Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1612-1363>

Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: sborges@ufla.br

Anômora Ariane Rochido dos Santos Cotta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7535-3132>

Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: arianerochido@gmail.com

Resumo

O alto consumo de plásticos sintéticos vem trazendo diversos impactos nocivos, dessa forma, o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis torna-se importante e necessário. A produção de biopolímeros utilizando compostos como a pectina e a sílica, vem apresentando grande potencial de aplicação. A casca de arroz por ser uma fonte complementar de sílica está sendo usada como reforço mecânico. Este estudo teve como objetivo preparar e caracterizar filmes de pectina incorporados com casca de arroz e sílica, a fim de melhorar suas propriedades com foco na foto e na biodegradação. E assim, avaliar os efeitos da adição desses componentes na permeabilidade à vapor de água (PVA), propriedades mecânicas, espessura, cor, fotodegradação e biodegradação. Os filmes foram caracterizados e os resultados mostraram que a adição da casca de arroz e da sílica fez com que os biopolímeros tivessem diferença de cor perceptível ao olho humano (ΔE entre 1,5 e 5,0). As amostras se mostraram amareladas e avermelhadas e com luminosidade intermediária. A incorporação da casca de arroz e sílica provocou aumento na espessura e na PVA. Foi observado que com essa adição, a resistência à tração e o alongamento na ruptura diminuíram, e o módulo de elasticidade aumentou. Os resultados mostraram que os filmes apresentaram alta taxa de biodegradação e baixa taxa de fotodegradação, ou seja, são capazes de resistir a ação da luz sem alterar sua biodegradação. Assim, foi possível

observar que os filmes de pectina e casca de arroz ou pectina e sílica possuem viabilidade de aplicação em diversas áreas.

Palavras-chave: Sílica; Casca de arroz; Fotodegradação; Biodegradação; Polímeros naturais.

Abstract

The high consumption of synthetic plastics has brought several harmful impacts; thus, the development of biodegradable packaging becomes important and necessary. The production of biopolymers using compounds such as pectin and silica has shown great potential for application. Rice husk, as a complementary source of silica, is being used as a mechanical reinforcement. This study aimed to prepare and characterize pectin films incorporated with rice husk and silica, in order to improve their properties with a focus on photo and biodegradation. And so, to evaluate the effects of adding these components on water vapor permeability (WVP), mechanical properties, thickness, color, photodegradation and biodegradation. The films were characterized and the results showed that the addition of rice husk and silica caused the biopolymers to have a perceptible color difference to the human eye (ΔE between 1.5 and 5.0). The samples were yellowish and reddish and with intermediate luminosity. The incorporation of rice husk and silica caused an increase in thickness and WVP. It was observed that with this addition, the tensile strength and elongation at break decreased, and the modulus of elasticity increased. The results showed that the films showed a high rate of biodegradation and a low rate of photodegradation, that is, they are able to resist the action of light without altering their biodegradation. Thus, it was possible to observe that the films of pectin and rice husk or pectin and silica have the feasibility of application in several areas.

Keywords: Silica; Rice husk; Photodegradation; Biodegradation; Natural polymers.

Resumen

El elevado consumo de plásticos sintéticos trae muchos impactos nocivos, así desarrollo de envases biodegradables se vuelve necesidad actual. La producción de biopolímeros a partir de compuestos como la pectina y la sílice ha mostrado gran potencial de aplicación. La cáscara de arroz, rica en sílice, puede ser usada como refuerzo mecánico. Este estudio tuvo como objetivo preparar y caracterizar películas de pectina incorporadas con cáscara de arroz y sílice, con el fin de mejorar sus propiedades con enfoque en fotodegradación y biodegradación. Y así, evaluar los efectos de la adición de estos componentes sobre la permeabilidad al vapor de agua (PVA) propiedades mecánicas, espesor, color, fotodegradación y biodegradación. Las películas se caracterizaron y los resultados mostraron que la adición de cascarilla de arroz y sílice provocó que los biopolímeros tuvieran diferencia de color perceptible al ojo humano (ΔE entre 1,5 y 5,0). Las muestras fueron amarillentas, rojizas y con luminosidad intermedia. La incorporación de cascarilla de arroz y sílice provocó un aumento de espesor y PVA. Se observó que con esta adición llevo a una menor resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura, y aumentó el módulo de elasticidad. Además, los resultados mostraron que las películas presentaron alta tasa de biodegradación y baja tasa de fotodegradación, ser son capaces de resistir la acción de la luz sin alterar su biodegradación. Por lo tanto, fue posible observar que las películas de pectina y cáscara de arroz o pectina y sílice tienen viabilidad de aplicación en diversas áreas.

Palabras clave: Sílice; Cáscara de arroz; Fotodegradación; Biodegradación; Polímeros naturales.

1. Introdução

Os plásticos se tornaram essenciais no cotidiano do ser humano, eles são uma tecnologia de baixo custo e possuem estabilidade química para um vasto espectro de compostos químicos. Por esse motivo, os mesmos são utilizados como insumo na fabricação de diversos materiais, embalagens e recipientes em diferentes setores, como por exemplo, o setor alimentício, o setor de saúde, o setor industrial e o setor agrícola (de Oliveira et al., 2021; de Oliveira Begali et al., 2021).

Dependendo da propriedade dos compostos que formam os plásticos, existe imensa preocupação em relação a poluição por gases de efeito estufa, perda na biodiversidade marinha, liberação de elementos químicos cancerígenos e contaminação dos diversos recursos naturais terrestres (de Oliveira et al., 2021; de Oliveira Begali et al., 2021). O Ministério do Meio Ambiente, contabilizou que, no Brasil, aproximadamente um quinto do lixo é composto por embalagens, e cerca de 25 mil toneladas de embalagens são depositadas nos aterros e lixões, o que contribui para o esgotamento dos mesmos e acaba favorecendo a depreciação do meio ambiente (Mattiello et al., 2021; Ministério do Meio Ambiente, 2005). Os resíduos de plástico também devem quase triplicar até 2060, com metade de todos os resíduos de plástico ainda sendo aterrados e menos de um quinto reciclado (Co-operation & Development, 2022).

Por possuir ótimos custo e benefício, assim como um grande potencial de aplicação e ser de fácil obtenção, o aumento

de consumo dos polímeros sintéticos vem crescendo nos últimos anos, principalmente em objetos de rápida circulação. Logo, vê-se à necessidade de explorar novas tecnologias para garantir essa demanda crescente e que, de alguma forma, amenizem os impactos gerados pela disposição incorreta dos resíduos que não são biodegradáveis (Nascimento et al., 2018).

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis se fez necessária com o aumento do interesse em diminuir os impactos nocivos provenientes do alto consumo de plásticos. Os polímeros biodegradáveis possuem um período menor de degradação quando comparado aos polímeros sintéticos. Essa degradação, quando em condições favoráveis, pode ocorrer em semanas ou meses pela ação de microrganismos, como as algas, fungos e bactérias (Araújo et al., 2021; de Castro e Silva et al., 2020; de Oliveira et al., 2021).

Algumas propriedades dos polímeros biodegradáveis, como o desempenho mecânico, estabilidade térmica e a capacidade filmogênica, fazem com que os mesmos sejam capazes de competir com os polímeros sintéticos (de Castro e Silva et al., 2020; de Oliveira et al., 2021). Nesse âmbito, compostos como a pectina, celulose, quitosana são utilizados na produção dos polímeros biodegradáveis, sendo a pectina e a celulose os que apresentam grande potencial para essa aplicação, pois os mesmos são biocompatíveis e biodegradáveis (Franco, 2019).

A pectina é um polissacarídeo atóxico e solúvel em água encontrado em cascas e polpas de frutas, em sementes de girassol e até mesmo na polpa da beterraba (de Castro e Silva et al., 2020; Thakur et al., 1997), e é utilizada na indústria alimentícia como agente espessante, pois promove um aumento de viscosidade nos alimentos. Contudo, os filmes de pectina possuem uma limitação quanto a sua utilização em embalagens quando comparados aos polímeros sintéticos, os mesmos exibem propriedades mecânicas baixas comparadas aos polímeros tradicionais (de Camargo et al., 2013; de Castro e Silva et al., 2020; Moraes, 2020; Ribeiro, 2022). Por tanto, para contornar essa limitação, uma das estratégias é a possibilidade de incorporar a casca de arroz como reforço mecânico.

A casca de arroz é um resíduo vegetal definida como a capa lenhosa do grão, e em base anidra é composta por aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica. A sua utilização principal é como fonte de energia na alimentação de fornalhas, já que a mesma propicia temperaturas de até 1000 °C, mas também é utilizada como aterro, uma solução considerada insatisfatória tanto ambientalmente, quanto economicamente (Antônio et al., 2018; Della et al., 2005). São gerados, por ano, milhões de metros cúbicos de casca de arroz, que quando depositadas amontoadas no solo, podem levar anos para se decompor, pois possuem uma lenta biodegradação, o que acaba ocasionando um grande estrago ao meio ambiente (Antônio et al., 2018; Della et al., 2005; Gamboa et al., 2021).

No processo do beneficiamento do arroz, além da geração da casca de arroz (CA), há a geração da cinza da casca de arroz (CCA), um resíduo que contém alto teor de sílica (~92%), esse alto percentual resulta na valorização da CCA. Logo, se a mesma for utilizada, de forma indireta ou direta, para fins comerciais, se fechará o ciclo da industrialização do arroz, dessa forma, a matéria-prima seria totalmente aproveitada (de Andrade Feitosa, 2015; Hoffmann et al., 2002). A sílica está presente tanto na casca de arroz quanto nas cinzas da casca de arroz, e pode ser obtida utilizando diferentes soluções ácidas em variadas concentrações, através do tratamento físico-químico e em seguida efetuando a queima da parte orgânica em determinados ciclos. (De Souza et al., 2002; Yalcin & Sevinc, 2001)

A adição da casca de arroz em plásticos biodegradáveis vem sendo estudada (Apolonio et al., 2020; Donati, 2022). Além disso, a adição da cinza da casca de arroz em polímeros biodegradáveis vem sendo utilizada como fonte complementar de sílica. Assim como a casca de arroz, a cinza da casca de arroz apresenta fibras em sua estrutura, o que faz com que esse resíduo da agroindústria apresente grande potencial para o uso na produção dos biopolímeros como reforço mecânico. Em acréscimo, esse subproduto do beneficiamento do arroz, que apresenta baixo valor comercial e com grandes quantidades produzidas anualmente, ganharia uma aplicação e receberia um destino ecologicamente correto (Correa, 2020; da Silva et al.,

2020; Mateus et al., 2021; Pachla, 2022; Steudner et al., 2004).

Assim sendo, esse trabalho visa avaliar o efeito da adição de diferentes concentrações da casca de arroz em biopolímeros de pectina termoplastificada, focalizando em como a casca de arroz altera as propriedades de foto e biodegradação. Por conseguinte, avaliar uma nova possível utilização da casca de arroz, viabilizando seu uso de uma forma sustentável e economicamente satisfatória.

2. Metodologia

2.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram: Pectina da Dinâmica Química Contemporânea (São Paulo, Brasil) com 75,5% de graus de esterificação; glicerol produzido pela Sigma Aldrich (São Paulo, Brasil) com 99,5% de pureza; e casca de arroz adquirido de indústrias beneficiadoras locais de arroz.

2.2 Moagem da casca de arroz

A casca de arroz foi submetida à moagem com o auxílio de moinhos de facas (capacidade de processamento de 15 kg/h – composição de 4 facas fixas e 4 móveis). Após isso, a casca de arroz moída foi peneirada, por 5 minutos, através peneira 40 ASTM/35 mesh (Bertel, Caieiras, Brasil) utilizando agitador granulométrico redondo (Pavitest, Belo Horizonte, Brasil) para separação e obtenção do tamanho de partícula desejado.

2.3 Obtenção de Sílica a partir da Cinza de Casca de Arroz

Segundo a metodologia apresentada por Fernandes et al. (2014) com modificações, a sílica extraída a partir da cinza de casca de arroz foi obtida. Para a produção, pesou-se 60,0 g de casca do arroz previamente seca em estufa. Em seguida, a casca foi diretamente calcinada a 700 °C por 2 h, suficiente para remover a matéria orgânica e resultar em dióxido de silício (sílica), além de outros óxidos em menor teor, tais como os de ferro, magnésio, manganês, sódio e potássio.

2.4 Produção do Filme

Os filmes de pectina termoplastificada foram preparados por método de casting conforme metodologia adaptada por de Oliveira et al. (2021). A preparação do filme iniciou com a dissolução em solução aquosa de 7% p/p pectina e 3% p/p de glicerol. A solução foi submetida à agitação magnética de 750 rpm à temperatura de 60 °C até a completa solubilização da pectina. Após, a temperatura foi elevada a 85 °C e mantida a agitação magnética por 5 minutos, o que proporcionou a termoplastificação da pectina. Por fim, 50 mL da solução foram vertidas em placas de acrílico de dimensões 14 cm de diâmetro e armazenadas por 48h para completa evaporação do solvente.

Nos filmes contendo casca de arroz ou sílica extraída a partir da casca de arroz, os mesmos foram adicionados juntos com a pectina e o glicerol e estavam presentes em concentrações de 1 e 2% em relação a massa total de pectina.

2.5 Armazenamento dos Filmes

Os filmes foram armazenados em estufa incubadora BOD (Biochemical Oxygen Demand) a temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de 50 ± 5 % utilizando metodologia específica ASTM-D618 (2000).

2.6 Caracterização dos Filmes

a) Espessura

A espessura dos filmes é definida como a distância perpendicular entre duas superfícies principais do material. Conhecendo-se a espessura é possível obter informações sobre a resistência mecânica e as propriedades de barreira aos gases e ao vapor d'água do material (Oliveira et al., 1996).

A avaliação da espessura média dos filmes foi realizada utilizando-se micrômetro digital (Mitutoyo, Mitutoyo 0.01 mm, Suzano, Brazil) em 5 pontos distintos das amostras e os resultados foram expressos em milímetros (mm).

b) Cor

Parâmetros colorimétricos foram determinados com o Sistema CIELab em Espectrofotômetro Konica Minolta, modelo CR-10 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) com luz fonte D65 e ângulo de observação de 10° no modo de refletância especular incluída. A diferença de cor total (ΔE) dos filmes foi determinada pela Equação 1:

$$\Delta E = \sqrt{(L1 - L2)^2 + (a1 - a2)^2 + (b1 - b2)^2} \quad (1)$$

onde L1 é o valor da cor de referência de L, a1 é o valor de referência de a*, b1 é o valor de referência de b*, L2 é o valor de L medido da amostra, a2 é o valor de a* medido da amostra e b2 é o b* valor medido da amostra.

c) Permeabilidade ao Vapor de Água

A análise da Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) foi realizada pelo método gravimétrico (ASTM-E96/E96M, 2016). Neste método, as amostras foram cortadas em forma de discos com raio de 5,25 mm e fixadas em frasco Âmbar de 20 mL preenchido com 15 mL de sílica-gel. Os frascos foram selados com plástico parafínico com perfuração com diâmetro de área de permeação do frasco (Guimarães et al., 2015). Os frascos selados foram armazenados em dessecadores com uma solução saturada de NaCl em controle de temperatura de 23 ± 1 °C e umidade relativa de 75 ± 3 %. Os frascos foram pesados em intervalos de 1 hora nas primeiras 4 horas e nas últimas 4 horas durante 24 horas. A taxa de transmissão de vapor de água (TPVA) foi calculada pela Equação 2:

$$TPVA = G/t \cdot A \text{ (gramas de água por m}^2 \text{ e dia)} \quad (2)$$

onde G/t é a massa de água por dia (em gramas) e A é a área de transmissão de vapor da amostra (m²). PVA foi obtido pela Equação 3:

$$PVA = \frac{TPVA \cdot e}{\rho_s \cdot (UR_1 - UR_2)} \quad (3)$$

onde e é a espessura média da amostra (mm), ρ_s é a pressão de saturação do vapor d'água na temperatura de teste (3,16 kPa), UR1 é a umidade relativa da câmara de teste e UR2 é a umidade relativa da amostra.

d) Análise Mecânica de Tração

Parâmetros de módulo de elasticidade (ME), resistência à tração (RT) e alongamento na ruptura (ALR) foram usados para obter propriedades mecânicas relevantes. ASTM-D882 (2002) foi usado para determinar as propriedades mecânica com amostras pré-preparadas e cortadas em tiras com 10 cm². As medidas foram realizadas com a separação inicial das garras de 50 mm e a velocidade das garras foi de 0,8 mm/s. Para isso foi usado o Analisador de Textura Micro System modelo TATX2i

(Inglaterra) com carga celular de 1 kN. O ME (MPa) foi calculado traçando-se uma tangente à curva de tração x deformação na região linear (elástica), e calculou-se a razão entre a tensão e a deformação correspondente. A RT (MPa) foi determinada pela divisão da força máxima pela seção transversal do corpo de prova. E a porcentagem de ALR (%) foi medida pela relação entre o alongamento do corpo de prova e seu comprimento inicial.

e) Biodegradação

Os filmes de pectina sem e com diferentes concentrações de casca de arroz e sílica foram cortados em quadrados de 2 cm de lado. Os mesmos foram enterrados em recipientes plásticos transparentes com capacidade de 300 mL contendo solo previamente preparado conforme descrito em ASTM (2003). Os recipientes contendo solo e amostra dos filmes foram armazenados em ambiente com temperatura média de 25 °C e estavam expostos ao fotoperíodo natural. A verificação da biodegradação ocorreu por análise qualitativa visual e por análise quantitativa através de perda de massa (de Castro e Silva et al., 2020). Para isso, os filmes eram desenterrados, limpos com um pincel para retirar o solo aderidos as amostras, pesados e enterrados novamente nos mesmos recipientes. Essa sequência foi repetida a cada 07 dias até que todas as amostras fossem completamente degradadas e se deu por finalizada a análise.

f) Fotodegradação

Fotodegradação é a perda de propriedades de um material por exposição à luz. Depende da existência de um grupo cromóforo no polímero (ou em seus aditivos). A fotodegradação é determinada pela propriedade de absorção de luz do polímero (fração da luz incidente que o polímero é capaz de absorver) e pela interação da luz absorvida com o material, que varia de acordo com o comprimento de onda (Valadez-Gonzalez & Veleza, 2004).

A absorção desta radiação, causa uma excitação eletrônica que pode ocorrer por incidência de luz solar ou por outras importantes fontes de luz, como as lâmpadas usadas na iluminação artificial. Esta absorção pode ocasionar a quebra das ligações C-C e C-H, através de um processo homolítico, que originará radicais livres (Ammala et al., 2011).

A análise de fotodegradação foi desenvolvida com base na metodologia apresentada por Oliveira et al. (2019). Os filmes foram colocados em duas câmaras de fotodegradação construída de polietileno, revestida internamente com papel alumínio e com as seguintes dimensões: 0,45 m de comprimento, 0,33 m de largura e 0,15 m de altura. As câmaras eram um sistema fechado com fonte de luz UV-A de 9W e 6500K, temperatura ideal que se assemelha a luz do dia, funcionando 24h por dia. Amostras de filmes de 2 cm de lado foram armazenadas nas câmaras e eram retiradas das mesmas a cada 07 dias por 21 dias para caracterização quanto a perda de massa.

g) Análise Estatística

Os filmes foram produzidos em triplicata conforme Tabela 1. A análise estatística dos filmes foi feita por Análise de Variância (ANOVA), utilizando o Software SISVAR (versão 5.6) (Ferreira, 2014) com nível de significância $p < 0,05$ e os resultados foram comparados com o teste de Tukey. As curvas de perda de massa foram analisadas no software Excel.

Tabela 1 - Delineamento experimental de filmes de pectina, casca de arroz e sílica em diferentes concentrações.

Amostras	Concentrações			
	Pectina (%p/p)	Glicerol (%p/p)	Casca de Arroz (%p/p)*	Sílica (%p/p)*
0	7	3	0	0
C1	7	3	1	0
C2	7	3	2	0
S1	7	3	0	1
S2	7	3	0	2

* - valores com base na massa de pectina. Fonte: Autores.

Na Tabela 1, foi possível observar que os valores de pectina e glicerol foram iguais em todas as formulações, já os valores de casca de arroz e sílica variaram em 0, 1 e 2% em relação a massa da pectina.

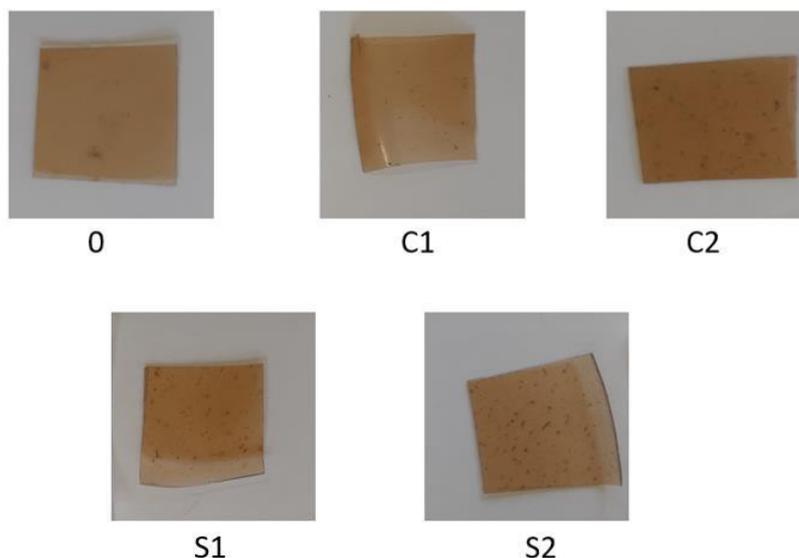
3. Resultados e Discussão

a) Espessura

As espessuras médias dos biopolímeros de pectina produzidos com diferentes porcentagens de casca de arroz e sílica (Figura 1) utilizados no ensaio foram apresentadas na Tabela 2. Os resultados mostraram valores diferentes de espessura para cada amostra. Além disso, a adição de casca de arroz e sílica provocou um aumento na espessura com o aumento da concentração desses aditivos, porém, as mesmas são estatisticamente iguais ($p < 0,05$) entre si. Dessa forma, é possível observar que a adição de sílica e casca de arroz, nas concentrações utilizadas, não foi capaz de alterar as espessuras de forma significativa.

de Oliveira Begali et al. (2021), produziram blendas poliméricas de amido/pectina/micropartícula de lignina por casting e extrusão termoplástica. Os autores observaram que a espessura dos filmes não teve uma alteração significativa para as blendas poliméricas de diferentes concentrações de amido e pectina. Mas que, com o aumento da concentração dos aditivos, a espessura apresentou aumento. Eles atribuíram tal comportamento ao fato de filmes de pectina com adição de lignina possuírem interações fortes entre os componentes, e esse resultado foi corroborado pelas outras análises apresentadas ao longo do artigo.

Figura 1 - Imagens dos filmes de pectina com diferentes porcentagens de casca de arroz (0%, 1% e 2%) e sílica (0%, 1% e 2%).



Fonte: Autores.

Tabela 2 - Propriedades ópticas (L^* , C^* , a^* , b^* e ΔE) e espessura de filmes de pectina com sílica e casca de arroz.

Amostra	Espessura (mm)	Cor (L^*)	Cor (a^*)	Cor (b^*)	Diferença de cor (ΔE)
0	$0,54 \pm 0,15^a$	$56,9 \pm 7,00^a$	$11,8 \pm 4,31^a$	$35,3 \pm 6,11^a$	-
C1	$0,48 \pm 0,07^a$	$58,1 \pm 3,23^a$	$11,1 \pm 1,92^a$	$35,9 \pm 3,45^a$	$4,50 \pm 1,47^a$
C2	$0,60 \pm 0,13^a$	$60,8 \pm 2,19^a$	$10,3 \pm 1,04^a$	$35,0 \pm 1,41^a$	$4,37 \pm 2,31^a$
S1	$0,52 \pm 0,05^a$	$55,9 \pm 0,87^a$	$11,6 \pm 0,64^a$	$34,9 \pm 1,53^a$	$1,85 \pm 0,85^a$
S2	$0,53 \pm 0,04^a$	$53,5 \pm 4,82^a$	$12,5 \pm 1,72^a$	$35,1 \pm 0,96^a$	$4,33 \pm 4,24^a$

*- As médias observadas na coluna com a mesma letra não diferem estatisticamente ($p < 0,05$). Fonte: Autores.

Na Figura 1, foi possível observar que os filmes possuem grande semelhança visual entre si apesar das diferenças nas formulações. Essa similaridade visual pode ser comprovada pela semelhança estatística dos valores dos parâmetros físicos apresentados na Tabela 2. Em outras palavras, visualmente e em relação aos parâmetros físicos analisados, os filmes são parecidos, mas não idênticos.

b) Cor

A Tabela 2 apresentou os resultados da análise colorimétrica segundo o sistema CIELab. A distribuição das cores no espaço CIELab é feita em três eixos: L^* , a^* e b^* . Onde L^* representa a luminosidade, um branco absoluto teria um valor de L^* igual a 100 e um preto absoluto teria um L^* igual a 0 (sem claridade). Já o eixo a^* varia de $+a^*$ (vermelho) a $-a^*$ (verde) e o eixo b^* varia de $+b^*$ (amarelo) a $-b^*$ (azul). Em relação a luminosidade, os filmes se apresentaram nem pretos nem brancos, os mesmos indicaram uma luminosidade intermediária, com valores em torno de 55. Para o parâmetro a^* , os filmes se mostraram avermelhados com valores variando entre 10,3 e 12,5. Enquanto que para o parâmetro b^* , os filmes apresentaram-se amarelados (valores próximos a 35). Assim como na espessura, a adição de casca de arroz ou sílica não foi capaz de alterar os resultados estatisticamente, mostrando números absolutos diferentes, mas estatisticamente iguais.

De acordo com Ramos and Gomide (2017) valores de ΔE até 1,5 são descritos como não perceptível pelo olho do ser

humano, e valores de ΔE maiores que 5,0 são descritos como facilmente detectáveis pelo olho humano. Nenhum valor de ΔE apresentou diferença maior que 5,0. O filme S1 foi o que apresentou o menor valor numérico de ΔE ao ser comparado com as demais amostras, no entanto, levando em conta seu desvio padrão, essa amostra é estatisticamente igual as demais. Então, todos os filmes analisados se enquadram em valores de ΔE entre 1,5 e 5,0, sendo considerado a diferença de cor entre eles perceptível ao olho humano.

de Oliveira Begali et al. (2021) utilizaram amido termoplástico e pectina termoplástica com incorporação de micropartículas de lignina para produção de filmes poliméricos por extrusão. Os autores constataram que as blendas com amido termoplástico e pectina termoplástica apresentaram valores positivos de a^* (vermelho) e b^* (amarelo) que aumentaram com o aumento das concentrações da pectina. Também observaram que não houve diferença significativa na luminosidade.

c) Permeabilidade ao Vapor de Água

A PVA dos filmes é um parâmetro importante, pois determina a capacidade de um filme para absorver água da atmosfera. A taxa de permeabilidade do material depende da razão entre as porções hidrofílicas e hidrofóbicas dos componentes, e geralmente ocorre através da porção hidrofílica do filme (Carvalho et al., 2019). Os resultados de PVA foram apresentados na Tabela 3. Eles mostraram que os valores de PVA para as amostras com adição de casca de arroz ou sílica são diferentes dos valores de PVA para a amostra sem adição dessas partículas. Além disso, os valores de PVA aumentaram com o aumento das concentrações de casca de arroz e sílica.

Esse aumento pode ser explicado devido a afinidade entre a pectina e a casca de arroz ou entre a pectina e a sílica (dos Santos et al., 2021). A afinidade entre os componentes dos filmes é devido à natureza hidrofílica dos mesmos. Assim, com o aumento da concentração da casca de arroz e da sílica, aumenta a porção hidrofílica dos filmes e, conseqüentemente, a PVA. Outra explicação para os resultados é a presença de grupos OH e alto teor de metoxila da pectina; a presença dos grupos OH e CH₂OH da celulose e aos grupos OH e OCH₃ da lignina que são os principais componentes da casca de arroz; e também, a presença da própria sílica. Todos esses grupos apresentam caráter hidrofílico, permitindo uma combinação pectina com casca de arroz ou pectina e sílica que levou à formação de complexos de hidrogel, resultando em maior hidrofiliçidade (de Castro e Silva et al., 2020; de Oliveira Begali et al., 2021; Zou & Yang, 2019).

A PVA, por ser uma das propriedades de importância para embalagens de alimentos, foi estudada pelos autores Chaichi et al. (2017). Os mesmos desenvolveram filmes de pectina com diferentes concentrações de nanocristais de celulose (2%, 5% e 7% em massa). Os autores notaram que a PVA aumentou nos filmes de maior concentração de nanocristais de celulose e atribuíram esse resultado à agregação e autocondensação das nanopartículas, o que produziu espaços vazios na matriz.

Tabela 3 - Resistência à tração, Módulo de elasticidade e Alongamento na ruptura dos filmes de pectina com sílica e casca de arroz.

Amostra	PVA ((g.m ⁻¹ . s ⁻¹ .Pa ⁻¹)x10 ⁻¹³)	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
0	- 4,71 ± 0,13 ^a	0,37 ± 0,08 ^a	2,63 ± 0,28 ^a	16,24 ± 2,74 ^a
C1	- 3,88 ± 0,03 ^a	0,45 ± 0,07 ^a	2,65 ± 0,29 ^a	13,83 ± 3,10 ^{a b}
C2	- 4,95 ± 0,10 ^a	0,50 ± 0,09 ^{a b}	2,53 ± 0,30 ^{a b}	12,40 ± 2,57 ^{a b}
S1	-3,93 ± 0,17 ^b	0,37 ± 0,04 ^a	2,23 ± 0,16 ^a	11,76 ± 1,02 ^{a b}
S2	-4,05 ± 0,09 ^b	0,48 ± 0,08 ^a	2,19 ± 0,18 ^a	9,69 ± 1,40 ^a

*- As médias observadas na coluna com a mesma letra não diferem estatisticamente (p < 0,05). Fonte: Autores.

Na Tabela 3, foi possível analisar que os parâmetros analisados possuem valores numéricos próximos, mas não iguais, ressaltando a diferença entre as amostras já que cada uma possui uma formulação diferente.

d) Análise Mecânica de Tração

Os resultados para a análise mecânica foram apresentados na Tabela 3, em que foi possível observar os valores de Resistência à Tração (RT), Alongamento na Ruptura (ALR) e Módulo de Elasticidade (ME). As propriedades mecânicas são importantes, uma vez que estão diretamente relacionadas às possíveis aplicações dos filmes. A RT é a força suportada pelo filme antes do rompimento e o ALR é o quanto que o filme é capaz de ser alongado até o momento imediatamente antes da ruptura, ou seja, define o poder de escoamento das moléculas poliméricas durante o estiramento. Enquanto que o ME está relacionado com a rigidez dos filmes (Canevarolo Júnior, 2003).

Para o presente trabalho, o aumento da concentração de casca de arroz ou sílica provocou a diminuição da RT e do ALR (2,65 para 2,53 MPa de RT; 13,83 para 12,40 % de ALR, ambos para os filmes com adição de casca de arroz) e, em contrapartida, o aumento do ME (de 0,37 MPa para 0,48 MPa nos filmes com adição de sílica, por exemplo). Esses resultados mostram que o uso desses aditivos torna os filmes menos resistentes e mais rígidos. Tais resultados estão de acordo com os resultados apresentados para as análises de espessura e PVA, pois a adição e o aumento das concentrações dos aditivos levaram a um aumento das interações entre os componentes dos filmes (devido ao caráter hidrofílico dos mesmos), logo os mesmos se tornaram mais rígidos e menos elásticos. Em outras palavras, houve uma redução da ductibilidade e um aumento na rigidez das amostras.

de Oliveira Begali et al. (2021) ao estudarem a adição de lignina em blendas de amido e pectina, observaram que nas blendas sem a presença de amido, a presença da lignina provocou redução no valor de RT e aumento do ME e os autores atribuíram esse comportamento a maior interação entre os polímeros.

e) Biodegradação

Os resultados da análise de biodegradação foram apresentados nos gráficos de massa da Figura 2. Em todas as amostras foi possível observar um comportamento padrão, em que nos primeiros 07 dias ocorreu a maior perda de massa e, conseqüentemente, a maior biodegradação. Quando comparados os filmes com presença de aditivos, foi possível notar que a sílica proporcionou uma maior perda de massa já nos primeiros 07 dias. Esse resultado indicou que a cinética biodegradação dos filmes de pectina e sílica foi mais rápida do que dos filmes de pectina pura ou de pectina e casca de arroz.

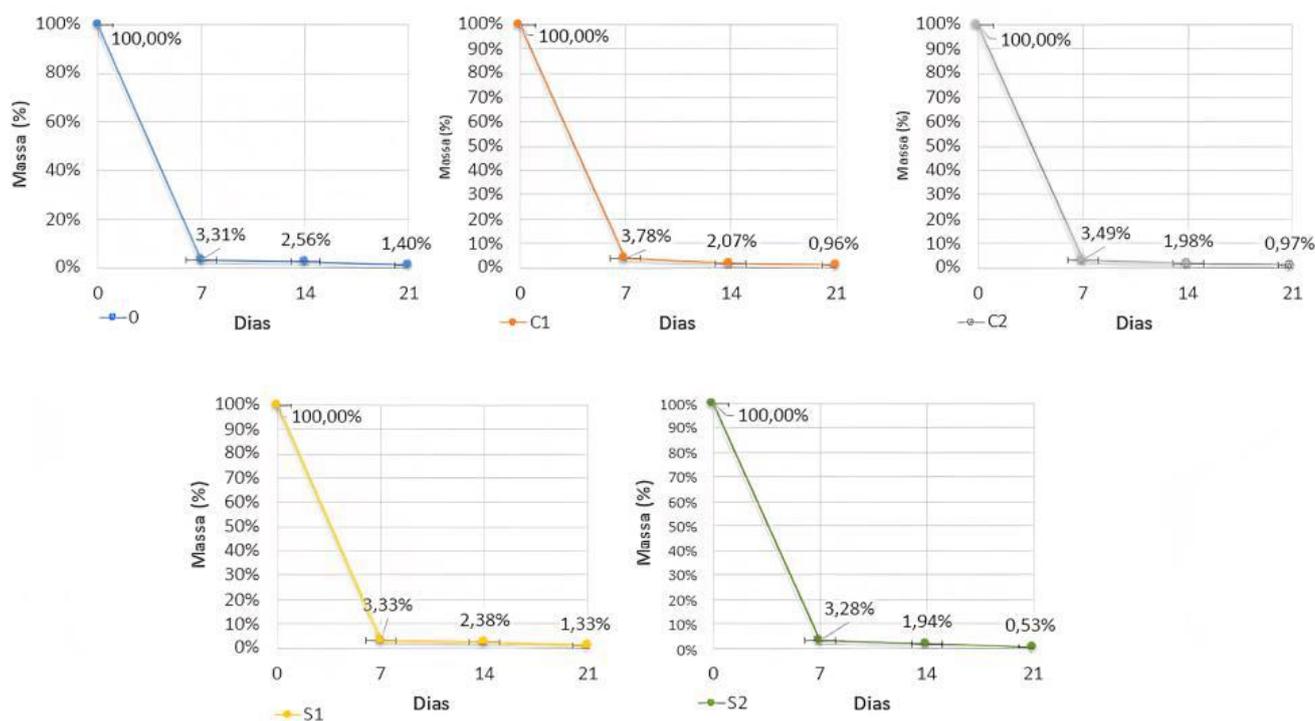
Por tanto, foi possível observar que os filmes sofreram alterações nas suas superfícies, essas modificações podem ocorrer devido à adesão de microorganismos à superfície do corpo. Logo, a biodegradação das amostras foi promovida pela deposição de material extracelular liberado pelos microorganismos. Além disso, também ocorreu a geração e a proliferação de colônias fúngicas com invaginação de filamentos microbianos para as interfaces dos materiais, fato que está diretamente ligado com o acúmulo de água (de Castro e Silva et al., 2020).

A taxa de degradação dos polímeros depende do ambiente ao redor do material (temperatura, pH, umidade e disponibilidade de nutrientes), assim como a massa do polímero, o grau de cristalinidade e a incorporação de unidades monoméricas em sua cadeia (Wei et al., 2015). Schneider et al. (2010) observaram que o aumento de grau e do módulo de cristalinidade leva a uma diminuição da colonização de bactérias degradadoras na superfície dos filmes e por conseguinte, diminui a taxa de biodegradação.

de Castro e Silva et al. (2020) desenvolveram nanobiocompósitos de pectina e nanoemulsões de compósitos de cera de carnaúba e óleo de Neem. Os autores observaram que os biocompósitos apresentaram rápida biodegradação no solo. Os

mesmos apresentaram potencial de aplicação como revestimento para sementes agrícolas, permitindo assim, que a semente seja protegida por tempo suficiente de forma que não impeça de ocorrer a formação de raízes. Dessa forma, por apresentar um tempo de degradação rápido, ainda que o óleo de Neem e a cera de carnaúba apresentem caráter hidrofóbico, o nanobiocompósito produzido apresenta uma importante aplicação agrícola.

Figura 2 - Resultado da análise de biodegradação dos filmes de pectina com 0% de sílica e casca de arroz (0), 1% de casca de arroz (C1), 2% de casca de arroz, 1% de sílica (S1) e 2% de sílica (S2).



Fonte: Autores.

Na Figura 2 foi possível observar que as amostras, apesar de terem formulações diferentes apresentaram um comportamento quanto a biodegradação semelhante.

f) Fotodegradação

A fotodegradação detém um importante papel, principalmente para materiais que possuem aplicações externas, pois pode causar mudança de cor e grave deterioração nas propriedades mecânicas do biopolímero (Matuana et al., 2001). O processo de fotodegradação acontece pela ativação da macromolécula polimérica, que é proporcionada pela absorção de um fóton de luz pelo biopolímero (Rabek, 2012). Sabe-se que quase todos os polímeros se deterioram ao serem expostos de forma contínua a luz solar e ao ar livre, sofrendo variações extremas das condições climáticas (Geuskens, 1975).

O fotoenvelhecimento, na maior parte dos casos, é iniciado pela radiação UV solar, ar e poluentes. Mas é potencializado por outros meios, como a temperatura, solventes orgânicos e a água (Rabek, 2012). Os responsáveis pelos efeitos grosseiros da fotodegradação são as reações em cadeia que resultam na modificação do tamanho ou da forma do esqueleto macromolecular. Por conseguinte, o que também contribui para reduzir a vida útil dos polímeros são as reações dos grupos laterais, que produzem fragmentos de baixo peso molecular e propiciam a descoloração. Esses dois tipos de reações, em cadeia e de grupos laterais, podem ocorrer por uma ampla variedade de mecanismos (Geuskens, 1975).

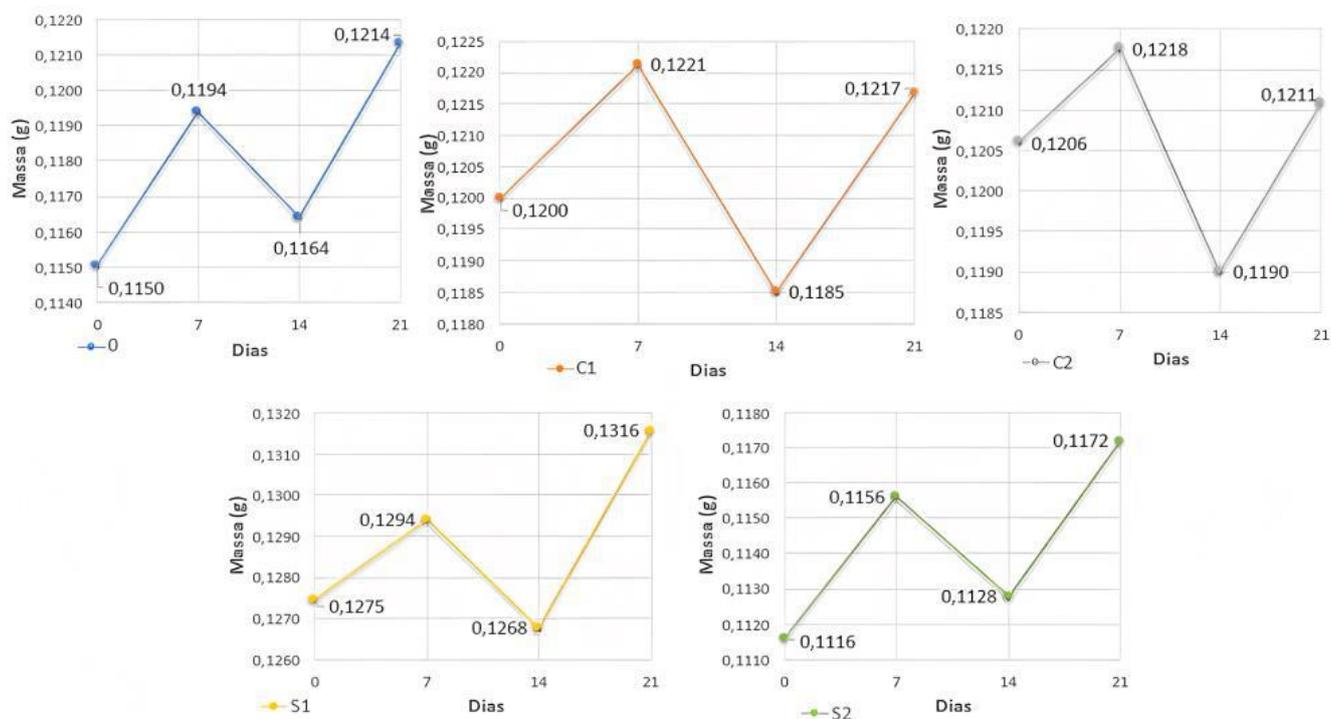
Nos primeiros 07 dias do ensaio, as amostras apresentaram um aumento na massa, pois os aditivos adicionados ao biopolímero possuem caráter hidrofílico. Dessa forma, então, conclui-se que houve retenção de água pelas amostras, e além disso, esses resultados corroboram com as análises de espessura e PVA, e são confirmados pelas análises mecânicas.

Após 14 dias foi observado uma redução no teor de massa das amostras, decorrente da evaporação da água. Essa evaporação foi causada pela secagem natural dos biofilmes durante o armazenamento dos mesmos na câmara de fotodegradação, o que permitiu o início da biodegradação (Oliveira et al., 2019). Quispe et al. (2019) produziram filmes de amido e ao realizarem o ensaio de fotodegradação, observaram que houve perda de massa dos biopolímeros, e atribuíram isso à baixa carga microbiana presente durante o processo de degradação.

Aos 21 dias do ensaio, as amostras voltaram a apresentar um ganho de massa, uma vez que, nessa etapa da análise o processo de biodegradação já se iniciou. Em vista disso, há a existência de microorganismos aderidos as superfícies dos filmes, portanto, tem-se a presença das secreções produzidas pelos mesmos. Isso é corroborado pelo teste de biodegradação, pois em um solo com condições ideais, os filmes apresentaram uma biodegradação quase completa em 07 dias. Logo, na fotodegradação, os microorganismos começam a agir nos filmes após mais dias. Mas como o período de análise de fotodegradação durou apenas 21 dias, não foi possível observar a completa degradação dos filmes.

Posto isso, é possível concluir que os filmes possuem alta taxa de biodegradação e baixa taxa de fotodegradação. Isso é interessante, pois há uma grande exposição a luz no dia a dia. O espectro solar fora da atmosfera da Terra se estende de aproximadamente 200 nm a 2500 nm, metade da energia está concentrada na parte do espectro visível, 40% no infravermelho e 10% na ultravioleta. Os raios ultravioletas que atingem a superfície da Terra (de 300 a 400 nm) são os mais danosos aos objetos. E apesar de representar apenas cerca de 6% da radiação total do sol, é o mais prejudicial aos polímeros (Geuskens, 1975).

Figura 3 - Resultado da análise de fotodegradação dos filmes de pectina com 0% de sílica e casca de arroz (0), 1% de casca de arroz (C1), 2% de casca de arroz, 1% de sílica (S1) e 2% de sílica (S2).



Fonte: Autores.

Na Figura 3 foi possível observar que as amostras, apesar de terem formulações diferentes apresentaram um comportamento quanto a fotodegradação semelhante.

4. Conclusão

A partir de todos os resultados apresentados, observou-se que a adição de casca de arroz e sílica provocou um aumento na espessura e na PVA, além tornar os filmes menos resistentes e mais rígidos (ME aumentou e RT e ALR diminuíram). Isso devido a adição e o aumento das concentrações dos aditivos, o que levou a uma maior interação entre os componentes dos filmes, pois os mesmos apresentam caráter hidrofílico. Além disso, tais resultados mostraram que há uma diferença de cor perceptível ao olho humano (ΔE entre 1,5 e 5,0) entre as amostras analisadas, sendo que as amostras se mostraram avermelhadas, amareladas e com luminosidade intermediária.

As amostras apresentaram alta taxa de biodegradação, evidenciando que o uso de aditivos não foi capaz de inibir a ação de microorganismos, mas apresentaram baixa taxa de fotodegradação, fato relevante, pois a radiação UV é a mais prejudicial aos polímeros. Assim, é possível afirmar que os filmes de pectina e casca de arroz ou pectina e sílica possuem viabilidade de aplicação em diversas áreas, pois são capazes de resistir a ação da luz sem alterar a biodegradação, fato benéfico para questões ambientais.

Trabalhos futuros poderão ser desenvolvidos a partir deste trabalho focando nas aplicações dos filmes, como por exemplo, em revestimento de sementes e de alimentos. Além disso, cabe à estudos futuros explorar o comportamento dos filmes desenvolvidos, mas utilizados o método de extrusão ao invés do método de casting, uma vez que a extrusão é o método aplicado nas indústrias de materiais e embalagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense pela infraestrutura que proporcionou a execução do trabalho.

Referências

- Ammala, A., Bateman, S., Dean, K., Petinakis, E., Sangwan, P., Wong, S., Yuan, Q., Yu, L., Patrick, C., & Leong, K. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 1015-1049.
- Antônio, J., Tadeu, A., Marques, B., Almeida, J. A., & Pinto, V. (2018). Application of rice husk in the development of new composite boards. *Construction and Building Materials*, 176, 432-439.
- Apolonio, P., Lima, J., Marinho, E., Nobrega, A., Freitas, J., & Martinelli, A. (2020). Produção de geopolímeros utilizando cinza da casca de arroz como fonte complementar de sílica. *Cerâmica*, 66, 172-178.
- Araújo, B. A., de Freitas, L. S., Sarmento, K. K. F., Bezerra, V. R., de Lima, C. A. P., & de Medeiros, K. M. (2021). A aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável. *Research, Society and Development*, 10(9), e49010918248-e49010918248.
- ASTM-D618. (2000). *D618, Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM-D882. (2002). Standard test methods for tensile, properties of thin plastic sheeting.
- ASTM-E96/E96M. (2016). E96/E96M-16 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials West Conshohocken. In: PA.
- ASTM. (2003). G160-03: standard practice for evaluating microbial susceptibility of nonmetallic materials by laboratory soil burial. *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA.
- Canevarolo Júnior, S. (2003). Análise térmica dinâmico-mecânica. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. São Paulo: Artliber Editora, 263-284.
- Carvalho, R. A., Santos, T. A., de Oliveira, A. C. S., de Azevedo, V. M., Dias, M. V., Ramos, E. M., & Borges, S. V. (2019). Biopolymers of WPI/CNF/TEO in preventing oxidation of ground meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14269. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14269>
- Chaichi, M., Hashemi, M., Badii, F., & Mohammadi, A. (2017). Preparation and characterization of a novel bionanocomposite edible film based on pectin and crystalline nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 167-175.
- Co-operation, O. f. E., & Development. (2022). *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. OECD Publishing.
- Correa, P. M. (2020). Concreto ambientalmente mais sustentável com inclusão de cinza de casca de arroz sem controle de queima e polipropileno pós-consumo.
- da Silva, J. O., Barros, S. V. A., Dantas, G. C. B., & Pimentel, P. M. (2020). Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil. *Revista de Ciências Ambientais*, 14(1), 17-23.
- de Andrade Feitosa, B. (2015). Estudo das propriedades térmicas e morfológicas de filmes poliméricos produzidos com sílica proveniente das cinzas da casca do arroz.
- de Camargo, L., Moreira, F., Marconcini, J., & Mattoso, L. (2013). Avaliação do efeito de plastificante induzido pelo glicerol em filmes de pectina reforçados com nanopartículas de Mg (OH) 2.
- de Castro e Silva, P., de Oliveira, A. C., Pereira, L. A., Valquíria, M., Carvalho, G. R., Miranda, K. W., Marconcini, J. M., & Oliveira, J. E. (2020). Development of bionanocomposites of pectin and nanoemulsions of carnauba wax and neem oil pectin/carnauba wax/neem oil composites. *Polymer Composites*, 41(3), 858-870.
- de Oliveira, A. C. S., Ferreira, L. F., de Oliveira Begali, D., Ugucioni, J. C., de Sena Neto, A. R., Yoshida, M. I., & Borges, S. V. (2021). Thermoplasticized Pectin by Extrusion/Thermo-Compression for Film Industrial Application. *Journal of Polymers and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02054-0>
- de Oliveira Begali, D., Ferreira, L. F., de Oliveira, A. C. S., Borges, S. V., de Sena Neto, A. R., de Oliveira, C. R., Yoshida, M. I., & Sarantopoulos, C. I. G. L. (2021). Effect of the incorporation of lignin microparticles on the properties of the thermoplastic starch/pectin blend obtained by extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 180, 262-271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.076>
- De Souza, M., Magalhães, W., & Persegil, M. (2002). Silica derived from burned rice hulls. *Materials Research*, 5, 467-474.
- Della, V. P., Kühn, I., & Hotza, D. (2005). Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. *Cerâmica Industrial*, 10(2), 22-25.
- Donati, N. (2022). Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis à base de amido de mandioca e cinza da casca de arroz revestidos com os polímeros biodegradáveis PLA e PBAT.
- dos Santos, T. A., de Oliveira, A. C. S., Lago, A. M. T., Yoshida, M. I., Dias, M. V., & Borges, S. V. (2021). Properties of chitosan-papain biopolymers reinforced with cellulose nanofibers. *Journal of Food Processing and Preservation*, n/a(n/a), e15740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15740>

- Fernandes, L., Sabino, M., & Rossetto, H. (2014). Método de extração de sílica da casca do arroz. *Cerâmica*, 60, 160-163.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2), 109-112.
- Franco, G. T. (2019). Desenvolvimento de filmes biodegradáveis baseados em pectina e nanofibras de celulose funcionalizadas.
- Gamboa, V. S., Ries, L. A. d. S., & Gasparin, F. P. (2021). Aplicação da casca de arroz como bioadsorvente para remoção de CR (VI) em soluções aquosas diluídas. *Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis (6.: 2021:[On-line]). Anais: volume 1: artigos publicados como resumos. Toledo, PR: GFM, 2021.*
- Geuskens, G. (1975). Photodegradation of polymers. In *Comprehensive Chemical Kinetics* (Vol. 14, pp. 333-424). Elsevier.
- Guimarães, M., Botaro, V. R., Novack, K. M., Teixeira, F. G., & Tonoli, G. H. D. (2015). High moisture strength of cassava starch/polyvinyl alcohol-compatible blends for the packaging and agricultural sectors. *Journal of Polymer Research*, 22(10), 192. <https://doi.org/10.1007/s10965-015-0834-z>
- Hoffmann, R., Jahn, S., Bavaresco, M., & Sartori, T. (2002). Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte. Congresso Brasileiro de Energia.
- Mateus, D. N., Santos, M. C. C., & Pereira, P. (2021). Produção e caracterização de compósitos obtidos a partir da incorporação de casca de arroz em blendas de polipropileno virgem e reciclado/Production and characterization of composites obtained from the incorporation of rice husk in virgin and recycled polypropylene blends. *Brazilian Journal of Development*, 7(9), 86910-86919.
- Mattielo, N. A., Silva, C. R. L. D., Campos, G. S., & Carvalho, L. D. (2021). Inovações tecnológicas que buscam reduzir o problema gerado pelo lixo plástico: O uso de plásticos tem aumentado significativamente com o passar dos anos, bem como a poluição associada à ele. Portanto, uma análise criteriosa se torna necessária para buscar informações sobre o enfrentamento desse problema. Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre.
- Matuana, L. M., Kamdem, D. P., & Zhang, J. (2001). Photoaging and stabilization of rigid PVC/wood-fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 80(11), 1943-1950.
- Ministério do Meio Ambiente. (2005). Impacto das embalagens no meio ambiente. Retrieved June 15, 2023, from <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente.html>
- Moraes, N. F. d. S. (2020). Desenvolvimento de filmes sustentáveis à base de pectina extraída do albedo do pomelo (*Citrus Grandis*).
- Nascimento, I. S., Santos, I. M., da Silva, M. G., & Machado, R. F. G. (2018). Reduzindo os impactos do consumo de plástico: canidinho biodegradável.
- Oliveira, L., Alves, R., Sarantópoulos, C., Padula, M., Garcia, E., & Coltro, L. (1996). Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. *Campinas: ITAL, CETEA*.
- Oliveira, N. L., Rodrigues, A. A., Oliveira Neves, I. C., Teixeira Lago, A. M., Borges, S. V., & de Resende, J. V. (2019). Development and characterization of biodegradable films based on *Pereskia aculeata* Miller mucilage. *Industrial Crops and Products*, 130, 499-510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.014>
- Pachla, E. C. (2022). Análise da durabilidade de compósitos cimentícios leves com incorporação de casca de arroz.
- Quispe, M. M., Lopez, O. V., & Villar, M. A. (2019). Oxidative degradation of thermoplastic starch induced by UV radiation.
- Rabek, J. F. (2012). *Polymer photodegradation: mechanisms and experimental methods*. Springer Science & Business Media.
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2017). Avaliação da qualidade de carne: fundamentos e metodologias *Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, BR, 1*.
- Ribeiro, A. C. B. (2022). Filmes ativos de pectina e compostos fenólicos da casca da manga para aplicação em embalagens de alimentos.
- Schneider, A., Silva, D., Garcia, M., Grigull, V., Mazur, L., Furlan, S., Aragao, G., & Pezzin, A. (2010). Biodegradation of poly (3-hydroxybutyrate) produced from *Cupriavidus necator* with different concentrations of oleic acid as nutritional supplement. *Journal of Polymers and the Environment*, 18, 401-406.
- Stuedner, S. H., Wiebeck, H., & Clemesha, M. D. R. (2004). Aproveitamento de resíduos da rizicultura (casca do arroz) em compósitos a base de polipropileno. *ICTR/NISAM: livro de resumo*.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. (1997). Chemistry and uses of pectin—A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(1), 47-73.
- Valadez-Gonzalez, A., & Veleza, L. (2004). Mineral filler influence on the photo-oxidation mechanism degradation of high density polyethylene. Part II: natural exposure test. *Polymer Degradation and Stability*, 83(1), 139-148.
- Wei, L., Liang, S., & McDonald, A. G. (2015). Thermophysical properties and biodegradation behavior of green composites made from polyhydroxybutyrate and potato peel waste fermentation residue. *Industrial Crops and Products*, 69, 91-103.
- Yalcin, N., & Sevinc, V. (2001). Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics international*, 27(2), 219-224.
- Zou, Y., & Yang, T. (2019). Rice husk, rice husk ash and their applications. In *Rice bran and rice bran oil* (pp. 207-246). Elsevier.