

Características de embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de melancia e incorporadas com amido do tubérculo de *Sinningia elatior*

Characteristics of biodegradable packaging from the residue of watermelon and incorporated with from the tuber of *Sinningia elatior*

Características del embalaje biodegradable a partir del residuo de sandía y incorporado con almidón del tubérculo de *Sinningia elatior*

Recebido: 09/07/2020 | Revisado: 13/07/2020 | Aceito: 21/07/2020 | Publicado: 02/08/2020

Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3443-4205>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: astronomoamadorgoias@gmail.com

Wendel Cruvinel de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-1089>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: wendelcruvinel@gmail.com

Carlos Frederico de Souza Castro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9273-7266>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: carlosfscastro@gmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar as características de duas embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de melancia e incorporado com amido de *Sinningia elatior*. O resíduo de melancia foi coletado em fazendas produtoras de melancia. O tubérculo de *Sinningia elatior* foi coletado no município de Rio Verde, Goiás Brasil. As embalagens biodegradáveis, foram avaliados quanto a espessura (mm), umidade (Tu%), cinzas (Tcz%), opacidade, solubilidade em água (%), taxa de inchamento (%), pH, biodegradabilidade, atividade antioxidante para DPPH (%) e FRAP $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, fenólicos totais expressos em mg EAG $100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$, vapor de água em $\text{g mm h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ kPa}$, cor, microscopia óptica e eletrônica de varredura e análise em 3D. Foram obtidos os seguintes resultados para espessura 0,146 e 0,169 mm, umidade de 7,94 e 9,84%, cinzas 0,04 e 0,82%, opacidade de 3,089 e 1,147, solubilidade em água de 91,83 e 79,47%, taxa de inchamento de 111,86 e 209,15%, pH de 6,25 e 7,14, biodegradabilidade de

10 e 14 dias, redução do DPPH 74,28 e 81,89%, FRAP 126,68 e 155,49 $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, fenólicos totais de 3,61 e 15,20 mg EAG 100 g^{-1} MS, vapor de água de 0,280 e 0,526 PVA $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa, bons efeitos de cor, homogeneidade nas análises microscópicas e em 3D para embalagem dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*. Ambas as embalagens biodegradáveis apresentaram neste estudo, importantes resultados no desenvolvimento de dois produtos a base de resíduos e amido nativo.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*; *Sinningia*; Embalagem biodegradável.

Abstract

The objective of the work was to evaluate the characteristics of two biodegradable packaging from the residue of watermelon and incorporated with *Sinningia elatior* starch. The watermelon residue was collected on watermelon producing farms. The tuber of *Sinningia elatior* was collected in the municipality of Rio Verde, Goiás, Brazil. Biodegradable packaging was evaluated for thickness (mm), humidity (Tu%), ash (Tcz%), opacity, water solubility (%), swelling rate (%), pH, biodegradability, antioxidant activity for DPPH (%) and FRAP $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, total phenolics expressed in mg GAE 100 g^{-1} DM, water vapor in $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa, color, optical and scanning electron microscopy and 3D analysis. The following results were obtained for thickness 0.146 and 0.169 mm, humidity of 7.94 and 9.84%, ashes 0.04 and 0.82%, opacity of 3.089 and 1.147, solubility in water of 91.83 and 79.47%, swelling rate of 111.86 and 209.15%, pH of 6.25 and 7.14, biodegradability of 10 and 14 days, reduction of DPPH 74.28 and 81.89%, FRAP 126.68 and 155.49 $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, total phenols of 3.61 and 15.20 mg EAG 100 g^{-1} MS, water vapor of 0.280 and 0.526 PVA $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa, good color effects, homogeneity in microscopic and 3D analysis for double layer packaging and incorporated with *S. elatior* starch. Both biodegradable packaging presented in this study, important results in the development of two products based on residues and native starch.

Keywords: *Citrullus lanatus*; *Sinningia*; Biodegradable packaging.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar las características de dos envases biodegradables a partir del residuo de sandía e incorporados con *Sinningia elatior* almidón. El residuo de sandía se recogió en granjas productoras de sandía. El tubérculo de *Sinningia elatior* fue recolectado en el municipio de Rio Verde, Goiás, Brasil. Las embalajes biodegradables se evaluaron para espesor (mm), humedad (Tu%), cenizas (Tcz%), opacidad, solubilidad en agua (%), tasa de

hinchamiento (%), pH, biodegradabilidad, actividad antioxidante para DPPH (%) y FRAP $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, fenólicos totales expresados en mg EAG 100 g^{-1} SM, vapor de agua en $\text{g mm h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ kPa, microscopía electrónica de color, óptica y escaneo y análisis 3D. Los siguientes resultados se obtuvieron para espesores de 0.146 y 0.169 mm, humedad de 7,94 y 9,84%, cenizas de 0,04 y 0,82%, opacidad de 3,089 y 1,147, solubilidad en agua de 91,83 y 79,47 %, tasa de hinchamiento de 111,86 y 209,15%, pH de 6,25 y 7,14, biodegradabilidad de 10 y 14 días, reducción de DPPH 74,28 y 81,89%, FRAP 126,68 y 155,49 $\mu\text{Mol g Fe}^{+2}$, fenoles totales de 3,61 y 15,20 mg EAG 100 g^{-1} SM, vapor de agua de 0,280 y 0,526 PVA $\text{g mm h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ kPa, buenos efectos de color, homogeneidad en análisis microscópico y 3D para empaques de doble capa e incorporados con almidón *S. elatior*. Ambos envases biodegradables presentados en este estudio, dan resultados importantes en el desarrollo de dos productos basados en residuos y almidón nativo.

Palabras clave: *Citrullus lanatus*; *Sinningia*; Embalaje biodegradable.

1. Introdução

As primeiras embalagens eram produzidas basicamente de subprodutos do petróleo, apresentando longo tempo de decomposição no ambiente. A biodegradação do polietileno importante produto utilizado na confecção de diversas embalagens é estimada em 200 anos. Com isso, essas embalagens produzem volumosas quantidades de lixo que são hoje diariamente descartadas em aterros controlados ou lixões a céu aberto em todo o mundo, gerando sérios problemas no gerenciamento de resíduos sólidos para os municípios e metrópoles (Dilkes-Hoffman et al., 2018; Sobral, 2000).

Várias formulações de embalagens são desenvolvidas para inúmeros produtos, como na conservação de alimentos, transporte de soluções, reagentes químicos, combustíveis dentre outros. Para isso, uma embalagem deve apresentar eficiência nas propriedades funcionais evitando perda do produto, contaminação por meio externo e extravasamento (Da Silva Rumão et al., 2020; Benevides et al., 2020; Menezes Filho et al., 2019).

Com o agravamento dos problemas ambientais como, por exemplo, contaminação do solo e água, as embalagens sintéticas são ligadas diretamente a sérios problemas de poluição nos oceanos com acentuada perda da vida marinha que se alimentam dos fragmentos desses plásticos ocasionando a morte da fauna marinha (Araújo & Silva-Cavalcanti, 2016).

Com isso foi necessário desenvolver embalagens biodegradáveis que não produzam interferências ao meio biótico local e que apresentem rápido processo de biodegradação,

tornando-se atrativas para o desenvolvimento de embalagens para diferentes produtos. As primeiras embalagens (embalagens biodegradáveis ou biofilmes) apresentam constituição polimérica à base de polissacarídeos, proteínas, quitina, quitosana, amido, fibras e óleos (De Sousa et al., 2020; Severino e Souza; Dos Santos, 2020; Menezes Filho et al., 2019; Mir et al., 2018; Ivankovic et al., 2017). De acordo com Monterrey-Quintero e Sobral (2000), embalagens naturais para alimentos são dependentes dos parâmetros custo e disponibilidade da matéria-prima para fabricação da embalagem biodegradável, bem como de propriedades de alta importância para o seu uso, como resistência, flexibilidade, cor, opacidade, propriedades de barreira para gases como O₂, CO₂ e a água, e ainda, solubilidade, taxa de inchamento, pH, cinzas e umidade.

De acordo com Menezes Filho et al. (2019), Ivankovic et al. (2017) e Rocha et al. (2014) as embalagens biodegradáveis de matrizes poliméricas, apresentam efetiva barreira aos gases (CO₂ e O₂), elasticidade e de tração sendo características importantes para uma embalagem que visa evitar choques mecânicos durante o transporte e armazenamento. Entretanto, essas matrizes poliméricas ainda apresentam alta permeabilidade ao vapor de água em função do seu caráter hidrofílico, limitando assim sua aplicação. Em contrapartida, o uso de substâncias plastificantes como o glicerol, durante o desenvolvimento do polímero potencializa as propriedades destes biomateriais garantindo baixa troca de vapor de água, aumento da flexibilidade e a diminuição do efeito quebradiço que inviabiliza o uso da embalagem.

O Brasil é o quarto maior produtor e exportador de melancia do mundo, atrás somente da China, Turquia e Irã (Oliveira et al., 2015). A cultura é bem diversificada em todos os estados brasileiros, sendo atualmente cultivadas 48 variedades de melancia. Esta fruta pertence à família das cucurbitáceas, juntamente com as abóboras. Os frutos apresentam diversificadas formas, tamanhos e cores, tanto internamente quanto externamente, e quantidades expressivas de proteínas, vitaminas, água e compostos bioativos (Menezes Filho et al., 2019; Da Silva et al., 2017; Romdhane et al., 2017).

Algumas plantas do domínio Cerrado também produzem importantes quantidades de amido que ainda são pouco estudados, como a espécie *Sinningia elatior* (Kunth) Chautems que pertence à família Gesneriaceae, apresentando tubérculo rico em compostos amiláceos (De Araújo; Rocha-Filho, 2019; Menezes Filho & Castro, 2019). Os biopolímeros são abundantes na natureza, com isso, torna-se importante utilizar os resíduos de frutas como a melancia, bem como utilizar e domesticar espécies vegetais da flora do Cerrado com aptidão na produção de compostos como o amido.

Neste sentido, o estudo objetivou-se avaliar as características de duas embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de melancia e incorporado com amido de *Sinningia elatior*.

2. Metodologia

A pesquisa é de cunho inicialmente de campo na coleta dos resíduos de melancia e dos tubérculos de *S. elatior*, seguida de pesquisa laboratorial onde os experimentos foram realizados, e natureza quali-quantitativa conforme descrito por Pereira *et al.* (2018).

O resíduo agrícola de melancia foi cedido por produtores rurais no Distrito da Lagoa do Bauzinho, município de Rio Verde, GO, Brasil. A entrecasca da melancia foi retirada com auxílio de uma faca inox. O material ficou sob imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v) por 15 minutos. Em seguida, foram lavados em água corrente. Logo após, o material foi processado em processador de alimentos com 500 mL de água destilada. O material processado foi filtrado em pano de nylon fino para retirada do excesso de água. Em seguida, a massa obtida, foi transferida para forma de polietileno de alta densidade – PEAD. A forma foi então levada para estufa com circulação de ar forçada a 60 °C por 36 horas. Após este período, a massa seca foi moída em moinho de facas tipo ciclone com peneira 32 mesh interna. O pó produzido foi então transferido para embalagem plástica para alimentos e mantida sob refrigeração a -8 °C até análises.

Os tubérculos de *S. elatior* foram lavados em água corrente com auxílio de uma escova de cerdas para a retirada do excesso de grânulos de terra e descascada em seguida. Os processos seguintes foram realizados conforme descrito anteriormente para farinha da entrecasca de melancia. A farinha de *S. elatior* foi gentilmente doada pelo laboratório de Química Tecnológica utilizada em experimentos anteriores.

A embalagem biodegradável foi elaborada conforme proposto por Souza *et al.* (2012) com adaptações. Uma alíquota de 25 g de farinha da entrecasca de melancia foi acrescida com 100 mL de água destilada e em seguida aquecida a 50 °C por 1 hora. Logo após, a solução foi filtrada em tecido de nylon fino, e o sobrenadante coletado. O sobrenadante foi homogeneizado em agitador magnético com temperatura de 60 °C, e em seguida, foi acrescido 1 mg de glicerol (P.A – ACS) (m/v). Em placa de *Petri* de poliestireno, foi acrescida uma alíquota de 30 mL desta solução e em seguida, foi levada para a estufa sem circulação de ar forçada a 65 °C por 4 horas. Após esse tempo, uma segunda alíquota de 30 mL foi acrescida na placa formando uma segunda camada.

A segunda camada aumenta e melhora as características mecânicas da embalagem

biodegradável, bem como por se tratar de uma farinha rica em material proteico. O procedimento seguiu em estufa sem circulação de ar e com aquecimento a 65 °C por 24 horas. Após secagem, a embalagem biodegradável foi retirada da placa de *Petri* de poliestireno e armazenada em dessecadora com sílica gel para manter a integridade.

Para produção da embalagem biodegradável incorporada, foi utilizado 5 g de amido do tubérculo de *S. elatior*. Em seguida acrescentou-se 50 mL do sobrenadante a base farinácea de melancia da embalagem biodegradável dupla camada, e 50 mL de água destilada. A solução ficou em aquecimento a 80 °C por 30 minutos em agitação constante. Em seguida, a temperatura foi reduzida para 50 °C e foi acrescido 2,5 g de glicerol (m/v). A solução ficou em agitação constante por 5 minutos. Após esse período, a solução foi transferida para placa de *Petri* de poliestireno, e levada para estufa sem circulação de ar a 60 °C por 36 horas. Logo após, a embalagem biodegradável foi retirada da placa e armazenada em dessecadora com sílica gel até análises.

A espessura da embalagem biodegradável foi determinada conforme Rocha et al. (2014) adaptado. Para determinação da espessura, foi utilizado um micrômetro digital com sensibilidade de ($\pm 0,001$ mm). Foram aferidos 10 pontos aleatórios para cada embalagem.

O conteúdo de umidade e cinzas das embalagens foi avaliado conforme metodologia descrita por IAL (2008) adaptado. Para o teor de umidade (Tu%) foi pesado em cadinho, 1 g de embalagem biodegradável. Os cadinhos foram levados para estufa com circulação de ar forçada a 105 °C por 5 horas, e em seguida, foram resfriados em dessecadora com sílica gel e pesados. Para o teor de cinzas (Tcz%), após a determinação de umidade, os cadinhos foram levados para mufla a 550 °C por 4 h. Em seguida, resfriados e pesados conforme análise anterior. A diferença de peso entre as amostras foram determinadas.

A opacidade foi determinada através do espectrofotômetro UV-Vis conforme proposto por Rocha et al. (2014). As embalagens biodegradáveis foram cortadas e aderidas à parede externa de uma cubeta de quartzo de campo único. Como branco foi utilizada a mesma cubeta sem embalagem. A embalagem foi avaliada no comprimento de 500 nm, e a opacidade determinada conforme a equação: Abs_{500}/T , sendo Abs_{500} o resultado da absorbância em 500 nm e T a espessura média do filme em mm.

O teste de solubilidade foi realizado conforme descrito por Jahed et al. (2017). As embalagens foram cortadas em tiras com formato quadrado com (1,5 cm²), e em seguida, desidratadas em estufa a 65 °C por 6 h. Em seguida, as tiras foram pesadas e transferidas para béqueres contendo 50 mL de água ultra pura. Os béqueres foram agitados em mesa agitadora orbital sob lenta agitação (96 rpm) por 12 h. Após este tempo, as amostras foram removidas e

desidratadas em estufa a 100 °C por 5 h. A solubilidade em água foi calculada em percentagem conforme equação: $\%MS = (P_i - P_f/P_i) \times 100$. Em que, %MS é a percentagem de material desidratado solubilizado; P_i peso inicial da massa e P_f peso final da massa do material não solubilizado.

A taxa de inchamento foi determinada conforme descrito por Zhang et al. (2018) adaptado. Uma amostra de embalagem biodegradável com (2 x 2 cm), foi cortada e desidratada em estufa com circulação de ar forçada a 100 °C por 3 horas. Em seguida, a amostra foi pesada (P_i). Logo após, foi imersa em 35 mL de água ultra pura por 30 min. Após este período, a amostra foi novamente pesada (P_f), e a taxa de inchamento calculada conforme equação: $\%TI = (P_f - P_i/P_i) \times 100$.

O pH foi avaliado conforme descrito por Menezes Filho et al. (2019) adaptado. Uma alíquota de 0,100 mg de embalagem biodegradável foi diluída em 20 mL de água ultra pura, e em seguida, agitada em Vortex por 5 min., e deixado em descanso por 15 min. Após este período, foram realizadas as leituras em pHmetro digital. A avaliação da degradabilidade seguiu conforme Martucci & Ruseckaite (2009) modificado. O experimento foi realizado em formas de polietileno de alta densidade – PEAD, contendo solo com a flora microbiana natural em solo distroférico. A amostra de embalagem biodegradável foi cortada em tiras com (2 x 3 cm), seguido de secagem em estufa a 75 °C por 24 horas para remoção de umidade. Em seguida, foi resfriado e tomado o peso inicial (M_i). A amostra foi colocada individualmente em envelope de polietileno e enterrada em profundidade de 6 cm no solo. A umidade relativa foi mantida em 40% e a temperatura de 25 °C. A amostra foi removida nos seguintes dias, 5, 9, 12 e 15º dia. Após este período, a embalagem foi limpa com pincel de cerdas finas e seca em estufa a 65 °C até peso constante (M_f). A biodegradabilidade (%Bio) foi calculada conforme equação: $\%Bio = (M_f - M_i/M_i) \times 100$.

A eficácia das embalagens biodegradáveis na redução do radical 2,2-dipicril-hidrazil (DPPH) foi determinada conforme descrito por Jahed et al. (2017) adaptado. Uma amostra de 25 mg de embalagem foi dissolvida em 4 mL de água ultrapura. Em seguida, 2,8 mL da solução foi acrescida com 0,2 mL de uma solução metanólica de DPPH na concentração de 0,6 mMol L⁻¹. A solução foi novamente agitada e deixada em descanso por 1 h. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de ondas em 517 nm. A percentagem de inibição do radical livre DPPH foi determinada conforme equação: $\%redução = (Abs_{controle} - Abs_{amostra}/Abs_{controle}) \times 100$.

A atividade antioxidante pela redução do ferro (FRAP) foi realizada conforme descrito por Infante et al. (2013) adaptado. Inicialmente, foi preparado um extrato com 2 g de

embalagem biodegradável da entrecasca de melancia e do incorporado com amido de *S. elatior*, separadamente. O material foi dissolvido em 20 mL de uma solução hidroetanólica (80:20) (v/v). A solução foi agitada em mesa agitadora orbital a 170 rpm por 10 min. e em seguida centrifugado a 2500 rpm por 20 minutos. O líquido sobrenadante foi recolhido e utilizado para a análise. Alíquota de 100 μL de amostra, foi acrescida com 3 mL do reagente de FRAP e aquecidas a 37 °C em banho-maria com agitação por 30 min. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de ondas em 595 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{M Fe}^{2+}$ g MS (massa seca).

Os compostos fenólicos totais foram determinados conforme descrito por Menezes Filho et al. (2019). Partindo da solução de extrato realizado para o teste de FRAP, uma alíquota de 0,5 mL foi acrescida com 8 mL de água ultra pura e 0,5 mL da solução de *Folin-Ciocalteu* (P.A – ACS) na proporção (1:9). Em seguida foi acrescida uma solução aquosa de carbonato de sódio 7,5% (m/m). A reação ocorreu por 1 h. e em seguida, foi realizada leitura em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de ondas em 720 nm. Como branco, foi utilizada água ultrapura. Uma curva padrão foi realizada, para a determinação do cálculo do conteúdo de compostos fenólicos totais, sendo expressos em mg equivalente ao ácido gálico EAG 100 g^{-1} MS.

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada conforme descrito por Menezes Filho et al (2019) adaptado. O biofilme com diâmetro de (35 mm) foi fixado em uma célula de vidro, contendo água ultra pura. A célula foi acondicionada em dessecador contendo sílica gel (nova) e o sistema foi mantido na temperatura de 25 °C. A pesagem da célula foi realizada em intervalos de 24 h. após o início, e o término se deu após 10 dias de análise. Os resultados em massa da célula de permeação foram anotados em função do tempo (s), e uma reta obtida através da regressão linear foi determinada, encontrando assim o coeficiente angular. Em seguida, calculou-se a taxa de permeabilidade ao vapor de água (TVA) onde: $\text{TVA} = g/T$. Em que A, sendo g/t o coeficiente angular da reta e A é a área de permeação (m^2). A PVA foi calculada conforme equação: $\text{PVA} = (\text{TVA} \cdot x) / \Delta P$. Sendo x é a espessura média das embalagens (mm) e ΔP é a diferença de pressão de vapor do ambiente (dessecadora) (0 kPa 25 °C) e água ultra pura (3,17 kPa 25 °C).

A cor foi realizada em colorímetro digital no sistema HunterLab (L^* , a^* , b^*), conforme descrito por Rocha et al. (2014). O Chroma (C^*) foi avaliado conforme equação, $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ e para Hue-Angle (h°) conforme equação, $\text{Arctang} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, sendo avaliado conforme descrito por Menezes Filho et al. (2019). Foram realizadas micrografias por microscopia óptica de alta resolução (MOAR), na área superficial das embalagens

convencional (PVC), biodegradável de dupla camada e biodegradável incorporada empregando microscópio óptico com câmera digital acoplada, conforme proposto por Menezes Filho et al. (2019).

A análise da área superficial com maior resolução dos detalhes das embalagens foi avaliada utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras com diâmetros (1 x 1 cm) foram revestidas com fina camada de alumínio em sistema a vácuo na sua área superficial. A análise estatística consistiu na determinação dos resultados médios em triplicatas seguidos de \pm desvio padrão aplicados em todos os experimentos. A diferença estatística foi determinada pelo teste de *Student* ($p \leq 0,05$). O software utilizado para os dados estatísticos foi o ASSISTAT (versão livre 7.7, 2011), e para a modelagem matemática em 3D ImageJ (versão 1.8.0_112, 2019).

3. Resultados e Discussão

Abaixo na Tabela 1, estão apresentados os resultados obtidos da avaliação das características poliméricas das embalagens dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*.

Tabela 1. Parâmetros morfológicos, físico-químicos, antioxidantes, conteúdo de fenólicos totais das embalagens biodegradáveis de melancia *var. Crimson Sweet Extra*.

Parâmetros	Biofilme dupla camada	Biofilme incorporado
Espessura	0,1469 \pm 0,001 ^b	0,1695 \pm 0,001 ^a
Umidade	7,94 \pm 0,05 ^b	9,84 \pm 1,00 ^a
Cinzas	0,045 \pm 0,00 ^b	0,827 \pm 0,07 ^a
Opacidade	3,089	1,147
Solubilidade em água	91,83 \pm 2,78 ^a	79,47 \pm 3,24 ^b
Taxa de inchamento	111,86 \pm 1,43 ^b	209,15 \pm 6,37 ^a
pH	6,25 \pm 0,03 ^b	7,14 \pm 0,01 ^a
Biodegradabilidade	5/10 dias ^b	6/14 dias ^a
	13,87% \pm 0,56	17,68% \pm 0,27
	29,13% \pm 0,17	33,75% \pm 0,37
DPPH	74,28 \pm 0,11 ^b	81,89 \pm 0,03 ^a
FRAP	126,68 \pm 0,33 ^b	155,49 \pm 0,85 ^a
Conteúdo de fenólicos totais	3,61 \pm 0,24 ^b	15,20 \pm 0,33 ^a
Vapor de água	0,280 \pm 0,00 ^b	0,526 \pm 0,01 ^a

Milímetros (mm), teor de umidade (Tu%), teor de cinzas (Tcz%), solubilidade em água (%AS), permeabilidade ao vapor de água (PVA), taxa de inchamento (%TI), biodegradabilidade (%Bio/dia/%Tu), % de redução do radical DPPH, FRAP $\mu\text{Mol g Fe}^{2+}$, fenólicos totais expressos em mg de ácido gálico por 100 g⁻¹ matéria seca (mg EAG 100 g⁻¹ MS), (PVA) g mm h⁻¹ m⁻² kPa. Análise estatística avaliada por teste de *Student* ($p \leq 0,05$). Fonte: Pesquisa.

As embalagens biodegradáveis apresentaram espessuras médias de 0,1469 e 0,1695 mm para dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*, respectivamente. A uniformidade das amostras de embalagens resulta positivamente nas propriedades mecânicas

e de barreira de vapor e umidade conforme Menezes Filho et al. (2019). Embalagens biodegradáveis que apresentam espessura variada pode comprometer o desempenho das funções do biofilme (Silva et al., 2019). Silva et al. (2019), obtiveram maiores espessuras em biofilmes a partir da fécula de mandioca incorporados com cafeína irradiada, e apresentaram média entre 0,1783-0,2034 mm. Zhang et al. (2018) avaliaram diferentes tratamentos de biofilmes com média de espessura de 0,030 mm. Já Lucena et al. (2017) obtiveram biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina com espessura de 0,14; 0,15 e 0,21 mm.

O conteúdo de umidade foi de 7,94 e 9,84%, e para cinzas de 0,045 e 0,827% para as embalagens dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*, respectivamente. Nos estudos de Menezes Filho et al. (2019), os pesquisadores encontraram para formulado de melancia, teores de umidade e cinzas iguais a 8,45% e 0,056% respectivamente. Costa et al. (2017), avaliaram embalagens biodegradáveis de amido do feijão macassar onde obtiveram teores de umidade entre 14,45 a 26,50%. Já no estudo realizado por Dantas et al. (2015), os pesquisadores avaliaram diferentes formulações de embalagens biodegradáveis incorporadas com polpas de frutas onde encontraram umidade entre 10,93 a 19,69%.

Os formulados biodegradáveis deste estudo apresentaram baixa taxa de umidade, quando comparados aos outros estudos no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de resíduos. A umidade é um dos parâmetros físico-químicos de maior importância, visto que, soluções filmogênicas com alta probabilidade de adquirir umidade, ocasiona a desestabilização da matriz polimérica. Já para os teores de minerais quantificáveis em cinzas, demonstram serem soluções variáveis em conteúdos de minerais, havendo necessidade de se combinar principalmente minerais essenciais que proporcione melhor adesão na matriz polimérica.

As embalagens de dupla camada e incorporada com amido apresentaram resultados de 3,089 e 1,147 respectivamente, para opacidade. Menezes Filho et al. (2019), obtiveram uma embalagem de dupla camada de melancia com opacidade de 3,057, próxima ao deste estudo para dupla camada. Carissimi et al. (2018), encontraram para diferentes composições de biofilmes incorporados com extratos de microalgas opacidade com resultados de 1,13 a 9,47. Quanto maior o valor, maior será a sua opacidade. De acordo com Lucena et al. (2017), a opacidade é um dos principais parâmetros das propriedades ópticas para o acondicionamento de um produto, visto que, embalagens com elevado brilho e transparência apresentam boa eficiência e aparência para o setor de marketing.

O teste de solubilidade em água apresentou resultados de 91,83% e de 79,47% para embalagem dupla camada e incorporado com amido de *S. elatior*, respectivamente. A matriz

polimérica da embalagem dupla camada, apresentou alto índice de solubilidade, não sendo uma boa opção para produtos com teor de umidade acima de 50%. Já para o incorporado, o baixo índice de solubilidade apresentou ser ótima opção para produtos com elevado conteúdo de umidade. A solubilidade de embalagens biodegradáveis é uma importante propriedade para aplicação principalmente em películas, pois em certas aplicações, a matriz polimérica exige a insolubilidade em água, aumentando a integridade do produto e mantendo as características naturais (Kayserilioğlu et al., 2003).

Estudo desenvolvido por Brito et al. (2019), os pesquisadores encontraram para biofilmes a partir dos resíduos de frutas e legumes, e de pectina, resultados entre 49,00 a 96,00% de solubilidade em água. Já Lucena et al. (2017), encontraram para biofilmes de xilana *in natura* e xilana com gelatina incorporada, solubilidade entre 52,52 a 97,37%.

A embalagem de dupla camada demonstrou baixa taxa de inchamento de 111,86% e maior taxa para o polímero incorporado com amido de *S. elatior* com 209,15%. Nos estudos de Menezes Filho et al. (2019), os pesquisadores encontraram taxa de inchamento de 114,37 próxima ao deste estudo, também para polímero extraídos do resíduo de melancia. Já Zhang et al. (2018), encontraram para diferentes tratamentos de biofilmes à base de quitosana com adição de óleo essencial, inchamento entre 361,42 a 492,09%. A taxa de inchamento é proporcional com a quantidade de água absorvida pela matriz polimérica. Biofilmes acrescidos com cloreto de cálcio e amido possuem maior tendência a absorver água (Menezes Filho et al., 2019), o que pode ser observado para a embalagem incorporada neste estudo com amido.

As embalagens apresentaram pHs de 6,25 e 7,14 para dupla camada e incorporado, respectivamente. Menezes Filho et al (2019), obtiveram para biofilme de melancia adicionado com ClCa_2 1,5%, pH igual a 6,1. Já nos estudos de Brito et al. (2019), os pesquisadores avaliaram biofilmes de resíduos de frutas, legumes e de pectina, onde obtiveram pHs entre 4,0 a 4,22 mais ácidos que os encontrados neste estudo.

As embalagens de dupla camada e incorporada apresentaram completa biodegradabilidade com 10 e 14 dias respectivamente. Comprovando a viabilidade no uso como embalagens com características naturais que não agridem a natureza. Lucena et al. (2017), avaliaram biofilmes de xilana *in natura* e xilana incorporada com gelatina, onde obtiveram completa biodegradabilidade com 15 dias de análise. Campagner et al. (2014), encontraram para biofilmes à base de amido e lignossilfonatos, lenta biodegradabilidade entre 5 a 8 semanas. Já Martucci & Ruseckaite (2009), observaram difícil análise dos dados no 14º dia do experimento, devido à avançada deterioração do biofilme.

A atividade antioxidante foi avaliada para a redução do radical livre DPPH e para FRAP, onde as embalagens apresentaram resultados com boa eficiência na redução destes radicais, com resultados de 74,28 e 81,89% e 126,68 e 155,49 $\mu\text{M g Fe}^{2+}$ MS, para dupla camada e incorporado respectivamente, (Tabela 1). Menezes Filho et al. (2019), obtiveram porcentagem de redução de DPPH igual a 75,55% e FRAP de 121,60 $\mu\text{M g Fe}^{2+}$ em uma solução filmogênica do resíduo de melancia da variedade *Crimson Sweet Extra*. Kim et al. (2018), avaliaram diferentes formulados de biofilmes de *S. fulvellum* incorporados com extrato de *A. melanocarpa*, onde encontraram redução do radical DPPH entre 2,93 a 32,96%. Os teores de compostos fenólicos totais foram de 3,61 e 15,20 mg EAG 100 g^{-1} MS, para as embalagens, dupla camada e incorporada, respectivamente.

O teste de vapor de água foi de 0,280 e 0,526 $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa para as embalagens dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*. Nos estudos de Menezes Filho et al. (2019), os autores obtiveram PVA de 0,225 $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa para o biofilme do resíduo de melancia da mesma variedade deste estudo. Já Silva et al. (2019), encontraram para biofilmes de fécula de mandioca com cafeína irradiada, PVA entre 0,3934-0,4638 $\text{g mm h}^{-1} \text{m}^{-2}$ kPa.

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados dos parâmetros colorimétricos da embalagem plástica convencional e das embalagens a partir do material farináceo de melancia e incorporado com amido de *S. elatior*.

Tabela 2. Parâmetros colorimétricos da embalagem plástica (PVC), e das embalagens de dupla camada e do incorporada com amido de *Sinningia elatior*.

Parâmetros	Filme (PVC)	Biofilme dupla camada	Biofilme incorporado
L*	98,14 ± 0,01	29,44 ± 0,40	81,21 ± 0,01
a*	-1,85 ± 0,02	2,29 ± 0,01	-0,02 ± 0,01
b*	-4,13 ± 0,01	13,37 ± 0,00	2,27 ± 0,01
C*	4,52 ± 0,01	13,57 ± 0,01	2,27 ± 0,01
h°	245,87 ± 0,20	80,30 ± 0,08	90,63 ± 0,23

Médias em triplicata seguida de \pm desvio padrão. L* luminosidade ou brilho, a* cromaticidade verde a vermelha, b* cromaticidade azul a amarelo, C* croma e h° ângulo de tonalidade. Fonte: Pesquisa.

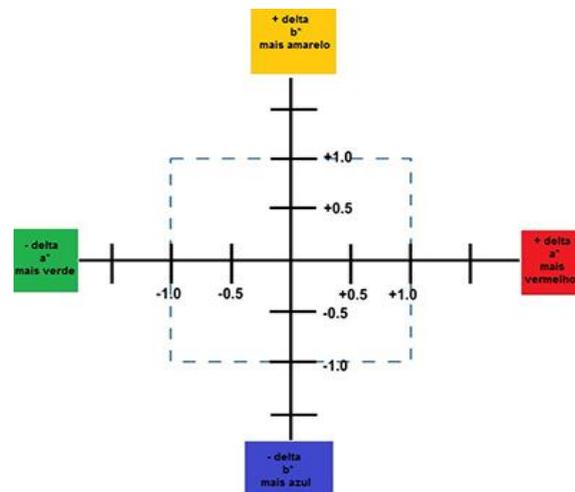
A análise colorimétrica de uma embalagem é um dos principais fatores com importante resultado quanto à aceitação tanto para uso comestível quanto para embalagens (Menezes Filho et al., 2019). A taxa de brilho L* foi inferior e mais escura para a embalagem de dupla camada, e L* de superior e mais clara para a embalagem incorporada. A embalagem incorporada apresentou taxa de luminosidade próxima ao da embalagem convencional com L* de 98,14. Nos estudos de Silva et al. (2019), os pesquisadores obtiveram L* de 46,78 a

59,65 para biofilmes formulados à base de fécula de mandioca e incorporado com cafeína irradiada.

O croma a^* apresentou tons de verde a levemente vermelho para incorporado e para dupla camada, respectivamente. Silva et al. (2019), obtiveram biofilmes com croma a^* entre -0,75 a -0,86 tendendo ao verde, para formulados de fécula de mandioca e incorporado com cafeína irradiada.

O croma b^* indicou tendência para cor amarela, para ambos as embalagens de dupla camada e incorporada, respectivamente. Comparado a embalagem convencional (PVC) que apresenta b^* tendendo para o azul. Conforme pode ser observado na Figura 1 de tolerância de cor.

Figura 1. Esquema da tolerância de cor.

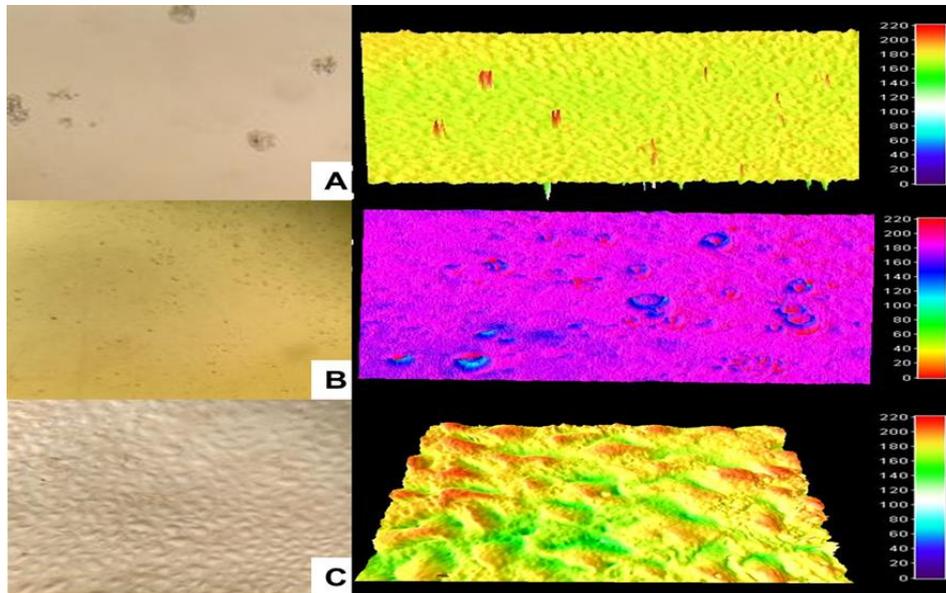


Fonte: Konica Minolta (2020).

O Chroma C^* para as embalagens foram de 13,57 e 2,27 para dupla camada e incorporado, respectivamente, e de 4,52 para a embalagem convencional sintética (PVC). Já para o Hue foi de h° igual a 80,30 e 90,63 para dupla camada e incorporado, e de 245,87 para PVC.

Na Figura 2, estão apresentadas micrografias das embalagens convencional, e biodegradáveis de dupla camada e incorporada com amido de *Sinningia elatior*, com respectivas modelagens da área superficial em 3D.

Figura 2. Micrografias ópticas da embalagem PVC em (A), em (B) embalagem dupla, e incorporada em (C), com respectivas modelagens da topografia em 3D da área superficial. Micrografias aumentos de 60 μm (A), 100 μm (B) e 150 μm . Imagens em 3D aumento 200 μm (A, B e C) respectivamente. A fonte colorimétrica avalia a altura e relevo de cada amostra, partindo do vermelho maior altura para azul escuro maior profundidade.



Fonte: Pesquisa.

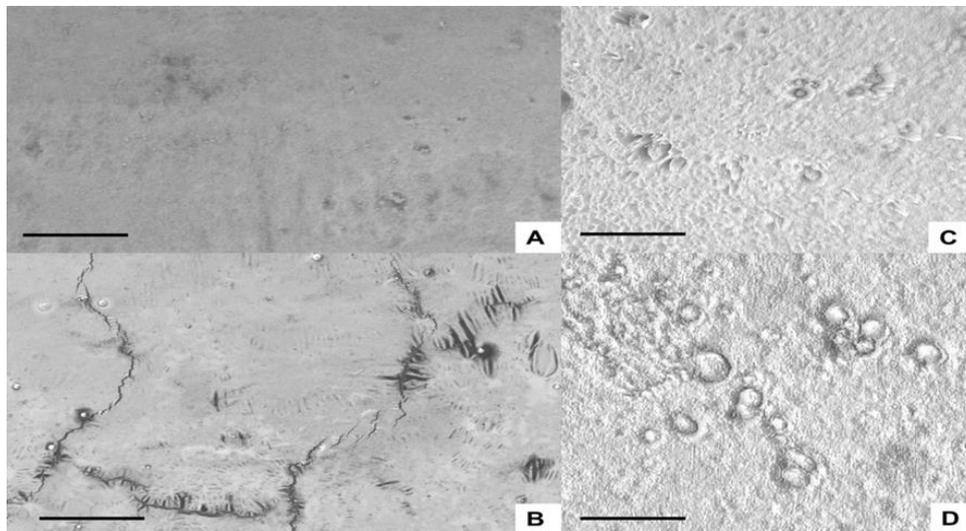
Na Figura 2, prancha (A) observa-se uma homogeneidade da área superficial com algumas e esparsas deformações na embalagem de PVC. Na respectiva modelagem em 3D, observa-se a homogeneidade do produto e as respectivas imperfeições de produção. Na prancha (B), para a embalagem biodegradável dupla camada, observam-se vários cristais possivelmente de proteínas do material farináceo, na imagem em 3D observam-se esses cristais em toda a área superficial. Já na prancha (C) para a embalagem incorporada com amido de *S. elatior*, pode ser observada na micrografia, maior homogeneidade e um relevo superficial levemente ondulado, na imagem em 3D. Ainda é possível observar em outro ângulo (levemente horizontal) o relevo ondulado da matriz polimérica.

O modelo matemático em 3D demonstrou ser uma ótima e eficiente ferramenta para o estudo do relevo da área superficial da topografia dos diversos materiais que compõem ambas as embalagens sintética e biodegradável a partir do material farináceo de melancia e do amido de *S. elatior* incorporado. O mesmo foi observado no estudo proposto por Menezes Filho et al. (2019), onde avaliaram através das micrografias e imagens através do modelo matemático em 3D da área superficial da embalagem sintética e natural a partir do resíduo de melancia. Já Brito et al. (2019), avaliaram formulações filmogênicas a base de farinhas e pectina a partir dos resíduos da laranja, do maracujá e de melancia, onde encontraram resultados próximos ao

deste estudo, sem rugosidade acentuada, com aparência brilhante, boa maleabilidade, com cheiro frutal e coloração amarelada. O mesmo foi observado por Medina-Jaramillo et al. (2017), onde verificaram em duas embalagens biodegradáveis produzidas com amido incorporado com extrato vegetal, topografias em 3D, com áreas superficiais homogênea e levemente heterogênea.

Na Figura 3, estão apresentadas eletromicrografias por varredura da área superficial das embalagens de dupla camada e incorporada com amido de *S. elatior*.

Figura 3. Eletromicrografias de varredura da área superficial das embalagens dupla camada em (A e C), e incorporada em (B e D) dos polímeros a partir do material farináceo de melancia e do amido do tubérculo de *S. elatior*. Barras com aumentos em (A) 10 μm , em (B) 50 μm , em (C) 10 μm e (D) 65 μm . (3.0 kV).



Fonte: Pesquisa.

As eletromicrografias das embalagens dupla camada apresentaram área superficial plana e sem rachaduras conforme observado na Figura 3 pranchas (A e C). Já para a embalagem incorporada, foi possível observar algumas manchas escuras e pequenas rachaduras superficiais, entretanto, não inviabilizando a embalagem biodegradável. Grânulos de amido se destacaram na área superficial tornando a embalagem levemente ondulada Figura 3 pranchas (B e D). As embalagens apresentaram bons resultados de plasticidade, com adição do glicerol e com o amido de *S. elatior*. A plasticidade é outra importante característica que influencia diretamente nas trocas de vapores de água e de gases entre o meio interno e externo da embalagem, com isso, garante aumento no tempo de vida de prateleira do produto (Menezes Filho et al., 2019). Nos estudos de Lucena et al. (2017), os pesquisadores obtiveram

pouca rugosidade e pequenas partículas cristalinas de xilana na área superficial dos biofilmes avaliados.

De acordo com Menezes Filho et al. (2019) e Mali et al. (2010), a ausência de rachaduras rasas ou profundas e ou cavidades na embalagem biodegradável, podem ser ocasionadas pelo fluxo de gases ou vapor que permeia, ou mesmo pela má agregação dos compostos em cadeia que formam a matriz polimérica, ou mesmo devido a incorporações com glicerol, bem como, diversas naturezas de amido, óleo essencial, aquecimento, dentre outras. Alguns estudos realizados com quitosana também apresentaram bons resultados para homogeneidade, e com área superficial sem a presença de fissuras. Entretanto, quando as embalagens são incorporadas com óleos essenciais conforme estudo desenvolvido por Zhang et al. (2018), onde pesquisadores obtiveram embalagens biodegradáveis com área superficial irregular e baixa maleabilidade (quebradiço). Já Marin et al. (2013), apresentaram em estudo deformidades e rugosidades nas embalagens biodegradáveis incorporadas com vanilina.

4. Considerações Finais

As embalagens desenvolvidas e avaliadas neste estudo, para dupla camada e incorporada com amido apresentaram importantes resultados sobre a característica final do produto, possibilitando a inclusão de duas novas embalagens biodegradáveis à base do resíduo farináceo de melancia e da incorporação com o amido a partir do tubérculo de *Sinningia elatior*, para serem aplicados como embalagens naturais.

Ambas as embalagens biodegradáveis apresentaram boa eficiência conforme ensaios avaliados, entretanto, devem ser destinados para produtos específicos devido à cor do biopolímero transformado. Dessa forma, pode-se concluir que ambas as embalagens apresentam boa eficiência e são equiparáveis e superiores as demais embalagens biodegradáveis comparadas neste estudo utilizando como fonte, biopolímeros renováveis.

Outros trabalhos deverão ser elaborados verificando outras fontes poliméricas incorporadas com a farinha de melancia e o amido do tubérculo de *S. elatior*, verificando novas características de embalagens biodegradáveis com maior resistência, durabilidade e biodegradabilidade.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde; a Universidade Federal de Goiás; ao Professor Doutor Alain Chautems; aos laboratórios de Sementes e Pós-Colheita, Microscopia Óptica de Alta Resolução, Química de Produtos Naturais, Bioensaios e Biomoléculas, Química Tecnológica, Microscopia Eletrônica e de Varredura de Alta Resolução e ao Herbário do IF Goiano; aos órgãos de fomento em pesquisa, CAPES, CNPq, FINEP e FAPEG, esta última pela bolsa de mestrado em Agroquímica para o primeiro autor.

Referências

- Araújo, M. C. B., & Silva-Cavalcanti, J. S. (2016). Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plástico. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 10, 74-81.
- Benevides, D. M. G., Pinto Costa, B. J., De Almeida, H. S. A., Melo, E. C. C., Silva Macedo, R. C., Lemos, J. F., Lima Leite, R. H., & Paiva Soares, K. M. (2020). Uso de coberturas a base de fécula de mandioca e quitosana na manutenção da qualidade de camarão embalado a vácuo. *Research, Society and Development*, 9, e275985714.
- Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., & Ferreira, M. S. L. (2019). Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Research International*, 121, 412-421.
- Campagner, M. R., Moris, V. A. S., Pitombo, L. M., Carmo, J. B., & Paiva, J. M. F. (2014). Filmes poliméricos baseados em amido e lignossulfonatos: Preparação, propriedades e avaliação da biodegradação. *Polímeros*, 24, 740-751.
- Carissimi, M., Simone, H. F., & Rech, R. (2018). Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. *Algal Research*, 32, 201-209.

Costa, D. M. A., Santos, A. F., Silva, E. D., & Silva, I. A. (2017). Desenvolvimento e Caracterização de filmes à base de amido de feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). *Holos*, 7, 2-16.

Dantas, E. A., Costa, S. S., Cruz, L. S., Bramont, W. B., Costa, A. S., Padilha, F. F., Druzian, J. I., & Machado, B. A. S. (2015). Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicalis. *Ciência Rural*, 45, 142-8.

Da Silva, E. S., Carmo, I. L. G., Neto, J. L. L. M., De Medeiros, R. D., De Menezes, P. H. S., & Rodriguez, C. A. (2017). Características agronômicas de cultivares de melancias nas condições do Cerrado de Roraima, Brasil. *Scientia Agropecuária*, 8, 193-201.

Silva Rumão, J., & Reinehr, C. O. (2020). Uma abordagem do uso de microbiologia preditiva para formação de biofilmes. *Research, Society and Development*, 9, e90985117.

Araújo, F. P., & Rocha-Filho, L. C. (2019). Special offer while stocks last: high-energy pulse of nectar caused by a massive post-fire flowering of *Sinningia elatior* (Gesneriaceae) in na area of Cerrado and implications for its pollination. *Rodriguésia*, 70, e03462017.

Sousa, R. S., Novais, T. S., Batista, F. O., & Zuñinga, A. D. G. (2020). Análise sensorial de cookie desenvolvidos com farinha da casca de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril). *Research, Society and Development*, 9, e45942816.

Dilkes-Hoffman, L. S., Lane, J. L., Grant, T., Pratt, S.; Lant, P. A., & Laycock, B. (2018). Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste. *Journal of Cleaner Production*, 180, 325-334.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. (4a Ed.), Ed. Digital, 2008. 1020.

Infante, J., Selani, M. M., Toledo, N. M. V., Silveira-Diniz, M. F., Alencar, S. M., & Spoto, M. H. F. (2013). Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicalis. *Revista Alimentos e Nutrição*, 24, 87-91.

Ivankovic, A., Zeljko, K., Talic, S., Benvanda, A. M., & Lasic, M. (2017). Biodegradable packaging in the food industry. *Journal of Food Safety and Food Quality*, 68, 23-52.

Jahed, E., Khaledabad, A., Bari, M. R., & Almasi, H. (2017). Effect of cellulose and lignocellulose nanofibers on the properties of *Origanum vulgare* ssp. *gracile* essential oil-loaded chitosan films. *Reactive and Functional Polymers*, 117, 70-80.

Kayserilioğlu, B. Ş., Bakir, U., Yilmaz, L. & Akkaş, N. (2003). Use of xylan, an agricultural by-product, in wheat gluten based biodegradable films: mechanical, solubility and water vapor transfer rate properties. *Bioresource Technology*, 87, 239-246.

Kim, S., Baek, S-K., & Song, K. B. (2018). Physical and antioxidant properties of alginate films prepared from *Sargassum fulvellum* with black chokeberry extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 157-163.

Lucena, C. A. A., Costa, S. C., Eleamen, G. R. A., Mendonça, E. A. M., & Oliveira E. E. (2017). Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatine para produção de embalagens biodegradáveis. *Polímeros*, 27, 35-41.

Martucci, J. F., & Ruseckaite, R. A. (2009). Tensile properties, barrier properties, and biodegradation in soil of compression – model gelatine-dialdehyde starch films. *Journal of Applied Polymer Science*, 112, 2166-2178.

Marin, L., Stoica, I., Mares, M., Dinu, V., Simionescu, B. C., & Barboiu, M. (2013). Antifungal vanillin-imino-chitosan biodynamic films. *Journal of Materials Chemistry B*, 1, 3353-3358.

Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., & Famá, L. (2017). Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, 176, 187-194.

Menezes Filho, A. C. P, Souza, J. C. P., & Castro, C. F. S. (2019). Avaliação das características poliméricas do biofilme do resíduo de melancias. *Scientia Plena*, 15, 1-11.

Menezes Filho, A. C. P., & Castro, C. F. S. (2019). Análise morfológica foliar por diafanização, morfométrica dos órgãos vegetativos, Composição fitoquímica dos extratos etanólicos e atividade Hemolítica em *Sinningia elatior* (Kunth) Chautems (Gesneriaceae). *Multi-Science Journal*, 2, 14-23.

Menezes Filho, A. C. P., Oliveira Filho, J. G., Christofoli, M., & Castro, C. F. S. (2019). Atividade antioxidante e compostos bioativos em espécies de um fragmento de Cerrado Goiano tipo cerradão. *Colloquium Agrariae*, 15, 1-8.

Menezes Filho, A. C. P., Silva, M. A., Pereira, A. V., Oliveira Filho, J. G., & Castro, C. F.S. (2019). Parâmetros físico-químicos, tecnológicas, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). *Multi-Science Journal*, 1, 1-4.

Mir, S. A., Dar, B. N., Wani, A. A., & Shah, M. A. (2018). Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 141-154.

Mali, S., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2010). Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciência Agrária*, 31, 137-156.

Monterrey-Quintero, E. S., & Sobral, P. S. A. (2000). Preparo e Caracterização de proteínas miofibrilares de tilapia-do-nilo para elaboração de biofilmes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 179-189.

Oliveira, J. B., Grangeiro, L. C., Sobrinho, J. E., Moura, M. S. B., & Carvalho, C. A. C. (2015). Rendimento e qualidade de frutos de melancias em diferentes épocas de plantio. *Revista Caatinga*, 28(2), 19-25.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. 1ª Ed., UAB/NTE/UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. 119 .

Rocha, G. O., Farias, M. G., Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., & Galdeano, M. C. (2014). Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. *Polímeros*. doi:10.1590/0104-1428.1355

Romdhane, M. B., Haddar, A., Ghazala, I., Jeddou, K. B., Helbert, C. B., & Ellouz-Chaabouni, S. (2017). Optimization of polysaccharides extraction from watermelon rinds: Structure, functional and biological activities. *Food Chemistry*, 216, 355-364.

Severino e Souza, A., & Dos Santos, K. G. (2020). Sedimentação de amido de tapioca usando coagulante natural a partir da semente de *Moringa oleifera* Lam. *Research, Society and Development*, 9, e28953169.

Silva, M. C. S., Lima, P. K. D., Silveira, M. F. A., Arthur, V., & Souza, A. R. M. (2019). Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas de filmes de fécula de mandioca incorporados com cafeína irradiada. *Revista Desafios*, 6, 91-9.

Sobral, P. J. A. (2000). Influência da Espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 1251-1259.

Souza, C. O., Silva L. T., & Druzian J. I. (2012). Estudo comparativo da Caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola. *Química Nova*, 35, 262-267.

Zhang, Z-J., Li, N., Li, H-Z., Li, X-J., Cao, J-M., Zhang, G-P., & He, D-L. (2018). Preparation and characterization of biocomposite chitosan film containing *Perilla frutescens* (L.) Britt. essential oil. *Industrial Crops and Products*, 112, 660-667.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho – 60%

Wendel Cruvinel de Sousa – 15%

Carlos Frederico de Souza Castro – 25%