

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES À BASE DE AMIDO DE FEIJÃO MACÁÇAR (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WAP)

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE FILMS FROM MACÁÇAR BEAN STARCH (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WAP)

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN DE FRIJOL MACAÇAR (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WAP)



10.56238/edimpacto2025.090-017

D. M. A. Costa

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Nova Cruz
E-mail: djeson.mateus@ifrn.edu.br

A. F. Santos

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Nova

E. D. Silva

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Nova

I. A. Silva

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Nova

RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidos e caracterizados filmes biodegradáveis à base de amido de feijão macáçar, plastificados com glicerol e com a mistura glicerol e ácido acético glacial (HAc). Os filmes foram obtidos por casting empregando amido de feijão macáçar (3 g/100 g de solução filmogênica) e diferentes concentrações do plastificante glicerol (20 e 30 g/100 g de amido) e da mistura glicerol e ácido acético glacial, nas proporções de 20 g e 10 g/100 g de amido, respectivamente. Os filmes apresentaram boas continuidade, uniformidade, manuseabilidade, transparência e, ainda, ausência de bolhas e rachaduras na superfície. O aumento da quantidade de solução filmogênica nas formulações, de 0,23 para 0,46 g/cm², afetou positivamente a espessura, a gramatura e a densidade, mas não alterou a umidade e transparência dos filmes. O carácter hidrofílico dos filmes cresceu com o aumento da quantidade de plastificante.

Palavras-chave: Polímero. Amido. Feijão. Filmes Biodegradáveis.



ABSTRACT

The present work is related to the preparation and characterization of biodegradable flexible films from macáçar bean starch, plasticized with glycerol and the glycerol and glacial acetic acid (HAc) mixture. The films were obtained by casting using macáçar bean starch (3 g/100 g of film-forming solution) and different concentrations of the glycerol plasticizing agent (20 g and 30 g/100 g of starch) and the glycerol and glacial acetic acid mixture, in the proportions 20 g and 10 g/100 g of film-forming solution, respectively. The films presented good continuity, uniformity, handling, transparency and, also, absence of bubbles and cracks on the surface. The increase in the amount of film-forming solution in the formulations, from 0.23 to 0.46 g/cm², positively affected the thickness, weight and density, but did not alter the moisture and transparency of the films. The hydrophilic character of films increased with the addition of plasticizing agent.

Keywords: Polymer. Starch. Bean. Biodegradable Films.

RESUMEN

En este trabajo, se desarrollaron y caracterizaron películas biodegradables a base de almidón de frijol macassar, plastificado con glicerol y una mezcla de glicerol y ácido acético glacial (HAc). Las películas se obtuvieron mediante colada con almidón de frijol macassar (3 g/100 g de solución filmógena) y diferentes concentraciones del plastificante glicerol (20 y 30 g/100 g de almidón) y una mezcla de glicerol y ácido acético glacial, en proporciones de 20 g y 10 g/100 g de almidón, respectivamente. Las películas mostraron buena continuidad, uniformidad, manejabilidad, transparencia y ausencia de burbujas y grietas superficiales. El aumento de la cantidad de solución filmógena en las formulaciones, de 0,23 a 0,46 g/cm², afectó positivamente el espesor, el gramaje y la densidad, pero no alteró el contenido de humedad ni la transparencia de las películas. La naturaleza hidrófila de las películas aumentó con el aumento del contenido de plastificante.

Palabras clave: Polímero. Almidón. Frijoles. Películas Biodegradables.



1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da indústria petroquímica, iniciado na década de 1920, nos Estados Unidos da América, como resultado de inúmeros trabalhos que visavam à transformação de produtos naturais, uma gama de novos materiais foi descoberta, tendo como matéria-prima básica o petróleo. Dentre esses novos produtos o plástico assumiu e continua sendo um bem material de grande importância econômica e social para a sociedade moderna. Devido a sua não biodegradabilidade, os resíduos decorrentes dos produtos e materiais plásticos, ao serem descartados de maneira inadequada, poluem e contaminam o solo e as reservas hídricas tornando-as inacessíveis ao uso direto pelos seres vivos.

Dessa forma, nas últimas décadas, muitas pesquisas têm sido conduzidas com o intuito de produzir plásticos biodegradáveis à base de amido, que possam substituir, ainda que parcialmente, os sintéticos. Com a biodegradabilidade, os polímeros podem ser consumidos pelos microrganismos e suas enzimas, presentes no solo, sob condições normais de umidade, temperatura e pressão e, assim, contribuir para a redução da poluição do meio ambiente (Lima, 2004).

O uso do amido como matriz polimérica na produção de filmes biodegradáveis deve-se ao seu baixo custo, ser uma matéria prima renovável e, principalmente, às propriedades físico-químicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes (Young, 1984). Devido a linearidade de suas moléculas, quando em solução orientam-se paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilos de polímeros adjacentes. Com isso, ocorre a diminuição da afinidade do polímero por água, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (Wurzburg, 1986).

Os filmes confeccionados exclusivamente com amido são pouco flexíveis, quebradiços, apresentam elevada higroscopia e baixa adequação ao processamento industrial (Mali, Sakanaka, Yamashita & Grossmann, 2005), características que podem ser melhoradas com a inserção de aditivos à matriz polimérica. Para a rigidez, a melhora pode ocorrer com a adição de plastificante, que favorece também as propriedades mecânicas dos filmes (Gontard, Guilbert & Cuq, 1993). Os plastificantes podem também aumentar a flexibilidade dos polímeros e, consequentemente, sua adequação aos processamentos mecânicos industriais. Ao ser adicionado ao polímero, o plastificante penetra na matriz polimérica modificando seu arranjo molecular. Se o plastificante for compatível com a matriz polimérica, ele se difunde entre as macromoléculas do polímero proporcionando maior mobilidade entre as cadeias (Rabelo, 2000).

Além das propriedades mecânicas, os plastificantes alteram as temperaturas de transição vítreia (T_g) e de fusão (T_f) do polímero, pois agem reduzindo ou neutralizando as forças de interação intermoleculares, mas não modificam a natureza química do polímero (Rabelo, 2000). Assim, a presença do plastificante inibe a formação de ligações de hidrogênio, a níveis intra e intermolecular,



participando das ligações com as cadeias, o que reduz a cristalinidade dos grânulos (Ma, Yu & Feng, 2004). Sem a presença de plastificante e em condições ambientais, os filmes de amido são bastante quebradiços.

As propriedades dos filmes de amido dependem também do biopolímero usado, das condições de fabricação e das condições ambientais, que são fatores importantes devido à natureza higroscópica dos biopolímeros (Sobral, 2000).

Os plastificantes mais comumente utilizados em filmes de amido são os polióis, como o glicerol, sorbitol e glicol, os quais reagem com as cadeias poliméricas de amido, proporcionando maior mobilidade molecular e, consequentemente, maior flexibilidade aos seus filmes (Mali *et al.*, 2005). O álcool polivinílico (PVA) também pode ser usado como plastificante, pois, apesar de ser um polímero sintético, é solúvel em água, possui excelente capacidade de formar filmes, é biodegradável e possui baixa toxicidade (Aranhas & Lucas, 2001).

A água também pode ser considerada como um plastificante em filmes, pois possibilita o inchamento e desnaturação dos grânulos, através do rompimento das ligações de hidrogênio entre as cadeias, atuando então como plastificante. Mesmo assim, é necessária a inclusão de outro plastificante para melhorar a flexibilidade e facilitar o processamento dos filmes (Veigas-Santos, Oliveira, Cereda, Alves & Scamparini, 2005).

Várias fontes de amido vêm sendo utilizadas para suprimento da demanda por esse polissacarídeo, como arroz, milho, mandioca e batata. Outra fonte de amido ainda pouco explorada com essa finalidade é o feijão. Segundo Salgado, Guerra, Andrade e Livera (2005), o feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap) apresenta 19,92 % e 41,36 % de amido nas fases verde e madura, respectivamente. Em ambas as fases ocorre predominância da quantidade de amilopectina (13,33 % e 27,10 %) em relação à de amilose (5,51 % e 15,63 %). De acordo com dados da FAO, a produção média mundial de feijão seco, para o período 2010 – 2013, foi de 23,3 milhões de toneladas, ficando o Brasil como o terceiro maior produtor, com 11 % (Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento [SEAB], 2015).

Levando em consideração a alta produção dessa leguminosa no Brasil, este trabalho teve como objetivo produzir e caracterizar filmes biodegradáveis à base de amido de feijão macáçar, visando avaliar o seu potencial como substituto dos polímeros tradicionais.

2 METODOLOGIA

Todos os processamentos para extração do amido do feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap) e ensaios para caracterização dos filmes biodegradáveis foram realizados nos Laboratórios de Processos Químicos, Química Analítica e Química Instrumental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Nova Cruz.

2.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO

O feijão (*Vigna unguiculata* (L.) Wap) utilizado para a extração do amido foi adquirido no comércio varejista do Município de Nova Cruz (RN), no mês de fevereiro de 2017. Inicialmente a matéria prima foi catada, para descarte dos grãos que apresentavam algum aspecto visual de degradação física ou química; lavada em água corrente, para remoção das sujeiras e particulados indesejáveis; e, em seguida, lavada com água destilada.

Os grãos foram triturados em liquidificador doméstico, colocando-se em média 200 g de grãos/1000 mL de água destilada, por um período de 10 minutos, para desintegração das células e liberação dos grânulos de amido. O produto foi filtrado em peneira com malha de 850 µm (20 mesh), por duas vezes, para separação das fibras do material solúvel. O filtrado foi posto em repouso para decantar por aproximadamente 5 horas e, logo após, desprezou-se o sobrenadante. O resíduo seco em estufa com circulação de ar a 60 °C durante 12 horas foi triturado em moinho de facas e, depois, passado em peneira com malha de 425 µm (40 mesh), para homogeneização da granulometria do concentrado amiláceo. Estocou-se o concentrado em geladeira, a 5 °C, para posterior utilização na elaboração dos filmes.

2.2 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes foram obtidos seguindo a técnica de evaporação do solvente, mais conhecida como *casting*, com algumas adaptações. As soluções filmogênicas foram preparadas misturando-se amido, glicerol e ácido acético glacial (HAc), adotando-se as combinações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Combinações adotadas para as formulações das soluções filmogênicas.

Formulação	Amido (g/100 g de dispersão)	Glicerol (g/100 g de amido)	HAc (g/100 g de amido)
F1	3	20	0
F2	3	30	0
F3	3	20	10

Fonte: Autores

As soluções filmogênicas, após preparadas, foram agitadas e aquecidas em Banho Maria (Quimis), a uma taxa de 1,75 °C/min, até atingir a temperatura de 85 °C, permanecendo nesta temperatura por aproximadamente 20 minutos. Em seguida, elas foram aplicadas sobre placas de petri ($\varnothing = 9$ cm). Colocou-se para a formação do filme, em média, 0,23 g/cm² e 0,46 g/cm² de solução filmogênica em cada placa de Petri, correspondendo às gramaturas GR1 e GR2, respectivamente. As soluções foram postas para desidratação em estufa com ventilação forçada, a 40 °C, por 16 h, e logo após acondicionadas em ambiente com atmosfera saturada em NaCl, à temperatura de aproximadamente 25 °C, por um período de 5 dias, para posterior retirada dos filmes e realização dos



ensaios para caracterização (Yang & Paulson, 2000).

Os filmes foram caracterizados quanto aos aspectos subjetivos (continuidade, manuseabilidade, uniformidade, presença de bolha e rachaduras) e objetivos (espessura, gramatura, densidade, umidade, solubilidade em água, transparência e permeabilidade ao vapor de água). Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

2.2.1 Continuidade

Verificou-se visualmente a ausência, ou não, de ruptura após a secagem do filme. Utilizou-se como critério o "SIM" para o filme em estado aceitável e o "NÃO" para o filme em condições inaceitável.

2.2.2 Manuseabilidade

Analisou-se a facilidade de manuseio sem o risco de ruptura, se o material era duro e se tinha facilidade de rasgar. Como critério de aceitabilidade adotou-se também o "SIM" e o "NÃO" para o aceitável e inaceitável, respectivamente.

2.2.3 Uniformidade

Examinou-se na superfície do filme a presença, ou não, de partículas insolúveis, bolhas de ar ou zonas de opacidade, empregando-se os mesmos critérios que os utilizados nas análises da continuidade e manuseabilidade ("SIM" e "NÃO"), conforme a aceitação.

2.2.4 Espessura

A medida da espessura dos filmes foi feita com micrômetro digital (TMX - MED25) com resolução de 0,001 mm, em 10 posições aleatórias para cada amostra. Neste caso, a espessura do filme foi considerada como sendo a média das dez leituras (Sobral, 1999).

2.2.5 Gramatura

O cálculo da gramatura foi realizado utilizando-se a razão entre a massa do filme dividida pela respectiva área ocupada, sendo o resultado expresso em g/m² (Equação 1)

$$(1) \quad G = \frac{m_s}{A}$$

Onde G :

é a gramatura expressa em g/m², m_s é a massa do filme e A é a área ocupada pelo filme.



2.2.6 Densidade

A densidade (d) foi determinada cortando-se amostras de 2 cm x 2 cm dos filmes. Essas amostras foram desidratadas em dessecador contendo sílica gel por três semanas e depois pesadas (Müller, Laurindo & Yamashita, 2008). O cálculo desse parâmetro (g/cm^3) foi feito utilizando a equação 2:

$$(2) \quad d = \frac{m}{A \cdot e}$$

Onde m :

é a massa (g) da amostra do biofilme, A e e são a área (cm^2) e a espessura (cm) da amostra do filme, respectivamente.

2.2.7 Umidade

Determinou-se a umidade coletando-se 3 (três) amostras de filme, medindo cada uma aproximadamente 63,585 cm^2 (placa de Petri), tendo sido previamente medido suas respectivas massas em balança analítica (Bioscale), e em seguida colocadas em estufa (Lucadema) a 105 °C por 24 horas. O cálculo da umidade foi realizado utilizando-se a Equação 3:

$$(3) \quad U = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

Onde U :

é a porcentagem de umidade, m_i é a massa inicial e m_f é a massa final do filme após secagem.

2.2.8 Solubilidade em água

Para essa determinação, seguiu-se o método proposto por Gontard, Duchez, Cuq e Guilbert (1994), com algumas adaptações. Colocou-se uma amostra de filme, com aproximadamente 63,585 cm^2 , em estufa (Lucadema) a 105 °C por 24 horas; em seguida, a amostra foi pesada (m_i) numa balança analítica (Bioscale) e inserida em um Erlenmeyer contendo aproximadamente 100 mL de água destilada, permanecendo sob agitação em shaker (Ika C Mag – HS 7), a 25 °C por 4 horas. Após esse período, descartou-se a porção líquida e o filme foi novamente colocado na estufa a 105 °C por 24 horas, para secagem e posterior medida de sua massa final (m_f). Com esse procedimento determinou-se a perda de massa (p_m) por solubilização do filme, de acordo com a Equação 4:

$$(4) \quad p_m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$



2.2.9 Transparência

A caracterização da transparência foi feita utilizando um espectrofotômetro UV-vis, marca ThermoScientific, modelo Evolution 60S – UV Visible Spectrophotometer, sendo avaliada indiretamente pela transmitância, na faixa de comprimento de onda de 720 nm. O teste em branco foi realizado com água destilada.

2.2.10 Permeabilidade ao vapor de água

Amostras de filme com aproximadamente 9 cm de diâmetro foram fixadas em um Erlenmeyer de 125 mL, contendo 50 mL de água destilada, vedadas as extremidades com fita adesiva, garantindo assim que todo vapor de água migrasse através do filme. Mediú-se a massa inicial do sistema (Becker + água + filme + acessórios) e acondicionou-se em dessecador, a 25 °C; em seguida realizaram-se pesagens a cada 2 horas, por um intervalo de 24 horas.

Os dados obtidos foram expressos pela quantidade de massa permeada (m) em função da área (A). O fluxo de vapor de água (J) foi calculado pela equação 5.

$$(5) \quad j = \frac{\Delta m}{A}$$

Onde Δm :

é a variação de massa (g) e A é a área da abertura do Erlenmeyer, correspondendo a área de exposição à percolação do vapor de água através do filme, cujo valor era de 5,26 cm².

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística dos resultados foi empregado o programa computacional Assistat – Versão 7.7 pt. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias, com nível de significância de 5 %.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO

Com a metodologia utilizada para a extração do amido de feijão (*Vigna unguiculata* (L.) Wap), obteve-se um produto com baixo teor de umidade e de cinzas, cujos valores foram $(5,376 \pm 0,586)$ % e $(0,9020 \pm 0,0254)$ % respectivamente. O produto obtido se encontra parcialmente em condições de ser comercializado no mercado brasileiro, cuja legislação admite um índice máximo de 14 % de umidade e de 0,5 % de cinzas, para amidos comerciais comestíveis (Agência Nacional de Vigilância Sanitária [ANVS], 1978). Embora o índice de cinzas tenha sido superior ao permitido na legislação, os mesmos estão compatíveis com os resultados obtidos para os amidos de milho e de fécula de batata

por Lima, Cabral, Neto e Tavares (2012), os quais foram iguais a $(0,96 \pm 0,09) \%$ e $(0,87 \pm 0,23) \%$, respectivamente.

As características do produto obtido podem variar significativamente de acordo com a matéria-prima, das condições e manejo do solo e, principalmente, da eficiência do processo de extração do amido.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

3.2.1 Aspectos subjetivos

Os filmes produzidos, independentemente da formulação utilizada, apresentaram boa continuidade, uniformidade e fácil manuseabilidade. Não foi observada a formação de bolhas, rachaduras e presença de material insolúvel na sua superfície, o que corrobora os resultados obtidos por Araújo (2014), ao trabalhar com filmes biodegradáveis de amido incorporados com extrato de própolis. No entanto, quando secos em estufa a 105°C , durante 24 horas, os filmes tornaram-se amarelados e quebradiços (Figura 1).

Figura 1: Aspectos visuais dos filmes antes (A) e depois (B) de secos em estufa a 105°C , durante 24 h.



Fonte: Autores

(A)

(B)

Transcorridos 5 (cinco) dias após a secagem, e expostos ao meio ambiente (25°C), os filmes adquiriram novamente plasticidade, comprovando seu caráter hidrofílico (Sobral, 2000; Mali *et al.*, 2005).

3.2.2 Umidade, espessura e densidade

Os dados obtidos para a umidade, espessura e densidade dos filmes produzidos à base de amido de feijão macáçar, plastificados com diferentes formulações de glicerol e HAc, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Umidade, espessura e densidade dos filmes de amido de feijão macáçar, plastificado com diferentes formulações de glicerol e HAc.

Formulação	Umidade / (%)	Espessura / mm	Densidade / (g/cm ³)
F1	14,4541 ^c	0,0905 ^a	1,2515 ^a
F2	26,5034 ^a	0,1028 ^a	1,3168 ^a
F3	16,0168 ^b	0,0913 ^a	1,1973 ^a

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Fonte: Autores

A técnica utilizada para a obtenção dos filmes proporcionou um controle satisfatório da espessura e da densidade dos filmes, visto que esses parâmetros não diferem estatisticamente. Por outro lado, o aumento na quantidade de glicerol e de HAc conferiu maior teor de umidade aos filmes, sendo que o efeito foi mais efetivo com o primeiro plastificante. Este efeito deve-se ao aumento do caráter hidrofílico dos filmes com a presença do glicerol. Comparativamente, os valores encontrados para a espessura e a densidade dos filmes, na formulação da solução filmogênica com 20 % de glicerol, foram inferiores aos obtidos por Isotton (2013).

Com respeito à quantidade de solução filmogênica utilizada para a produção dos filmes, constatou-se que o aumento de 0,23 g/cm² para 0,46 g/cm² não afetou o teor médio de umidade [$(18,9914 \pm 5,4753) \%$], mas proporcionou aumento significativo da espessura (de 0,0689 mm para 0,1209 mm) e da densidade (de 1,1453 g/cm³ para 1,3651 g/cm³) dos filmes ($P \leq 0,05$). Essa variação nos valores desses parâmetros deve-se a maior quantidade de matéria seca existente na constituição dos filmes, implicando em maior espessura e densidade.

3.2.3 Gramatura

As gramaturas dos filmes foram significativamente afetadas com o aumento do teor de glicerol e da quantidade de solução filmogênica. No entanto, com a substituição parcial do glicerol por HAc, em 33,3 %, não houve alteração dessa propriedade ($P \leq 0,05$), conforme Tabela 3. A gramatura contribui diretamente para uma melhor resistência mecânica e de barreira dos filmes, uma vez que uma maior gramatura oferece uma melhor resistência mecânica e, na maioria das vezes, uma melhora na barreira a gases e ao vapor de água do material (Dantas & Lima, 2007). O conhecimento dessa propriedade é bastante importante, pois com a sua informação é possível se determinar a área total de material existente em uma bobina.

Tabela 3: Valores da gramatura dos filmes (g/m^2) à base de amido de feijão macáçar, plastificado com diferentes formulações de glicerol e HAc.

Formulação	Quantidade de solução filmogênica	
	GR1	GR2
F1	79,0000 abB	152,3333 bA
F2	86,7917 abB	185,9140 aA
F3	69,4620 bB	154,8690 bA

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Fonte: Autores

As gramaturas médias iniciais do processo de *casting* foram $0,23 \text{ g}/\text{cm}^2$ e $0,46 \text{ g}/\text{cm}^2$ e as finais, após secagem dos filmes, foram $(0,0078 \pm 0,0010) \text{ g}/\text{cm}^2$ e $(0,0164 \pm 0,0018) \text{ g}/\text{cm}^2$, respectivamente. Portanto, constata-se uma redução das gramaturas finais em relação às iniciais de aproximadamente 28 vezes. Para uma mesma quantidade inicial de solução filmogênica ($0,46 \text{ g}/\text{cm}^2$), o valor da gramatura obtida para os filmes foi inferior à encontrada por Silva (2011). Este fato sugere que houve boa interação entre os constituintes amido, solvente e plastificante, e também uma boa taxa de evaporação do solvente, ocasionando a formação de filmes com baixa gramatura.

3.2.4 Solubilidade em água

A solubilidade média encontrada para os filmes biodegradáveis à base de amido de feijão macáçar foi significativamente modificada com a quantidade de solução filmogênica utilizada na formulação ($P \leq 0,05$). Seus valores variaram de $(11,43 \pm 2,47) \%$ ($0,23 \text{ g}/\text{cm}^3$) para $(21,51 \pm 9,93) \%$ ($0,46 \text{ g}/\text{cm}^3$). Constatou-se uma baixa solubilidade dos filmes obtidos com a primeira formulação, a qual foi inferior à solubilidade dos filmes de amido de pinhão produzidos pela técnica de *casting* por Silva (2011), e à dos filmes de amido de mandioca e proteína de soja obtidos por Rocha, Farias, Carvalho, Ascheri e Galdeano (2014).

Com essas características de baixas solubilidades, os filmes produzidos podem ser utilizados em produtos que necessitem de embalagens com menor solubilidade. Seu uso é inadequado para alimentos que entram em contato com a água e precisam ser solubilizados, podendo atuar como proteção para alimentos em que a atividade de água é alta, quando o alimento entra em contato com a água durante a cocção ou mesmo quando os filmes são ingeridos (comestíveis), conforme Silva (2011).

Verificou-se ainda que o aumento na quantidade de glicerol e a sua substituição parcial por HAc (33,33 %) proporcionou alterações na solubilidade dos filmes (Tabela 4).



Tabela 4: Valores da solubilidade dos filmes (g/100 mL de água), à base de amido de feijão macácar, plastificado com diferentes formulações de glicerol e HAc.

Formulação	Quantidade de solução filmogênica	
	F1	F2
	GR1 0,1088 ^{bB}	GR2 0,1379 ^{cA}
F1	0,0909 ^{cB}	0,1608 ^{bA}
F2	0,1433 ^{aB}	0,3467 ^{aA}
F3		

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Fonte: Autores

Observa-se, ainda, que com a substituição do plastificante glicerol por HAc, ao nível de 33,3 % (F3), houve um acréscimo bastante significativo da solubilidade dos filmes. Portanto, essa permuta entre estes plastificantes não é adequada, principalmente, quando se deseja obter filmes pouco solúveis.

3.2.5 Transparência

A transparência dos filmes, oposto da opacidade, foi medida por meio da transmitância de luz (%) e seus valores indicaram que os tratamentos não afetaram a transparência dos filmes, a exceção quando se fez a permuta do plastificante glicerol pelo HAc (F3), ao nível de 33,3 % ($P \leq 0,05$). Observações semelhantes foram feitas por Henrique (2002) ao produzir filmes de fécula de mandioca modificada.

Em decorrência da substituição do glicerol pelo HAc, formando a mistura filmogênica F3, verificou-se um aumento significativo para a transparência dos filmes obtidos com esta mistura ($P \leq 0,05$). Os filmes obtidos apresentaram transparência de 80,95 % com a mistura e de 75,63 % com as outras formulações, o que representa um aumento de 6,44 % para essa característica dos filmes.

Partindo das soluções filmogênicas iniciais de $0,23 \text{ g/cm}^2$ e $0,46 \text{ g/cm}^2$ obtiveram-se filmes com transparências de 76,85 % e 77,95 %, respectivamente. Comparativamente, estes valores representaram em média 80,12 % da transparência do filme sintético utilizado como testemunha, o qual apresentou transmitância de 96,61 %.

Diante dessa característica (boa transparência), os filmes produzidos à base de amido de feijão macácar são adequados para embalagem de alimentos desidratados ou com baixo teor de umidade, os quais requerem um maior atrativo para a sua comercialização.

3.2.6 Permeabilidade ao vapor de água

Os resultados obtidos para a permeabilidade de água através dos filmes de amido estão apresentados na Tabela 5, cujos dados apontam para um menor valor desse parâmetro quando se utilizam os filmes da formulação F3.



Tabela 5: Permeabilidade acumulativa dos filmes ao vapor de água (g/cm^2), após 24 h de exposição ao ensaio.

Formulações	Permeabilidade		Desvio Padrão	
	GR1	GR2	GR1	GR2
F1	0,2268 ^{aA}	0,1580 ^{aA}	0,0529	0,0283
F2	0,2172 ^{bA}	0,1345 ^{aA}	0,0658	0,0194
F3	0,1300 ^{bA}	0,1389 ^{aA}	0,0076	0,0110

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Fonte: Autores

Embora a substituição do glicerol pelo HAc tenha proporcionado redução no valor desta propriedade, fato que corrobora as observações feitas por Shimazu, Mali e Grossmann (2007), o nível alcançado de $(0,1300 \pm 0,0076) \text{ g}/\text{cm}^2$ encontra-se bastante superior ao obtido por Frágua *et al.* (2015), ao produzirem filmes à base de quitosana, cujo valor médio foi de $0,0170 \text{ g}/\text{cm}^2$.

O efeito impermeabilizante da quantidade de solução filmogênica para produção dos filmes não foi verificada, pois ao permutar a gramatura GR1 por GR2 não ocorreu redução dessa propriedade ($P \leq 0,05$).

4 CONCLUSÃO

Com a metodologia utilizada neste trabalho foi possível extrair amido de feijão macáçar e, com ele, produzir filmes biodegradáveis com boas continuidade, uniformidade, manuseabilidade, transparência e, ainda, ausência de bolhas e rachaduras na superfície.

O aumento da quantidade de solução filmogênica nas formulações produziram filmes mais densos e espessos, mas não influiu nos valores da umidade e transparência.

O carácter hidrofílico dos filmes cresceu com o aumento da quantidade de plastificante.

Os filmes biodegradáveis elaborados com amido de feijão macáçar são adequados para empacotar ou revestir produtos com baixo teor de umidade.

Novos estudos devem ser realizados objetivando melhorar as propriedades mecânicas e de barreira destes polímeros, bem como sua aplicabilidade na produção de sacolas plásticas biodegradáveis.



REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. (1978). Gerência-Geral Alimentos, Resolução - “CNNPA nº 12, de 1978”, *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Recuperado em 30 de Maio, 2017, de http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78.pdf.
- Aranhas, I. B., & Lucas, E. F. (2001). Poli (álcool vinílico) eterificado com cadeias hidrocarbonadas: avaliação do balanço hidrofílico/lipófilo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 11(4), 174-181.
- Araújo, G. K. P. (2014). Desenvolvimento de Filmes Biodegradáveis de Amido Incorporado com Extrato de Própolis. *Trabalho de Conclusão de Curso* – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná, Brasil.
- Dantas, R. L., & Lima, C. A. P. (2007, Dezembro). Qualidade de embalagens flexíveis para alimentos. *9º Congresso Brasileiro de Polímeros*. Campina Grande, PB, Brasil, 8.
- Frágua, R. M., Simão, A. A., Farias, P. V., Queiroz, E. R., Oliveira, E. N. Jr., & Abreu, C. M. P. (2015). Preparo e caracterização de filmes comestíveis de quitosana. *Polímeros*, 25, 48-53.
- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, Chicago, 58(1), 206-211.
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. L., & Guilbert, L. (1994). Edible composite film of wheat gluten and lipids water vapor permeability and other physical properties. *International Journal of Food Sciences and Technology*. Oxford, 29, 39-50.
- Henrique, C. M. (2002). Caracterização de filmes de féculas modificadas de mandioca como subsídios para aplicação em pós-colheita de hortícolas. *Tese (Doutorado)*. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, Brasil.
- Isotton, F. S. (2013). Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de milho eterificado com plastificante glicerol, sorbitol e poli (álcool vinílico). *Dissertação (Mestrado)*. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, RS, Brasil.
- Lima, S. L. T. (2004). Reciclagem e biodegradação de plásticos. *Revista Científica do IMAPES*, Sorocaba, 28-34.
- Lima, B. N. B., Cabral, T. B., Neto, R. P. C., & Tavares, M. I. B. (2012). Estudo do Amido de Farinhas Comerciais Comestíveis. *Polímeros*, 22(5), 486-490.
- Ma, X. F., Yu, J. G., & Feng, J. (2004). A mixed plasticizer for the preparation of thermoplastic starch. *Chinese Chemical Letters*, 15, 741-744.
- Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., & Grossmann, M. V. E. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymer*, 60, 283-289.
- Müller, C., Laurindo, J., Yamashita, F. (2008). Evolution of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films thought a solubility approach. *Carbohydr Polym*, 72, 82-87.



Rabelo, M. (2000). Aditivação de Polímeros. São Paulo: *Artlibler*.

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*, 24(5), 587-595.

Salgado, S. M., Guerra, N. B., Andrade, S. A. C., & Livera, A. V. S. (2005). Caracterização Físico-Química do Grânulo do Amido do Feijão Caupi. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(3), 525-530.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. (2015). *Departamento de Economia Rural. Feijão* – Análise da Conjuntura Agropecuária. Recuperado em 8 de Abril, 2017, de http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2016/_feijao_2015_16.pdf.

Shimazu, A. A., Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2007). Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca, *Semina: Ciências Agrárias*, 28(1), 79-88.

Silva, E. M. (2011). Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão. *Trabalho (Conclusão de Curso)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.

Sobral, P. J. A. (1999). Propriedades funcionais de biofilmes de gelatina em função da espessura. *Ciência & Engenharia*, Uberlândia, 8(1), 60-67.

Sobral, P. J. A. (2000). Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35(6), 1251-1259.

Veiga-Santos, P., Oliveira, L. M., Cereda, M. P., Alves, A. J., & Scamparini, A. R. P. (2005). Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: effect additives deacetylated xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 19, 341-349.

Wurzburg, O. B. (1986). Cross-linking starches. In: WURZBURG, O. B. Modified Starches: Properties and uses. *Boca Raton: CRC Press*, p.41-53.

Yang, L., & Paulson, A. T. (2000). Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, 33, 563-570.

Young, A. H. (1984). Fractionation of starch. *Starch chemistry and technology*. 2.ed. Orlando: Academic Press, 249-283.