

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE MILHO INCORPORADOS COM EXTRATO DE PRÓPOLIS-VERDE¹

Priscila Ferreira de Sales²
Yago Ribeiro de Oliveira Silva
Leonardo Silva Santos Lapa
Francisco Hélcio Canuto Amaral

RESUMO

Foram sintetizados filmes biodegradáveis empregando quantidades distintas de amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde em um planejamento fatorial completo com três pontos centrais. Os materiais foram analisados com base em duas propriedades: físicas (espessura, densidade, gramatura e índice de intumescimento) e óptica (transparência). Em todas as propriedades analisadas foi empregado o gráfico de Pareto com a finalidade de verificar o efeito das variáveis e de suas interações. Foram construídas superfícies de resposta para as interações e regressões que foram significativas ao teste conduzido com 95% de confiança. Os resultados permitiram evidenciar que dentre os parâmetros avaliados, o amido de milho foi o que mais influenciou na determinação da espessura, densidade, gramatura e transparência, justificado pela maior quantidade inserida durante a síntese e por ser empregado como agente formador. Por outro lado, na determinação do índice de intumescimento, a glicerina foi o fator de maior influência, já que a mesma é adicionada como agente plastificante. Após a avaliação dos filmes, foram selecionados os que apresentaram as características mais adequadas para aplicação na conservação de bananas-prata (*Musa spp.*). Os resultados foram promissores na medida em que as frutas embaladas apresentaram menor perda de massa, quando comparadas à amostra sem embalagem, indicando que os biofilmes produzidos são adequados por impedirem as reações de oxidação e deterioração de alimentos.

Palavras-chave: Biofilmes. Ferramentas quimiométricas. Conservação de bananas.

CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF BIODEGRADABLE STARCH FILMS INCORPORATED WITH PROPOLIS-GREEN EXTRACT

ABSTRACT

Biodegradable films were synthesized using different amounts of corn starch, glycerin and green propolis extract in a complete factorial design with three central points. The materials obtained were analyzed based of two properties: physical (thickness, density, weight and swelling index) and optics (transparency). In all the properties analyzed, the Pareto graph was used in order to verify the effect of the variables and their interactions. Response surfaces were built for interactions and regressions that were significant to the test conducted with 95% confidence. The results showed that among the evaluated parameters, corn starch was the

¹ **Como citar este artigo:** SALES, P. F. *et al.* Caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis de amido de incorporados de extrato de própolis-verde. **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 2, e00958, jul./dez. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n2.e958.

² **Autor para correspondência:** Priscila Ferreira de Sales, e-mail: priscila.sales@cefetmg.br.

one that most influenced the determination of thickness, density, weight and transparency, justified by the greater quantity inserted during the synthesis and for being used as a forming agent. On the other hand, in the determination of the swelling index, glycerin was the factor of greatest influence, since it is added as a plasticizer. After the evaluation of the synthesized films, those that had the most suitable characteristics for application in the conservation of silver bananas (*Musa spp.*) were selected. The results were promising insofar as the packaged fruits show less loss of mass, when compared to the sample without packaging, indicating that the biofilms produced are adequate for preventing oxidation and food spoilage reactions.

Keywords: Biofilms. Chemometric tools. Banana's conservation.

1 INTRODUÇÃO

Quando se relata a tecnologia de empacotamento ativo, deve-se evidenciar que ela está projetada para estender a vida útil dos produtos alimentícios, mantendo sua qualidade nutricional e sensorial, bem como sua segurança microbiológica (MATTA; TAVERA-QUIROZ; BERTOLA, 2019). O uso de plásticos convencionais para embalagens alimentícias tem apresentado um número considerável de inconvenientes que incluem a geração de resíduos, uma vez que, por serem de origem petroquímica, degradam lentamente (AZIZ; SALAMA; SABAA, 2018).

Para minimizar esse problema há uma busca crescente pelo desenvolvimento de novos materiais voltados para a produção vinculada à preocupação com o meio ambiente. Nesse contexto, os filmes comestíveis preparados a partir de polímeros biodegradáveis podem ser considerados como uma alternativa eficaz para evitar os problemas resultantes da eliminação de embalagens (AZIZ; SALAMA; SABAA, 2018).

Uma vez empregados, os recobrimentos comestíveis emergem com uma alternativa promissora para aumentar a qualidade e a preservação do processamento de alimentos e/ou de produtos de estoque (CAZÓN *et al.*, 2017). Na elaboração desse tipo de material verifica-se a inserção de três componentes: agente formador, solvente e plastificante, sendo que cada um apresenta uma finalidade específica. A combinação resultante da união entre os mesmos é capaz de formar uma estrutura contínua por meio de interações entre as moléculas, sob ação de um tratamento físico ou químico (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Recentemente, os filmes comestíveis são preparados no sentido de alcançar o termo “embalagem ativa”, a qual pode conter antioxidantes para retardar os efeitos prejudiciais relacionados à perda de qualidade dos alimentos (MATTA; TAVERA-QUIROZ; BERTOLA, 2019). A incorporação de substâncias obtidas na fauna e flora brasileira são conhecidas, destacando-se a utilização da própolis-verde, a qual consiste de uma composição de

substâncias resinosas que abelhas da espécie *Apis mellifera* coletam de várias plantas e, a utilizam para proteção de crias e do alimento armazenado, em sua colmeia (ARAÚJO *et al.*, 2012).

De acordo com a análise cromatográfica do extrato de própolis-verde, conduzida por Lapa *et al.* (2019), os principais constituintes encontrados são: etilhidrocinamato, ácido dihidrocinâmico, nerolidol, espatulenol, ácido benzenobutanóico e 1-metil 1,2,3,4,5,6,7,8-octahidroantraceno, correspondendo a 87,90% dos compostos voláteis identificados. Por sua vez, o apresenta as propriedades antineoplásica e ansiolítica, além de ser potencializador para permeação de drogas terapêuticas na forma transdérmica, larvicida, antioxidante e antimicrobiana (ARAÚJO *et al.*, 2016; DINIZ *et al.*, 2016). O componente espatulenol apresenta atividade biológica importante com propriedades antibacterianas e moderada atividade citotóxica (SALATINO, 2005; SANTOS *et al.*, 2012). Como a mistura pode ser encontrada na cidade de Bambuí/MG, buscou-se utilizá-la como aditivo nos materiais sintetizados.

Quando à aplicação dos filmes biodegradáveis está voltada aos produtos alimentícios, são verificados relatos na literatura que enfatizam a utilização dos mesmos na conservação de frutas, as quais incluem, dentre outras, manga “Tommy Atkins” (VIEIRA *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2011), goiabas (RAMOS *et al.*, 2013); tomates (MOHR *et al.*, 2014); morango (FRIEDRICH, 2017; PAVINATTO *et al.*, 2020); uvas vermelhas “Pedro Sato” (FORMIGA *et al.*, 2019), lima ácida Tahiti (DOTTO *et al.*, 2015) e frutas de mirtilo (MANNOZZIA *et al.*, 2017).

Diante do que foi abordado, este trabalho buscou sintetizar filmes biodegradáveis a partir de amido de milho, incorporados com extrato de própolis-verde, sendo avaliadas as características e propriedades por meio de ferramentas quimiométricas. Os materiais sintetizados nas melhores condições foram então empregados para a construção de embalagens destinadas à conservação de banana-prata (*Musa spp.*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais utilizados

Para a síntese dos filmes, foi utilizado como agente formador amido de milho (Marca: MAIZENA), agente plastificante glicerina bidestilada (Marca: FARMAX) e como aditivo

extrato de própolis-verde (Marca: Natucentro), os quais foram adquiridos em farmácias e supermercados locais, de modo a tornar a síntese de baixo custo e fácil acesso.

2.2 Síntese dos filmes biodegradáveis

Foi utilizada a técnica “*casting*”, com adaptações, conforme metodologia descrita na literatura (VEIGA-SANTOS *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011). Tipicamente o processo de síntese consistiu em preparar uma mistura composta por amido de milho e glicerina. Em seguida, a suspensão coloidal foi aquecida até a temperatura de 65 °C, sendo o sistema mantido sob agitação manual constante. Em seguida, o extrato de própolis-verde foi adicionado na quantidade desejada e a solução resultante foi mantida sob aquecimento e agitação manual por 10 minutos. Após o término deste procedimento, as soluções filmogênicas foram colocadas em um recipiente planificado, sendo secas à temperatura ambiente durante três dias para total evaporação da água e formação dos biofilmes.

Com o intuito de avaliar o efeito dos parâmetros de massa de amido de milho (X_1), glicerina (X_2) e extrato de própolis-verde (X_3) na preparação dos filmes biodegradáveis, os experimentos foram conduzidos empregando o Planejamento Fatorial Completo com Ponto Central. Para as três variáveis estudadas, esse tipo de delineamento envolveu oito pontos fatoriais e três pontos centrais, contabilizando a síntese de 11 filmes. As quantidades dos precursores utilizados são descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Matriz contendo as condições do Planejamento Fatorial Completo empregado na síntese de biofilmes

Ensaio	Amido de milho (X_1) (g)	Glicerina (X_2) (g)	Extrato de própolis-verde (X_3) (g)
1	3	0,4	0,12
2	3	0,4	0,20
3	3	1,0	0,12
4	3	1,0	0,20
5	4	0,4	0,12
6	4	0,4	0,20
7	4	1,0	0,12
8	4	1,0	0,20
9	5	0,7	0,16
10	5	0,7	0,16
11	5	0,7	0,16

Fonte: Autores (2020).

Todas as sínteses foram conduzidas nas mesmas condições de temperatura e pressão no Laboratório de Biotecnologia localizado no Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Bambuí*.

2.3 Caracterização dos filmes

2.3.1 Propriedades físicas (densidade, espessura, gramatura e índice de intumescimento)

A densidade, espessura e gramatura foram realizadas segundo Sarantopoulos *et al.* (2002). A espessura foi obtida com micrômetro (Carbografito $\pm 0,01$ mm) em cinco pontos de cada corpo de prova de 4 cm^2 e os resultados foram expressos em milímetros (mm). A densidade foi determinada por meio da razão entre a massa e a espessura medida nos cinco pontos aleatórios do corpo de prova de 4 cm^2 , cujos resultados foram expressos em g cm^{-3} . A gramatura foi determinada pela razão entre a massa e área de biofilmes com 2 cm^2 . Os resultados foram expressos em g m^{-2} . O índice intumescimento foi realizado com corpos de prova de 2 cm^2 . A massa seca inicial foi obtida após a pesagem dos materiais. Transcorridos os intervalos pré-determinados (1 minuto, 30 minutos e 60 minutos), os corpos de prova foram removidos e o excesso de água foi absorvido em papel filtro, durante 1 minuto. Os filmes hidratados tiveram novamente sua massa aferida. O índice de intumescimento (I_i) médio foi calculado conforme equação 1, e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

$$I_i (\%) = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que: m_f é a massa final e m_i , a massa inicial.

2.3.2 Propriedade óptica (Transparência)

A transparência dos filmes foi determinada em espectrofotômetro UV/Visível (METASH- Modelo V-5000). Para tanto, os corpos de prova foram cortados em retângulos e aderidos à parede interna da cubeta de quartzo. Nessas condições, foi medida a transmitância em 600 nm. A transparência dos biofilmes foi calculada pela equação 2:

$$\text{Transparência} = \frac{-\log T}{x} \quad (2)$$

Em que T é a transmissão (%) em 600 nm e X é a espessura do filme em mm. Os resultados foram apresentados como a razão entre a absorbância em 600 nm e a espessura do filme em milímetros ($\text{Abs } 600 \text{ nm mm}^{-1}$) (DOU *et al.*, 2018).

2.4 Análise matemática dos dados através de ferramentas quimiométricas

Para o delineamento experimental, análise dos efeitos das variáveis e de suas interações nas propriedades analisadas, bem como a otimização do sistema através da estimativa dos parâmetros estatísticos foi empregado o programa Chemoface versão 1.5 (NUNES *et al.*, 2012). Para todas as análises de caracterização, foi estabelecida a média dos resultados que foram consistentes ao conjunto de dados. Como as amostras do ponto central foram sintetizadas nas mesmas condições, utilizou-se a média dos resultados similares.

A fim de verificar o efeito dos precursores (amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde) e de suas interações em todas as propriedades analisadas (físicas e óptica), foi empregado o gráfico de Pareto em testes conduzidos com 95% de confiança.

Para avaliar a tendência do comportamento das propriedades analisadas em função das variáveis e de suas interações, os resultados experimentais foram ajustados a quatro modelos de regressão: linear, interação, quadrático e quadrático puro. Para a construção das superfícies de resposta foi empregado o modelo significativo a 95% de confiança.

2.5 Aplicação dos filmes biodegradáveis na conservação de bananas

Os filmes biodegradáveis que apresentaram as propriedades mais adequadas para embalagem de alimentos foram aplicados na conservação de banana-prata (*Musa spp.*), sendo avaliada a perda de massa em análises conduzidas em duplicata das amostras após cinco dias de embalagem. As amostras embaladas foram então comparadas com a amostra controle (sem embalagem), em que todas foram submetidas às mesmas condições climáticas (umidade relativa do ar, temperatura e pressão). A perda de massa percentual pode ser determinada pela equação 3:

$$\text{Perdademassa}(\%) = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Em que m_f corresponde à massa final (g) e m_i , à massa inicial (g).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das propriedades físicas: espessura, densidade, gramatura e índice de intumescimento

Na Tabela 2 estão inseridos os resultados obtidos da análise das propriedades físicas.

Tabela 2- Resultados das análises das propriedades físicas dos biofilmes sintetizados

Amostra	Espessura média (mm)	Densidade (g cm ⁻³)	Gramatura (g m ⁻²)	Índice de intumescimento (%)
1	0,040±0	1,000	40	84,25
2	0,062±0,00447	0,968	60	173,11
3	0,075± 0	1,300	97,5	53,06
4	0,052±0,00447	1,153	60	57,12
5	0,090±0	1,194	107,5	78,07
6	0,070±0,00707	1,286	90	50,09
7	0,076±0,00548	1,382	105	72,56
8	0,070±0	1,357	95	50,16
9	0,100± 0,00447	1,350	135	93,47
10	0,098±0,00447	1,224	120	82,71
11	0,099±0,00353	1,288	127,5	93,29

Fonte: Autores (2020).

Dentre as propriedades analisadas, destaca-se a espessura visto que a mesma é considerada um parâmetro que influencia as demais e o seu controle torna-se importante na medida em que se permite avaliar a uniformidade do material, a repetibilidade da medida de suas propriedades e a validade das comparações entre os filmes (CUQ *et al.*, 1996).

3.1.1 Efeito das variáveis e de suas interações nas propriedades dos filmes biodegradáveis sintetizados: análise do gráfico de Pareto

A fim de verificar o efeito dos precursores na determinação das propriedades físicas analisadas, foi construído o gráfico de Pareto, cujos resultados são apresentados na Figura 1.

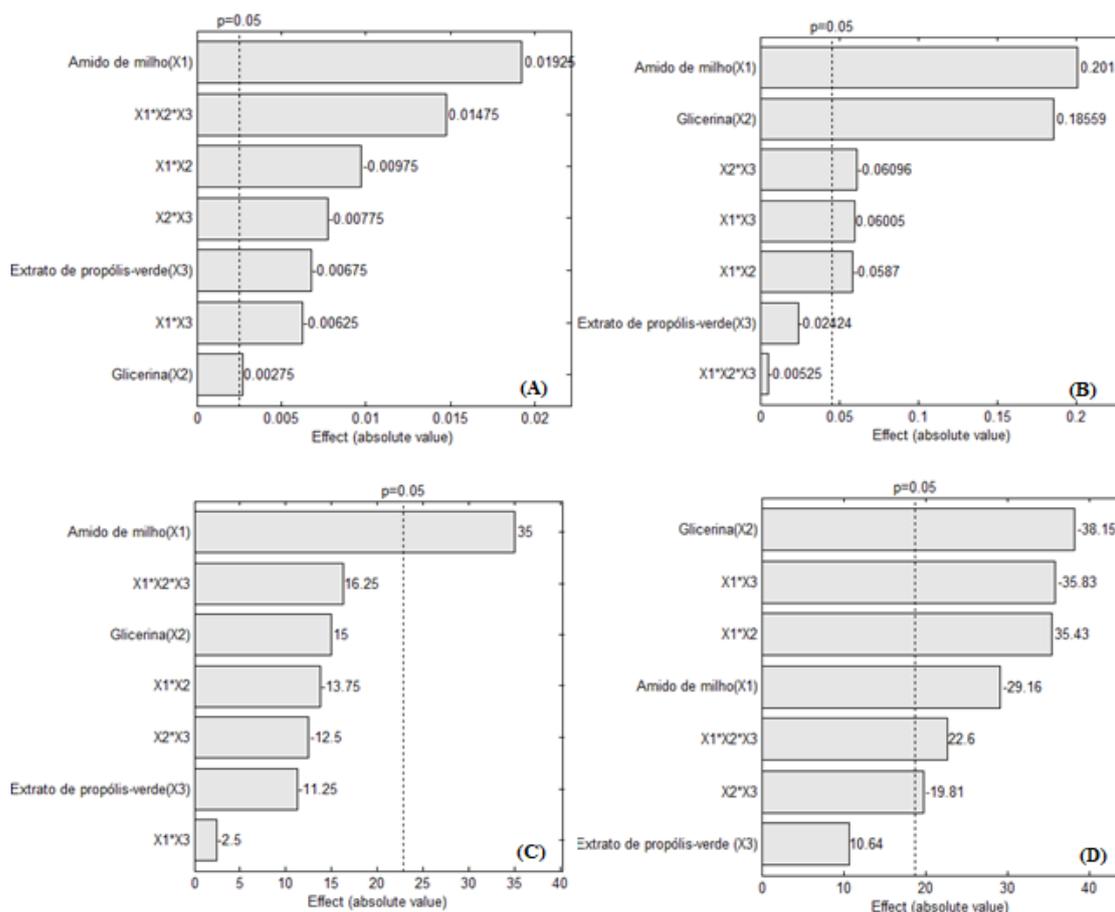


Figura 1 - Gráfico de Pareto para a análise de espessura (a); densidade (b); gramatura (c) e índice de intumescimento (d)

Fonte: Autores (2020).

Os resultados revelaram que todos os parâmetros analisados, bem como suas interações foram significativos na análise da espessura. Dentre os parâmetros individuais avaliados, o amido de milho foi o que mais influenciou, o qual por sua vez exibiu um efeito positivo para a análise em estudo. De acordo com a literatura, o amido de milho apresenta altos teores de amilose e amilopectina, que após secagem se reorganizam. Dessa forma, quanto maior a quantidade de amido presente, maior o valor da propriedade analisada após a secagem (MATTA; TAVERA-QUIROZ; BERTOLA, 2019).

Nota-se ainda que a interação dos componentes: amido de milho e glicerina exibiu um efeito negativo. A glicerina como plastificante tende a ter uma maior facilidade de se ligar à matriz de amido de milho, uma vez que essas moléculas são bastante polares e capazes de realizar interações do tipo *ligações de hidrogênio* entre hidroxilas, o que diminui os espaços entre as moléculas de amido fazendo com que as mesmas fiquem mais próximas umas das outras. Observa-se então a redução da espessura, ao mesmo tempo, que se promove a lubrificação intramolecular, a qual permite o deslizamento entre as cadeias (SOARES *et al.*,

2014). Para alguns autores, a espessura é uma resposta à conformação molecular e geometria das interações entre a matriz dos filmes e o agente plastificante utilizado (ZHANG; HAN, 2006). Observa-se ainda que a glicerina foi o fator menos influenciável na determinação dessa propriedade, exibindo efeito positivo na determinação dessa propriedade. Tais resultados se encontram coerentes aos obtidos na literatura (FAKHOURI *et al.*, 2003; FARIAS *et al.*, 2012).

Na análise da densidade foi observado que o fator que mais influenciou foi o amido de milho, sendo que o mesmo exibiu um efeito positivo. Quimicamente, o amido é um polímero com massa molecular elevada, formado de unidades de D-glucopiranosose, as quais se mantêm unidas por ligações glicosídicas. Nesse polissacarídeo, o arranjo da amilose e da amilopectina nos grânulos leva à formação de zonas de deposição mais ou menos densas. Para quantidades maiores de amido, verifica-se uma maior quantidade de amilopectina, a qual por sua vez é mais densa (BRIASSOULIS, 2004).

Os resultados da análise de gramatura mostraram que esta propriedade foi influenciada apenas pela quantidade de amido de milho, o qual por sua vez exibiu um efeito positivo. Tal fato está associado ao aumento da quantidade de massa de amido utilizada, a qual por sua vez é superior à dos demais precursores. Como as quantidades do extrato de própolis-verde são menores e apresentam uma pequena faixa de variação, verificou-se que esse fator não afetou de maneira significativa na análise em questão, conforme verificado na literatura (SILVA; SILVA, 2005).

Na análise do índice de intumescimento foi observado que com exceção da quantidade percentual do extrato de própolis-verde, todos os demais parâmetros analisados, bem como suas interações foram significativas. Os resultados ainda mostram que a quantidade de glicerina é o fator que exibe maior influência na análise do índice de intumescimento, sendo que a mesma apresenta um efeito negativo. O fenômeno observado pode ser atribuído ao fato de que quando se tem maiores quantidades glicerina, tem-se uma maior possibilidade de interação do tipo *ligações de hidrogênio* com o agente formador, diminuindo a mobilidade molecular e possível interação com a água (SOARES *et al.*, 2014).

3.2 Análise da transparência como propriedade óptica

A transparência é uma propriedade de fundamental importância. De acordo com abordagens descritas na literatura, para a área de alimentos é desejável uma embalagem transparente, já que filmes menos opacos permitem a visualização da qualidade do produto

(FERNANDES *et al.*, 2015). Por outro lado, deve-se evidenciar que quanto maior for a transparência de um filme, maior será a influência da luz sobre as reações de oxidação e degradação do alimento revestido (CARISSIMI, 2017). Desse modo, evidencia-se a importância da adição do extrato de própolis-verde como agente retardador de tais reações.

Baixos valores de opacidade indicam filmes transparentes. Os resultados das análises de transparência e o efeito das variáveis e de suas interações são descritos respectivamente na Tabela 3 e Figura 3.

Tabela 3- Resultados da análise de transparência dos biofilmes sintetizados

Amostra	Transparência (Abs ₆₀₀ mm ⁻¹)
1	15,80
2	10,22
3	7,17
4	11,09
5	5,75
6	7,75
7	7,47
8	7,62
9	5,65
10	5,46
11	6,01

Fonte: Autores (2020).

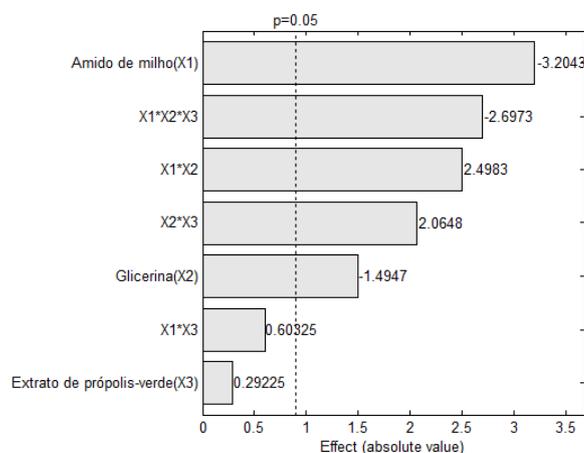


Figura 3 - Gráfico de Pareto para a análise das variáveis e de suas interações para a determinação da transparência dos biofilmes
Fonte: Autores (2020).

A análise da Figura 3 revela que os filmes biodegradáveis ficaram menos transparentes na medida em que foi aumentada a quantidade de amido de milho, sendo que este foi o fator mais significativo na determinação da propriedade analisada. Em quantidades superiores de amido em suspensão, verifica-se um número maior de moléculas de amilose em solução, que por serem lineares, tendem a orientar-se, paralelamente, aproximando o suficiente para serem formadas interações do tipo *ligações de hidrogênio* entre hidroxilas de cadeias adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (FAKHOURI *et al.*, 2007). Observa-se ainda que a glicerina exibiu um efeito negativo na análise da propriedade, o que também é atribuído às forças entre moléculas adjacentes. A interação significativa dos três fatores analisados revela a importância da inserção dos três componentes na análise dessa propriedade.

Em resultados descritos na literatura, é desejável que as embalagens apresentem elevado brilho e transparência. No entanto, a cor não é um fator limitante quando se faz necessário a proteção contra a incidência de luz (AVELINO, 2019). Para tanto, torna-se necessário avaliar outras propriedades para uma escolha ideal.

3.3 Aplicação da Superfície de Resposta para otimização e observação da tendência das propriedades analisadas

3.3.1 Espessura

Para a determinação da espessura, dentre os modelos avaliados, o correspondente ao modelo quadrático puro foi o mais adequado. A qualidade do ajuste indicou que a regressão foi significativa para esse modelo, uma vez que o valor do coeficiente de correlação foi de 0,7775 considerando os valores de b significativos. O valor de p correspondente a $1,4879 \times 10^{-12}$ validou a utilização do modelo para se estudar a espessura dos biofilmes produzidos. A espessura dos biofilmes pode ser então estimada a partir da equação 4:

$$y = 2,9911 \times 10^{13} - 4,1098 \times 10^{13} X_1 - 2,6469 \times 10^{13} X_2 + 8,2066 \times 10^{14} X_3 + 5,1373 \times 10^{12} X_1^2 + 1,8906 \times 10^{13} X_2^2 - 2,7355 \times 10^{13} X_3^2 \quad (4)$$

3.3.2 Densidade

Na determinação da densidade, o modelo mais ajustável foi o correspondente ao de interação. O ajuste para as superfícies de resposta indicou o valor do coeficiente de correlação correspondente a 0,7609 considerando os valores de b significativos. O valor de p correspondente a $2,3614 \times 10^{-13}$ validou a utilização do modelo para se estudar a densidade dos biofilmes sintetizados. As respostas para as interações significativas são apresentadas na Figura 4.

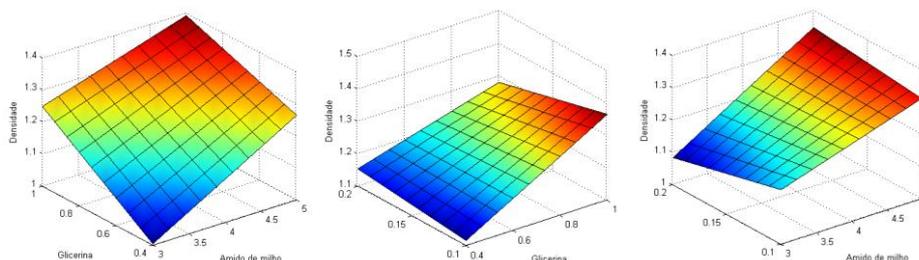


Figura 4 - Superfície de resposta obtida por meio da interação entre glicerina e amido de milho (A), extrato de própolis-verde e amido de milho (B) e extrato de própolis-verde e glicerina (C) na análise da densidade
Fonte: Autores (2020).

A análise indicou que os filmes se tornaram mais densos na medida em que foram aumentadas as quantidades dos precursores empregados, o que possivelmente se encontra associada a uma maior quantidade de matéria seca empregada durante a síntese. A densidade dos biofilmes pode ser estimada a partir da equação 5 de interação que se segue:

$$y = 0,5177 + 0,0789 X_1 + 1,0055 X_2 - 1,2220 X_3 - 0,0978 X_1 X_2 + 0,6005 X_1 X_3 - 2,0320 X_2 X_3 \quad (5)$$

3.3.3 Índice de intumescimento

Para a determinação do índice de intumescimento os dados foram mais ajustáveis ao modelo de interação. O ajuste das superfícies de resposta indicou que a regressão foi significativa para o modelo descrito, uma vez que o valor do coeficiente de correlação foi de 0,7689 considerando os valores de b significativos. O valor de p correspondente a 0,0408 validou a utilização do modelo para se estudar o índice de intumescimento dos biofilmes produzidos. Os resultados para as interações significativas são apresentados na Figura 5.

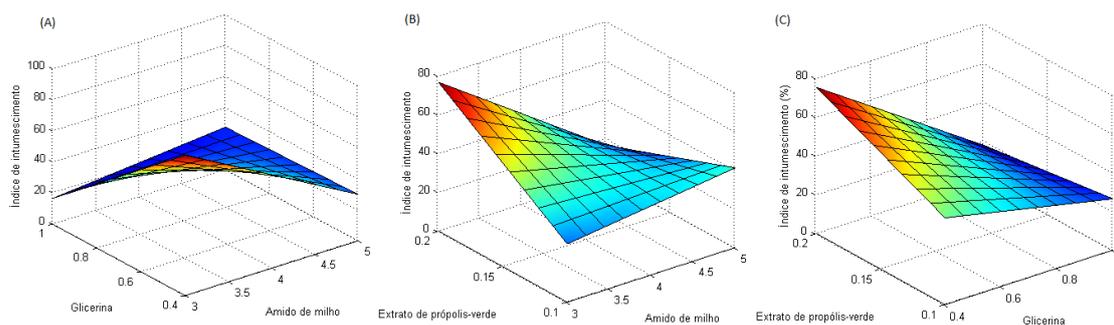


Figura 5 - Superfície de resposta obtida por meio da interação entre glicerina e amido de milho (A), extrato de própolis-verde e amido de milho (B) e extrato de própolis-verde e glicerina (C) na análise do índice de intumescimento

Fonte: Autores (2020).

Verificou-se que os filmes que apresentaram maior índice de intumescimento foram aqueles onde empregou-se menores quantidades de amido de milho e glicerina, o que pode ser atribuído à menor quantidade de interações do tipo *ligações de hidrogênio* entre tais componentes, aumentando a mobilidade molecular e a capacidade de interação com a água. A análise da Figura 5 (A) e (C) revelou que a quantidade de glicerina foi o fator que mais influenciou na análise do parâmetro estudado.

3.3.4 Transparência

Os resultados de transparência, cujos dados foram mais ajustáveis ao modelo de interação, são apresentados na Tabela 8.

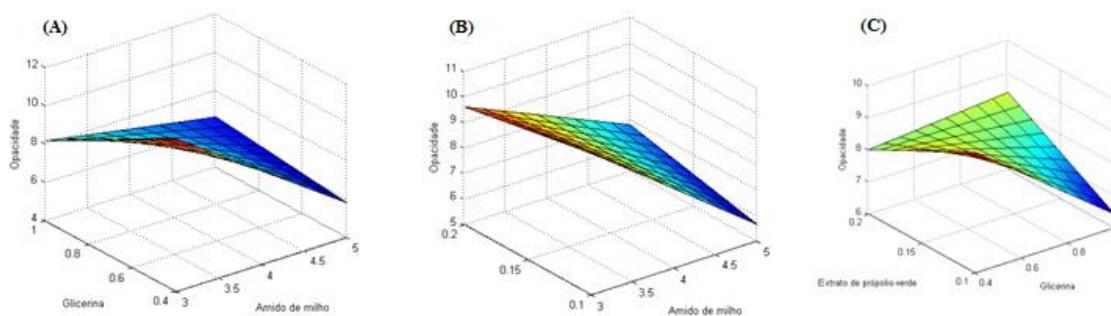


Figura 7 - Superfície de resposta obtida por meio da interação entre glicerina e amido de milho (A), extrato de própolis-verde e amido de milho (B) e extrato de própolis-verde e glicerina (C) na análise da transparência

Fonte: Autores (2020).

A análise da Figura 7 A evidencia que os biofilmes mais transparentes são aqueles nos quais são empregadas menores quantidades de amido de milho. Pode-se ainda verificar que o extrato de própolis-verde não exibiu efeito significativo para a determinação dessa propriedade, uma vez que foi inserido em pequenas quantidades, quando comparadas às dos

demais precursores. Os resultados estimados para a opacidade podem ser descritos por meio da aplicação da equação 6:

$$y = 40,7450 - 6,1456 X_1 - 26,9208 X_2 - 83,6167 X_3 + 3,8062 X_1X_2 + 10,3875 X_1X_3 + 6,5417 X_2X_3 \quad (6)$$

De acordo com abordagens descritas na literatura, filmes de ótima qualidade nos aspectos visuais são aqueles que se mostram transparentes e inodoros (NOGUEIRA *et al.*, 2018).

3.4 Aplicação dos filmes biodegradáveis na conservação de bananas-prata

Foram selecionados os filmes biodegradáveis que apresentaram as características táteis e visuais mais adequadas (poucas rupturas, consistentes e homogêneos) para a aplicação em embalagens destinadas à conservação de bananas-prata (*Musa spp.*). Na Figura 9 são apresentados os resultados médios das perdas de massa para as amostras que foram embaladas pelos filmes biodegradáveis 4, 5, 6, 7 e 8, comparadas com a amostra controle (sem embalagem).

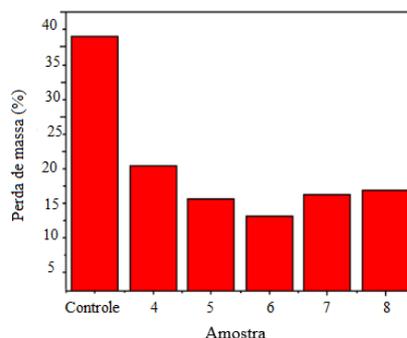


Figura 9 - Análise comparativa da perda de massa das amostras de bananas embaladas pelos biofilmes comparadas com a amostra controle
Fonte: Autores (2020).

A análise dos resultados é satisfatória, uma vez que se observa que as frutas que foram embaladas apresentaram perdas de massa inferiores à amostra utilizada como controle. O fato observado pode estar correlacionado ao extrato de própolis-verde adicionado. Essa mistura resinosa é constituída por uma complexa mistura de flavonóides, ácidos fenólicos e seus ésteres e terpenóides, sendo que tais componentes podem agir como substâncias antioxidantes e antimicrobianas (BANKOVA, 2000; LAPA *et al.*, 2019).

4 CONCLUSÃO

Observou-se que o uso de ferramentas quimiométricas na análise de diferentes propriedades foi essencial para verificar os fatores mais influenciáveis na predição de suas determinações e os resultados obtidos foram consistentes com os disponíveis na literatura. Também é possível concluir que a síntese proposta no presente estudo foi adequada e promissora na produção de materiais de baixo custo e fácil acesso, com um grande potencial para serem aplicados em embalagens para a conservação de bananas-prata.

Destaca-se, desse modo, a relevância desse estudo para área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, uma vez que as embalagens propostas utilizam como aditivo o extrato de própolis verde, facilmente encontrado na região em que a pesquisa foi realizada, o que viabiliza a sua potencialidade de fabricação.

A produção desse tipo de filme biodegradável também apresenta um impacto ambiental, uma vez que sua síntese visa diminuir a geração de resíduos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Y. L. F. M. Uso de biofilme de amido à base de própolis vermelha para a conservação de folhas de alface (*Lactuca sativa*). **Scientia Plena**, Aracajú, v. 8, n. 12, p. 1-8, 2012.
- ARAÚJO, K. S. S. *et al.* Physicochemical properties and antioxidant capacity of propolis of stingless bees (Meliponinae) and Apis from two regions of Tocantins, Brazil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 46, n. 1, p. 61-68, 2016.
- AVELINO, K R. de S. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de tomate (*Lycopersicon esculentum*). 2019. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.
- AZIZ, M. A.; SALAMA, H.; SABAA, M. W. Biobased alginate/castor oil edible films for active food packaging. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 96, p. 455-460, 2018.
- BANKOVA, V. S. *et al.* Propolis: recent advances in chemistry and plant origin. **Apidologie**, v. 31, p. 3-15, 2000.
- BRIASSOULIS, D. An overview on the mechanical behaviour of biodegradable agriculture films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 12, p. 65-81, 2004.
- CARISSIMI, M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde**. 2017. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- CAZÓN, P. *et al.* Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136-148, 2017.

CUQ, B. *et al.* Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging effect by film thickness. **Journal of Food Science**, v.61, p. 580-584, 1996.

DINIZ, E. F. C. *et al.* Prospecção tecnológica: Estudos sobre complexo de inclusão do nerolidol com ciclodextrina. **Caderno de Prospecção**, Salvador, v.9, p. 307-315, 2016.

DOTTO, M. *et al.* Biofilmes e embalagens na conservação pós-colheita de lima ácida Tahiti. **Revista Brasil Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.3, p.365-369, 2015.

DOU, L. *et al.* Physical properties and antioxidant activity of gelatine-sodium alginate edible films with tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, p. 1377-1383, 2018.

FAKHOURI, F.M.; BATISTA, J.A.; GROSSO, C.R.F. Desenvolvimento e Caracterização de Filmes Comestíveis de Gelatina, Triacetina e Ácidos Graxos. **Journal of Food Technology**, v. 6, p. 301-308, 2003.

FAKHOURI, F.M. *et al.* Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n.2, p. 369-375, 2007.

FARIAS, M. G. *et al.* Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* DC.). **Química Nova**, São Paulo, v.35, n.3, p. 546-552, 2012.

FERNANDES, A. P. S. *et al.* Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 192-199, abr./jun. 2015.

FORMIGA, A. S. *et al.* Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava 'Pedro Sato'. **Food Chemistry**, p. 144-151, 2019.

FRIEDRICH, J. C. C. **Biofilmes a base de amido, gelatina e extrato de tetradenia riparia na conservação de morango**. 2017. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

LAPA, L.S.S.; SILVA, Y.R.O.; SALES, P.F. de. Análise cromatográfica do extrato de própolis-verde e sua aplicação em biofilmes de baixo custo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2019, Ribeirão das Neves. **Anais [...]**. Ribeirão das Neves: SIC, 2019.

MANNOZZIA, C. *et al.* Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. **LWT-Food Science and Technology**, Nantes, v.85, p. 440-444, 2017.

MATTA, E.; TAVERA-QUIROZ, M. J.; BERTOLA, N. Active edible films of methylcellulose with extracts of Green Apple (Granny Smith) skin. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 124, p. 1292-1298, 2019.

MOHR, L. C. *et al.* Estudo da concentração de fécula de mandioca na utilização em filmes biodegradáveis para o recobrimento de tomates. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA*, 20., 2014, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: CBEQ, 2014.

NOGUEIRA, G. F. *et al.* Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. **Carbohydrate Polymers**, v.186, p. 64-72, 2018.

NUNES, C. A *et al.* Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.23, n. 11, 2012.

PAVINATTO, A. *et al.* Sanfelice Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. **International Journal of Biological Macromolecules**, Netherlands, v. 15115, p. 1004- 1011, 2020.

RAMOS, R. P. *et al.* Conservação de goiaba cv. “paluma” com utilização de biofilme comestível. **Cascável**, v. 6, 2013.

SALATINO, A. Origin and chemical variation of Brazilian própolis. *Evid. Advance Access*, v. 2, n.1, p. 33-38, 2005.

SANTOS, A. E. O. *et al.* Influência de biofilmes de fécula de mandioca e amido de milho na qualidade pós-colheita de mangas “Tommy Atkins”. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n.3, p. 508-513, 2011.

SANTOS, R. F. *et al.* Composição química e produtividade dos principais componentes do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* em função da adubação orgânica. **Revista Brasileira PI. Medicina**, Botucatu, v.14, número especial, p. 224-234, 2012.

SARANTOPOULOS, C. I. G. L. *et al.* **Embalagens Plásticas Flexíveis**: principais polímeros e avaliação das propriedades. 1. Ed. Rio de Janeiro: CETEA, 2002.

SILVA, M. H. L.; SILVA, C. O. da. Caracterização parcial de amido de banana-nanica (*Musa sp. AAA Cavendish*). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p. 751-762, 2005.

SOARES, I. F. de O. *et al.* Síntese e caracterização de biofilme de amido plastificado com glicerol ou triacetina. **Revista Foco**, Guarulhos, n. 7, p.79-98, 2014.

SOUZA, C. O.; *et al.* Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch biobased film. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 6, p. 2248- 2254, 2011.

VEIGA-SANTOS P. *et al.* Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starchgum films: effects of additives and deacetylated xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, p. 341-349, 2007.

VIEIRA, E. L. *et al.* Aplicação de biofilmes na qualidade da manga “Tommy Atkins”. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 21, n. 3, p. 165-170, 2009.

ZHANG, Y.; HAN, J. H. Mechanical and thermal characteristics of pea starch films

plasticized with monosaccharides and polyols. **Journal of Food Science**, v.71, n. 2E, p. 109-118, 2006.

DADOS DOS AUTORES:

Nome: Priscila Ferreira de Sales

E-mail: priscila.sales@cefetmg.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1577809067615493>

Doutorado e mestrado em Agroquímica e graduação em Química (Licenciatura) pela Universidade Federal de Lavras. Professora do Departamento de Formação Geral do CEFET/MG- Unidade Nepomuceno. Atuou como professora no Departamento de Ciências e Linguagens (área de Química) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT), sendo atuante no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)- *Campus* Bambuí. Tem experiência nas áreas de adsorção e catálise heterogênea com aplicações voltadas para a Química Ambiental.

Nome: Yago Ribeiro de Oliveira Silva

E-mail: yago-180@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8032676000263759>

Graduando em Ciências Biológicas (Licenciatura) do Instituto Federal Minas Gerais - *Campus* Bambuí. Participou como bolsista no Programa Institucional de Iniciação a Docência (2018-2020). Atualmente é bolsista no Programa Residência Pedagógica/2020.

Nome: Leonardo Silva Santos Lapa

E-mail: leonardo_lapa@yahoo.com.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5642162770201188>

Graduando em Ciências Biológicas (Licenciatura) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí. Técnico em Meio Ambiente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Governador Valadares. Voluntário no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência - PIBID (2018-2019).

Nome: Francisco Hélcio Canuto Amaral

E-mail: helcioagro@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2097549578452397>

Doutorado e mestrado em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras e, graduação (Bacharelado) em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Piauí. Atualmente é Gerente Técnico do seguimento de agricultura (análises de solo, tecido vegetal e fertilizantes) no Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fertilidade do Solo, Nutrição Mineral de Plantas e Química de Solos, atuando principalmente nos temas: Técnicas de análises de solos, tecido vegetal e fertilizantes, manejo da adubação em solos, cinética de liberação de potássio, cálcio e magnésio em solos, nutrição mineral de Eucalipto.