

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS

PRISCILA BORGES DE FARIA ARQUELAU

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS
COMESTÍVEIS A PARTIR DE FARINHA DE CASCA DE BANANA
(*Musa spp.*) PRATA (AAB)**

Belo Horizonte
2018

PRISCILA BORGES DE FARIA ARQUELAU

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS
COMESTÍVEIS A PARTIR DE FARINHA DE CASCA DE BANANA (*Musa spp.*)
PRATA (AAB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestra em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Dra. Camila Argenta Fante –
Universidade Federal de Minas Gerais

Co-orientadora: Dra. Maria Aparecida Vieira
Teixeira Garcia – Universidade Federal de
Minas Gerais

Belo Horizonte
2018

A772d Arquelau, Priscila Borges de Faria.
Desenvolvimento e caracterização de revestimentos comestíveis a partir de farinha de casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) / Priscila Borges de Faria Arquelau. – 2018.
139 f. : il.

Orientadora: Camila Argenta Fante.
Coorientadora: Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

1. Revestimentos para comestíveis – Teses. 2. Banana – Teses. 3. Farinha de banana – Teses. 4. Resíduos agroalimentares – Teses. I. Fante, Camila Argenta. II. Garcia, Maria Aparecida Vieira Teixeira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. IV. Título.

CDD: 641



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

PPGCA

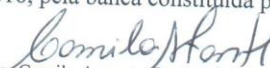
FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS
COMESTÍVEIS A PARTIR DE FARINHA DE CASCA DE BANANA (*Musa spp.*)
PRATA (AAB)

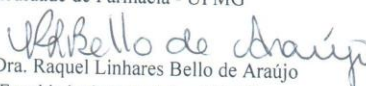
PRISCILA BORGES DE FARIA ARQUELAU

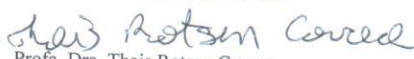
Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2018, pela banca constituída pelos membros:


Profa. Dra. Camila Argenta Fante - Orientadora
Faculdade de Farmácia - UFMG


Profa. Dra. Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia - Coorientadora
Faculdade de Farmácia - UFMG


Profa. Dra. Raquel Linhares Bello de Araújo
Faculdade de Farmácia - UFMG


Profa. Dra. Thais Rotsen Correa
Instituto de Ciências Exatas - UFMG

AUSENTE
Prof. Dr. Leandro Soares de Oliveira
Escola de Engenharia - UFMG

Belo Horizonte, 27 de fevereiro de 2018.

*Dedico este trabalho à minha
família, em especial ao meu amado
pai (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, por toda força nesta caminhada.

À minha família, meu bem maior, pela união e por me proporcionarem momentos felizes e comemorem comigo cada conquista.

À Professora Camila Argenta Fante, pela orientação, confiança e ensinamentos durante o desenvolvimento desse trabalho.

À Professora Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia por mostrar que sou capaz quando preciso ir além.

Ao pessoal do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, em especial à Viviane, por toda ajuda e companheirismo ao longo do projeto.

À UMEI Alaíde Lisboa pelo fornecimento da matéria-prima desse trabalho.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio econômico para conseguir finalizar este trabalho.

À FAPEMIG, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio econômico para concretização deste trabalho.

E a todos, que de alguma maneira, colaboraram para a realização deste trabalho.

Por tudo, Deus seja louvado!

*Você não pode mudar o vento, mas
pode ajustar as velas do barco para
chegar onde quer.*

Confúncio

RESUMO

As indústrias agrícolas e de processamento de alimentos geram quantidade de resíduos que podem causar problemas ambientais. Entretanto estes resíduos têm representado uma alternativa para substituição de polímeros plásticos não biodegradáveis. Assim, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de revestimentos comestíveis a partir do aproveitamento de casca de banana madura da variedade Prata. Na primeira etapa do trabalho, a farinha de casca de banana madura foi elaborada e caracterizada quanto à sua composição química, compostos fenólicos e atividade antioxidante. A farinha apresentou-se como um pó marrom homogêneo, com teor de umidade (6,48%) em consonância com a legislação, e composição glicídica (25,04%) adequada à maturação da fruta madura. Os teores de lipídios (14,42%) e fibras totais foi expressivo, com destaque para as fibras insolúveis (37,32%). Pelo método extrativo, extraíram-se $83,05 \pm 12,46$ EAG.100 g⁻¹ farinha. A capacidade antioxidante da farinha foi analisada pelos métodos de captura do radical livre ABTS⁺, poder de redução do ferro e captura do radical livre DPPH, apresentando os respectivos valores 8,46 µM Trolox/g, 12,73 µM sulfato ferroso/g e 11,31 µM Trolox/g. Na segunda etapa do trabalho, filmes a partir da farinha da casca de banana foram elaborados conforme Delineamento Central Composto Rotacional, variando-se a concentração de amido e o tempo de aquecimento, sendo caracterizados quanto às propriedades físicas, mecânicas e de barreira. Os filmes obtidos apresentaram espessura variando entre 0,059 e 0,085 mm, influenciada pela concentração de amido. Quanto aos parâmetros colorimétricos, o chroma mostrou-se dependente da concentração de amido e tempo de aquecimento, e a luminosidade teve comportamento inverso ao tempo de aquecimento; já a tonalidade não sofreu influência das variáveis. Os filmes apresentaram valores de solubilidade entre 27,35 e 43,83%, não apresentando tendência em relação às variáveis estudadas. Os filmes expressaram valores de permeabilidade ao vapor d'água variando entre 0,33 e 0,55 g/h.m.Pa, sendo influenciados pelo aumento da concentração de amido. Quanto ao comportamento mecânico, os filmes apresentaram resistência à tração entre 0,14 e 0,70 MPa, e juntamente com o módulo elástico (3,00 a 33,08 MPa), apresentaram relação com a concentração de amido; já as taxas de alongamento sofreram influência do tempo de aquecimento, variando entre 9,84 e 20,16%. O teste de perfuração (5,56 a 20,01 MPa) foi

influenciado pelas duas variáveis dependentes, e as taxas de deformação (9,05 a 30,13%) foram influenciadas pelas variáveis dependentes e sua interação. Os filmes com melhores resultados de caracterização foram analisados quanto a composição centesimal, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Estes filmes exibiram expressivo teor de carboidratos totais (60,33%), teor significativo de fibras (8,92% para fibras insolúveis e 5,20% para solúveis) e moderado teor de umidade (19,03%). A farinha contribuiu com uma proporção de minerais para a composição final dos filmes, não ocorrendo o mesmo com lipídios e proteínas. O conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos filmes se mantiveram estáveis mesmo após o processamento. Os revestimentos apresentaram um grau aceitável de plasticização, sendo favorecido pelo conteúdo final de umidade e pelas interações intermoleculares entre os componentes da farinha, amido e glicerol.

Palavras-chave: Filmes comestíveis. Resíduo agroalimentar. Casca de banana madura.

ABSTRACT

The agricultural and food processing industries generate amount of waste that can cause environmental problems. However, these residues have represented an alternative for the substitution of non-biodegradable plastic polymers. Thus, this study had as objective the development of edible coatings from the use of ripe banana peel of the variety Prata. In the first stage of the work, mature banana peel flour was elaborated and characterized as to its chemical composition, phenolic compounds and antioxidant activity. The flour presented as a homogeneous brown powder, with moisture content (6,48%) in accordance with the legislation, and glycolic composition (25,04%) suitable for ripening mature fruit. The lipid contents (14,42%) and total fibers were expressive, with emphasis on the insoluble fibers (37,32%). By the extractive method, $83,05 \pm 12,46$ GAE.100 g⁻¹ flour was extracted. The antioxidant capacity of the flour was analyzed by the ABTS⁺ free radical capture methods, iron reduction power and DPPH free radical capture, presenting the respective values 8,46 μ M Trolox/g, 12,73 μ M ferrous sulfate/g and 11,31 μ M Trolox/g. In the second stage of the work, films from the banana peel flour were elaborated according to the Rotational Compound Central Design, varying the starch concentration and the heating time, being characterized in physical, mechanical and barrier properties. The films obtained presented a thickness varying between 0,059 and 0,085 mm, influenced by the starch concentration. As for the colorimetric parameters, the chroma showed to be dependent on the starch concentration and heating time, and the luminosity had an inverse behavior to the heating time; the tonality was not affected by the variables. The films presented solubility values between 27,35 and 43,83%, showing no tendency in relation to the studied variables. The films expressed water vapor permeability values ranging from 0,33 to 0,55 g/h.m.Pa, being influenced by the increase of the starch concentration. As for the mechanical behavior, the films showed tensile strength between 0,14 and 0,70 MPa, and together with the elastic modulus (3,00 to 33,08 MPa), presented a relation with the starch concentration; already the elongation rates were influenced by the heating time, varying between 9,84 and 20,16%. The drilling test (5,56 to 20,01 MPa) was influenced by the two dependent variables, and the strain rates (9,05 to 30,13%) were influenced by the dependent variables and their interaction. The films with the best characterization results were analyzed for centesimal composition, phenolic

compounds and antioxidant activity. These films had a significant content of total carbohydrates (60,33%), significant fiber content (8,92% for insoluble fibers and 5,20% for solubles) and moderate moisture content (19,03%). The flour contributed with a proportion of minerals to the final composition of the films, not occurring the same with lipids and proteins. The content of phenolic compounds and the antioxidant activity of the films remained stable even after processing. The coatings presented an acceptable degree of plasticization, being favored by the final moisture content and the intermolecular interactions between the components of flour, starch and glycerol.

Keywords: Edible films. Agrifood residue. Mature banana peel.

LISTA DE ABREVIATURAS

% Porcentagem

Abs Absorbância

AOAC Association of Official Analytical Chemists

ASTM American Society for Testing and Materials

AAT Atividade Antioxidante Total

b.s Base seca

C* Chroma

CF Compostos fenólicos totais

cm Centímetros

DCCR Delineamento Composto Central Rotacional

E Módulo elástico

EAG Equivalentes em ácido gálico

Embrapa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EtOH Etanol

FAFAR/UFMG Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais

FCBP Farinha de cascas de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação

g Grama

h hora

h° Ângulo de tonalidade

IAL Instituto Adolfo Lutz

L* Luminosidade

MeOH Metanol

min Minutos

mL Mililitros

mm Milímetros

mm/s Milímetros por segundo

N Newton

nm Nanômetros

°C Graus Celsius

p/p Peso por peso

P/t Perda de peso por unidade de tempo

p/v Peso por volume

PET Polietileno tereftalato

PVA Permeabilidade ao vapor d'água

rpm Rotações por minuto

s Segundos

SA Solubilidade em água

TD Taxa de deformação

TP Teste de perfuração

UMEI Unidade Municipal de Educação Infantil

UR Umidade Relativa

v/v Volume por volume

UV Ultra-violeta

x Espessura

Δp Gradiente de pressão

ϵ Taxa de alongamento

σ Resistência à tração

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho esquemático de uma bananeira adulta mostrando o rizoma, filhote, pseudocaule, folhas e cacho.	25
Figura 2. Frutos de cultivares de banana. A. Cultivar Ouro; B. Cultivar Nanica; C. Cultivar Maçã; D. Cultivar Prata.	26
Figura 3. Maturação da banana segundo escala de Von Loesecke (1950).....	26
Figura 4. Cascas de bananas (<i>Musa</i> spp.) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação imersas em solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v).	42
Figura 5. Processo de drenagem da pasta de cascas de bananas Prata (AAB) antes (1) e após (2) a retirada do excesso de água, e após desidratação em estufa a 60 ± 5 °C por 24 horas (3).	43
Figura 6. Diagrama de fluxo da extração com metanol/acetona da amostra de FCBP.	46
Figura 7. Diagrama de fluxo do método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu para análise de FCBP.	47
Figura 8. Diagrama de fluxo da elaboração de revestimentos comestíveis a partir de FCBP.	51
Figura 9. Desenho esquemático dos 10 pontos de leitura para análise de espessura nos filmes de FCBP.	53
Figura 10. Desenho esquemático dos 10 pontos de leitura para análise colorimétrica nos filmes de FCBP.	54
Figura 11. Método água de permeabilidade ao vapor d'água dos filmes de FCBP. .	55
Figura 12. Farinha de casca de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação. ...	59
Figura 14. Superfície de resposta e curva de contorno da espessura dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.	77
Figura 16. Filmes correspondentes aos ensaios do planejamento experimental.	81
Figura 17. Superfície de resposta e curva de contorno da luminosidade dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.	83
Figura 18. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de luminosidade. A. Valores observados vs. valores preditos. B. Normal probabilístico dos resíduos. C. Resíduos vs. valores preditos.	84
Figura 19. Superfície de resposta e curva de contorno do chroma dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.	86

Figura 21. Superfície de resposta e curva de contorno da permeabilidade ao vapor d'água dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.....	90
Figura 24. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de resistência à tensão. A. Valores observados vs. valores preditos. B. Normal probabilístico dos resíduos. C. Resíduos vs. valores preditos.	95
Figura 26. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de taxa de alongamento. A. Valores observados vs. valores preditos. B. Normal probabilístico dos resíduos. C. Resíduos vs. valores preditos.	99
Figura 27. Superfície de resposta e curva de contorno do módulo elástico dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.	101
Figura 28. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de módulo elástico. A. Valores observados vs. valores preditos. B. Normal probabilístico dos resíduos. C. Resíduos vs. valores preditos.....	102
Figura 32. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de taxa de deformação. A. Valores observados vs. valores preditos. B. Normal probabilístico dos resíduos. C. Resíduos vs. valores preditos.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Esquema representativo da classificação botânica da banana (<i>Musa</i> spp.).	24
Tabela 2. Variação de amido e açúcares simples na Banana Prata.	27
Tabela 3. Composição centesimal por 100 gramas de parte comestível de algumas cultivares de banana existentes no Brasil.	28
Tabela 4. Delineamento estatístico para elaboração e caracterização de filmes comestíveis a partir de FCBP.	51
Tabela 5. Composição centesimal da FCBP, em base seca (valor médio $\pm$ desvio padrão; n = 4, para fibras; n = 3, para as demais variáveis).	61
Tabela 6. Atividade antioxidante (valor médio $\pm$ desvio padrão; n = 3) pelos métodos ABTS, FRAP e DPPH em FCBP.	66
Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante da FCBP.	69
Tabela 8. Descrição dos tratamentos realizados nos ensaios preliminares.	70
Tabela 9. Resultados da avaliação subjetiva dos filmes elaborados nos ensaios preliminares.	71
Tabela 10. Espessura média, em mm, dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 10).	74
Tabela 11. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de espessura.	75
Tabela 12. ANOVA do modelo quadrático de espessura ($r^2 = 0,99166$).	76
Tabela 13. Solubilidade média, em porcentagem (%), dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 3).	78
Tabela 14. Parâmetros colorimétricos médios dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 10).	80
Tabela 15. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de luminosidade.	82
Tabela 16. ANOVA do modelo quadrático de luminosidade ($r^2 = 0,81728$).	83
Tabela 17. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de tonalidade.	84

Tabela 18. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de chroma.....	85
Tabela 19. ANOVA do modelo quadrático de chroma ($r^2 = 0,89434$).	85
Tabela 20. Permeabilidade ao vapor d'água média, em g/h.m.Pa, dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 3).	88
Tabela 21. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de permeabilidade ao vapor d'água.	89
Tabela 22. ANOVA do modelo quadrático de permeabilidade ao vapor d'água ($r^2 = 0,59744$).	90
Tabela 23. Propriedades mecânicas médias dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 5, para resistência à tração, alongamento e módulo elástico; n = 12, para teste de perfuração e taxa de deformação).	92
Tabela 24. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de resistência à tração.....	93
Tabela 25. ANOVA do modelo quadrático de resistência à tensão ($r^2 = 0,97232$). ..	94
Tabela 26. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de taxa de alongamento.	97
Tabela 27. ANOVA do modelo quadrático de taxa de alongamento ($r^2 = 0,75004$). ..	97
Tabela 28. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de módulo elástico.....	100
Tabela 29. ANOVA do modelo quadrático de módulo elástico ($r^2 = 0,91458$).	100
Tabela 30. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de teste de perfuração.....	104
Tabela 31. ANOVA do modelo quadrático de teste de perfuração ($r^2 = 0,78834$). ..	104
Tabela 32. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de taxa de deformação.	106
Tabela 33. ANOVA do modelo quadrático de taxa de deformação ($r^2 = 0,68083$). ..	107
Tabela 34. Comparação dos valores médios da composição centesimal (%), em base seca, entre a FCBP e o filme referente ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos).....	109
Tabela 35. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante dos filmes selecionados.....	112

Tabela 36. Comparação dos valores médios de compostos fenólicos totais (CF) e atividade antioxidante entre a FCBP e o filme referente ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos).....	112
--	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
OBJETIVOS	21
Objetivo Geral	21
Objetivos Específicos	21
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
BANANA.....	22
Produção mundial e brasileira de bananas	22
Classificação botânica.....	23
Classificação das cultivares de bananeiras.....	24
Estrutura da bananeira.....	25
Transformações químicas da banana no amadurecimento.....	26
APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE BANANA.....	28
REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS	30
Componentes de filmes e revestimentos	32
Processo de formação de filmes e revestimentos	34
Aplicações de filmes e revestimentos	35
Caracterização de filmes e revestimentos comestíveis.....	38
MATERIAL E MÉTODOS	41
MATERIAL	41
MÉTODOS	41
Elaboração da farinha de casca de banana (<i>Musa</i> spp.) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação	42
Caracterização da farinha de casca de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação	43
Elaboração de filme comestível.....	49
Delineamento estatístico	50
Caracterização dos filmes comestíveis	52
Análise estatística	58
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE CASCA DE BANANA PRATA (AAB) EM ESTÁGIO 7 DE MATURAÇÃO.....	59
Composição centesimal	61
Extração e determinação de compostos fenólicos totais.....	63
Determinação da atividade antioxidante	65
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES COMESTÍVEIS.....	70
Ensaio preliminares	70
Delineamento experimental.....	74
CONCLUSÃO.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

INTRODUÇÃO

As embalagens têm a finalidade de proteger e conservar o alimento de contaminações e perdas, mantendo-o sem alterações significativas tanto em sua composição quanto em suas qualidades sensoriais, de modo a prolongar sua vida de prateleira. Além disso, têm o papel de informar ao consumidor sobre o alimento acondicionado.

Tendo em vista que, ao longo dos anos, os conceitos de qualidade de vida, sustentabilidade e conservação do meio ambiente têm ganhado maior notoriedade, a indústria alimentícia tem demonstrado interesse em produzir e ofertar produtos mais próximos aos naturais, mas, que ao contrário destes, apresentam maior valor agregado e durabilidade.

Para a conservação de tais produtos, tem-se buscado o uso sustentável dos recursos naturais, por meio de melhor aproveitamento energético, menor geração de resíduos e utilização de materiais mais eficientes, uma vez que a prática mais comum é o uso de matérias-primas sintéticas, por exemplo, os polímeros plásticos, que apesar de serem duráveis, versáteis e terem excelentes propriedades mecânicas e de barreira, estão associados a preocupantes impactos ambientais, devido à extrema resistência à degradação, necessitando de grandes espaços para sua deposição. Além disso, são provenientes de matérias-primas não-renováveis.

Neste sentido, tem sido crescente o desenvolvimento e aprimoramento de materiais biodegradáveis com aplicação em embalagens, que se decompõem rapidamente, minimizando os danos ambientais, uma vez que podem ser produzidos a partir de fontes renováveis de energia e/ou resíduos agroalimentares provenientes do lixo doméstico ou das indústrias de processamento de alimentos.

A utilização desses revestimentos, como tecnologia funcional e coadjuvante ao emprego do frio e de materiais convencionais de embalagens, tem contribuído com a segurança alimentar (conservação) e aumento da vida útil (tempo de conservação), parâmetros de suma importância na cadeia produtiva de alimentos.

Os polímeros naturais mais utilizados na produção de filmes e coberturas comestíveis são polissacarídeos, proteínas e lipídios, empregados separadamente ou combinados. Nesse sentido, a utilização de resíduos, efluentes, descartes e co-produtos de alimentos, que comumente são utilizados em ração animal, compostagem, geração de energia (álcool e metano) e como adsorventes, podem

ser empregados também no desenvolvimento de revestimentos biodegradáveis, pois estes são compostos basicamente por água, biopolímero e plastificante.

Neste contexto, encontra-se a banana, que apresenta um elevado índice de perdas na sua comercialização, gerando resíduos orgânicos, tais como, cascas, restos de frutos, frutos em estágios avançados de decomposição e outros materiais que se degradam rapidamente na natureza.

Estes subprodutos agroalimentares podem ser utilizados de forma sustentável como matéria-prima para revestimentos, tornando-se uma ferramenta não só para a redução de lixo orgânico, responsável pela proliferação de doenças e contaminação ambiental, como também pela diminuição do inadequado aproveitamento dos nutrientes, por exemplo, fibras e substâncias bioativas com potencial antioxidante, que podem cooperar com a melhoria das características funcionais desse tipo de embalagem.

Estas embalagens são membranas delgadas comestíveis transparentes aplicadas na forma de coberturas ou formadas na superfície de alimentos como um filme, protegendo o produto embalado de agentes biológicos e físicos, prolongando sua vida útil e agregando valor ao produto final. Além disso, devem apresentar aderência suficiente para não serem removidos no manuseio, não podem causar alterações nas propriedades sensoriais do produto e serem atóxicas e seguras para o uso em alimentos.

Partindo desses pressupostos, este estudo propõe desenvolver e caracterizar revestimentos comestíveis a partir da farinha da casca de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação, tendo em vista seus teores significativos de antioxidantes e fibras que podem favorecer a estabilidade, a conservação do valor nutritivo, a cor do produto e da incidência de desordens fisiológicas.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Elaborar e caracterizar revestimentos comestíveis a partir da casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação para aumento da vida útil de produtos alimentícios.

Objetivos Específicos

- Caracterizar quanto à composição química a farinha obtida a partir de cascas de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação;
- Extrair e determinar o conteúdo de compostos fenólicos da farinha de casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação (FCBP);
- Determinar a atividade antioxidante da farinha de casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação (FCBP);
- Elaborar filmes comestíveis a partir da farinha de casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação;
- Caracterizar os filmes obtidos quanto às propriedades físicas, de barreira e mecânicas;
- Determinar a composição química, teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos filmes com melhores resultados de caracterização.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

BANANA

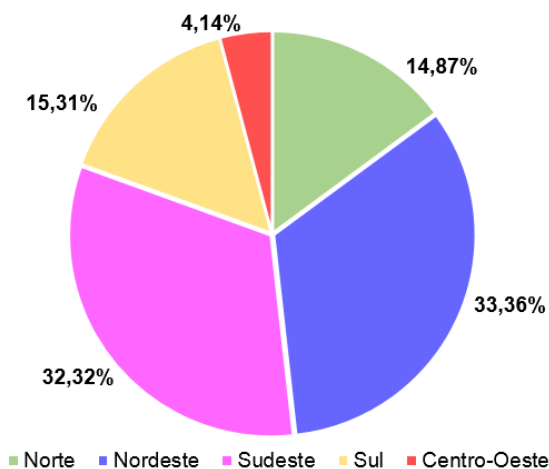
Produção mundial e brasileira de bananas

A boa aceitação geral de uma fruta pelos consumidores não se limita apenas à sua composição química, mas abrange também o seu aroma e sabor. Nesse sentido, os frutos da bananeira (*Musa spp.*) podem ser considerados uns dos melhores e mais úteis, sejam verdes, cozidos, fritos ou na forma de farinha, ou maduros, consumidos in natura ou processados. Ademais, apresentam a vantagem de serem consumidas de forma simples e sadia, pois a polpa é protegida, até o momento do consumo, por um grosso pericarpo ou casca que lhe confere uma assepsia perfeita, sendo facilmente removido com as mãos (ITAL, 1985).

A banana é uma das frutas climatéricas mais populares e consumidas mundialmente, sendo explorada na maioria dos países tropicais e subtropicais (EMBRAPA, 1997; BELLO-PÉREZ et al., 2011). A produção mundial atingiu 114 milhões de toneladas em 2014, destacando-se o Brasil como o quarto país produtor com correspondentes 6,9 milhões de toneladas, ficando atrás de Índia, China e Filipinas (FAO, 2014).

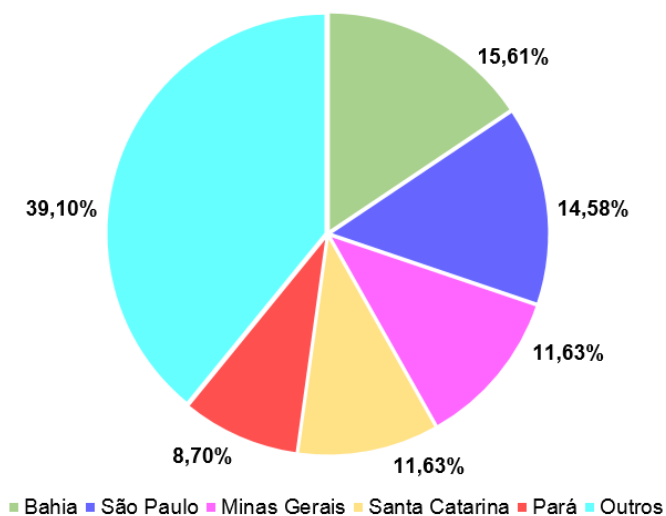
Na fruticultura brasileira, a banana é uma das frutas de maior importância econômica, ficando atrás apenas da citricultura. O cultivo é realizado em todas as regiões do Brasil, sendo as regiões Nordeste e Sudeste as responsáveis pelas maiores taxas de produção, correspondentes a 65,68%, com destaque para os estados da Bahia, São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 2015).

Produção brasileira de banana por região fisiográfica em 2015



Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2015. Consultado em 02/10/2017.

Principais estados produtores de banana no Brasil em 2015



Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2015. Consultado em 02/10/2017.

Classificação botânica

Conforme a sistemática botânica de classificação hierárquica (**Tabela 1**), as bananeiras são plantas da classe Monocotyledoneae, da ordem Scitaminales, família Musaceae, que apresenta os gêneros: *Ensete*, que são plantas utilizadas para a extração de suas fibras, e o gênero *Musa*, na qual se encontram os frutos

comestíveis e de interesse tecnológico e nutricional, sendo constituído por quatro seções: *Australimusa*, *Callimusa*, *Rhodochlamys* e *Eumusa* (SIMMONDS, 1973; JOLY, 1991; MANICA, 1997), do qual quase todas as variedades de banana têm surgido (DEVOUARD, 2001).

Tabela 1. Esquema representativo da classificação botânica da banana (*Musa* spp.).

Reino	Filo	Classe	Ordem	Família	Gênero	Seções
Vegetal	Phanerogamae	Monocotiledoneae	Scitaminales	Musaceae	<i>Musa</i> <i>Australimusa</i> <i>Callimusa</i> <i>Rhodochlamys</i> <i>Eumusa</i> <i>Ensete</i>	

Fonte: EMBRAPA, 1997 (Modificado).

Classificação das cultivares de bananeiras

O sistema de classificação atualmente adotado para as bananeiras baseia-se no trabalho de Simmonds & Shepherd (1955), que utilizaram um método de quinze notas (duas vegetativas e treze de inflorescência) para indicar as contribuições de duas principais espécies diploides selvagens (*M. acuminata* e *M. balbisiana*) na constituição genética de cada cultivar. Assim, cada cultivar deve conter combinações variadas de genomas completos dessas espécies parentais, sendo denominados pelas letras A (*M. acuminata*) e B (*M. balbisiana*), de cujas combinações resultam os grupos diploides AA, BB e AB; triploides AAA, AAB e ABB; e tetraploides AAAA, AABB e AB BB (ITAL, 1985; EMBRAPA, 1997). Na prática, não são necessários os 15 caracteres para se definir o grupo genômico de uma cultivar. Contudo, eles devem ser investigados nos casos de difícil discriminação, como ocorre nos grupos AAA e AAB (EMBRAPA, 1997).

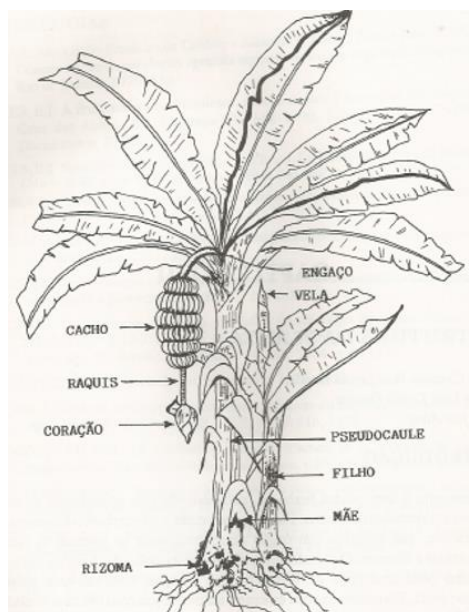
Tendo em vista os aspectos de preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca e ao frio, e o porte da planta, poucas cultivares têm potencial agrônomo para serem utilizadas comercialmente. Assim, as cultivares mais difundidas no Brasil são aquelas dos grupos AAA (Nanica,

Nanicão e Naine Grande) e AAB (Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Angola), sendo as cultivares Prata e a Pacovan as mais cultivadas (EMBRAPA, 1997; OLIVEIRA E SILVA et al., 2001).

Estrutura da bananeira

A bananeira é constituída por sistema radicular (raízes), caule subterrâneo (rizoma), pseudocaule constituído de bainhas foliares abarcantes (tronco), folhas (bainha foliar, pseudopecíolo, nervura central e limbo foliar), cacho (engajo, ráquis e coração) (EMBRAPA, 1997) (**Figura 1**).

Figura 1. Desenho esquemático de uma bananeira adulta mostrando o rizoma, filhote, pseudocaule, folhas e cacho.



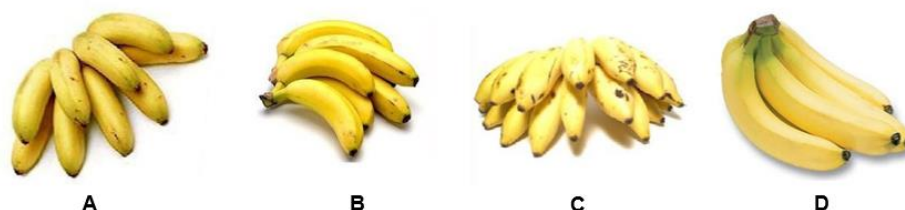
Fonte: EMBRAPA (1997).

As principais variedades de bananeiras produzidas no Brasil são pertencentes às cultivares AA (Ouro) (**Figura 2.A**), AAA (Nanica, Nanicão e Naine Grande) (**Figura 2.B**), AAB (Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Angola) (**Figura 2.C e 2.D**), sendo estas discriminadas a seguir.

As plantas das cultivares AAB apresentam poucas manchas escuras no pseudocaule, pecíolos com margens eretas, porte alto, e um sistema radicular agressivo, o que lhes possibilita a sobrevivência e a produção em solos de baixa fertilidade e com deficiência hídrica. Os frutos dessa cultivar são praticamente retos

e apresentam seção transversal pentagonal, extremidades bem pronunciadas, pontiagudas e sem restos florais, casca de espessura média, cor amarela quando maduros, polpa creme a rósea pálida e sabor ligeiramente ácido (EMBRAPA, 2012).

Figura 2. Frutos de cultivares de banana. **A.** Cultivar Ouro; **B.** Cultivar Nanica; **C.** Cultivar Maçã; **D.** Cultivar Prata.



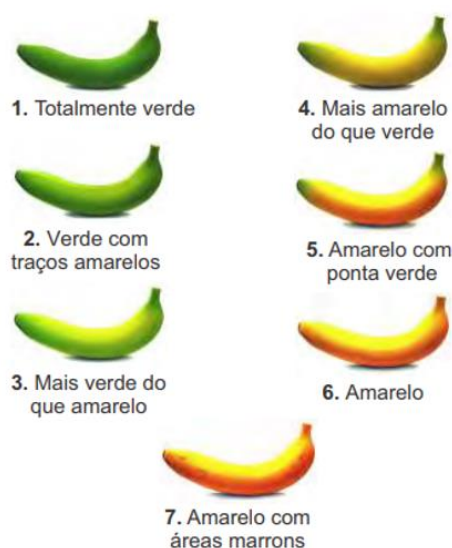
Fonte: KARAM (2017 Modificado).

Transformações químicas da banana no amadurecimento

A banana é um fruto de padrão respiratório climatérico, ou seja, a produção de etileno continua mesmo após a colheita, logo há um prosseguimento do seu amadurecimento (ORMENESE, 2010).

De acordo com a escala de maturação de Von Loesecke (1950), as bananas podem ser classificadas em graus de pigmentação 1 a 7, sendo o estágio 7 correspondente ao fruto maduro (amarelado) com alguns áreas marrons, conforme a **Figura 3**:

Figura 3. Maturação da banana segundo escala de Von Loesecke (1950).



Fonte: PBMH & PIF (2006).

Durante a maturação da banana, a polpa aumenta de tamanho de maneira contínua, devido à absorção da água proveniente da casca e do engajo (LOESECKE, 1950). Além disso, há uma diminuição significativa de amido, uma vez que ele é convertido em açúcares simples redutores e não redutores (MAIA et al., 1977), que conferem variação na textura, tornando este fruto mais palatável e aromático (KAYS, 1991).

Os teores médios de amido em banana variam de acordo com o cultivar, sendo 20-25% para fruto verde e 1-2% para maduro. Já os teores de açúcares totais podem variar de 1-2% no fruto verde para 15-20% no fruto maduro. Especificamente para a banana Prata existe uma certa oscilação nos valores descritos na literatura, pois esta cultivar é influenciada pelo cultivo, condição de tratamento e temperatura de exposição (**Tabela 2**) (ÁLVARES, 2003).

Tabela 2. Variação de amido e açúcares simples na Banana Prata.

	BANANA VERDE	BANANA MADURA
AMIDO	17-26%	2-5%
AÇÚCARES SIMPLES	2%	16-20%

Com a maturação da fruta, o tanino, que aparece em maior proporção na casca da banana verde e muito menor na polpa, tende a decrescer, chegando em algumas cultivares, quando muito maduras, a quase desaparecer, como ocorre com a banana Prata (LOESECKE, 1950).

Embora a banana tenha um teor baixo de proteína, este teor sobressai os de alguma frutas, como pera, maçã e pêssago (EMBRAPA, 1997).

A banana pode ser considerada um alimento de elevado valor nutritivo não somente por ser rica em carboidratos, mas também por apresentar elevadas proporções de vitaminas e sais minerais. A vitamina C atinge seu máximo teor na primeira fase de maturação (coloração verde-amarelada), diminuindo rapidamente à medida que surge a cor amarela, e atinge o teor mais baixo quando a fruta apresenta manchas marrons na casca. Já com a vitamina A ocorre o inverso: à medida que a fruta amadurece o seu teor aumenta (ITAL, 1985).

Os minerais apresentam pequena variação com a maturação da fruta, sendo sempre um pouco maior nas bananas verdes que nas maduras (ITAL, 1985). Os que têm apresentado destaque são: potássio, fósforo, cálcio e ferro, sendo

superiores ao encontrado em outras frutas, como a maçã e a laranja (EMBRAPA, 1997).

A **Tabela 3** apresenta a composição nutricional de algumas bananas existentes no Brasil.

Tabela 3. Composição centesimal por 100 gramas de parte comestível de algumas cultivares de banana existentes no Brasil.

Cultivar	Umidade (%)	Proteína (g/100g)	Lipídios (g/100g)	Carboidratos (g/100g)	Fibra alimentar (g/100g)	Cinzas (g/100g)
Ouro	68,2	1,5	0,2	29,3	2,0	0,8
Nanica	73,8	1,4	0,1	23,8	1,9	0,8
Maçã	75,2	1,8	0,1	22,3	2,6	0,6
Prata	71,9	1,3	0,1	26,0	2,0	0,8

Fonte: NEPA, 2011.

As cascas de banana apresentam maiores teores de umidade, lipídios e minerais que a parte comestível (STORCK et al., 2013), além de serem ricas em fibras (GONDIM et al., 2005). Emaga et al. (2008a) constataram que as pectinas encontradas na casca são adequadas para a formação de géis, podendo ser utilizadas na elaboração de geleias e enriquecimento de produtos alimentícios, o que é também interessante do ponto de vista ambiental, uma vez que diminui a quantidade de resíduo da casca.

Anhwange (2008) percebeu que a casca apresenta um pequeno conteúdo de compostos antinutricionais, tais como, cianeto de hidrogênio (1,33 mg/g em base seca – BS), oxalato (0,51 mg/g BS), fitatos (0,28 mg/g BS) e saponinas (24 mg/g BS), mas que não comprometem o uso desse subproduto na alimentação.

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE BANANA

A indústria agrícola e de processamento de alimentos geram grandes quantidades de resíduos biodegradáveis que causam problemas ambientais (ZHANG et al., 2005). Contudo, estes subprodutos têm potencial de uso em produtos de maior valor agregado (VÉLEZ, 2011).

No caso da banana, a polpa é utilizada para o consumo humano e a casca é descartada ou utilizada como fertilizante orgânico e na alimentação animal, devido

ao baixo teor de taninos e a elevada quantidade de fibras (EMAGA et al., 2011; BELLO-PÉREZ et al., 2012; PEREIRA & MARASCHIN, 2014).

O descarte da casca ocorre nas residências, restaurantes, fábricas de produtos artesanais e principalmente nas indústrias. A casca de banana corresponde a 30 a 40% do peso total da fruta, a depender da variedade e do grau de maturação (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993), e o descarte inapropriado e a falta de reaproveitamento deste resíduo provocam impacto ambiental (GONZÁLEZ-MONTELONGO et al., 2010).

Só na América do Sul, os resíduos de banana correspondem em média a 25-50% da produção total, pois muitos frutos não chegam a apresentar os padrões de qualidades exigidos para exportação e há um excesso de produto não absorvido pelo mercado interno (ZHANG et al., 2005; AURORE et al., 2009).

Além do aproveitamento na ração animal, a casca também já foi utilizada como adsorvente para purificação de água (ANNADURAI et al., 2004; MEMON et al., 2008; CASTRO et al., 2011), na fabricação de briquetes, uma fonte concentrada e comprimida de material energético (WILAIPON, 2009), na produção de energia, como álcool (RAJEEV et al., 2009; WILKINS, 2009; OBEROI et al., 2011) e biogás (BARDIYA & SOMAYAJI, 1996; GUNASEELAN, 2004), ácido cítrico (KARTHIKEYAN & SIVAKUMAR, 2010), biossurfactantes (CHOOKLIN et al., 2014), substrato para a produção de enzimas, como pectinases (*Aspergillus niger* MTCC 281), lacases (*Aspergillus fumigatus* VkJ2.4.5), xilanases (*Trichoderma harzianum* 1073 D3) e enzimas com atividade lignocelulolítica (*Inonotus* sp. SP2) (SEYIS & AKSOZ, 2005; VIVEKANAND et al., 2011; GARCÉS et al., 2012), e na elaboração de produtos alimentícios, como doces, geleia, compotas, bolos, biscoitos, tortas, banana passa, licor (ATAÍDE et al., 2013).

Este subproduto pode ser utilizado também como meio de cultura para microrganismos, como *Aspergillus fumigatus* e *Mucor hiemalis* (ESSIEN et al., 2005), devido ao seu conteúdo de carboidratos e demais nutrientes.

Em contrapartida, ainda não há relatos na literatura do uso da casca de banana madura, um subproduto rico em fibras (GONDIM et al., 2005) e compostos antioxidantes, como matéria-prima para produção de revestimentos comestíveis.

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

A conservação de alimentos acontece, normalmente, por meio de tratamentos físicos e/ou químicos. O método mais comum e de comprovada eficiência para produtos lácteos, pescados e algumas frutas e hortaliças é o armazenamento refrigerado, em que devem ser mantidas, até a comercialização final, temperaturas reduzidas e alta umidade relativa, particulares para cada tipo de produto alimentício (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2003; COSTA & CLEMENTE, 2012). Contudo, manter e controlar a cadeia do frio é um processo de custo elevado, mesmo para países ditos desenvolvidos.

Deste modo, associa-se a refrigeração ao uso de embalagem, componente imprescindível para a manutenção das características sensoriais e nutricionais do alimento, de modo a garantir qualidade e segurança de alimentos processados ou não (THARANATHAN, 2003).

Segundo Villadiego e colaboradores (2005) entende-se por embalagem:

“Recipiente ou envoltório que armazena produtos temporariamente, individualmente ou agrupando unidades, tendo como principal função protegê-lo e estender o seu prazo de vida, viabilizando sua distribuição, identificação e consumo”.

Muitas embalagens flexíveis são feitas com polímeros plásticos provenientes de fontes não-renováveis. Este tipo de embalagem apresenta excelentes propriedades mecânicas e de barreira, baixo custo de produção, peso reduzido, elevada resistência e a possibilidade de seu uso na fabricação de peças de diferentes formas, cores e tamanhos (ROSA et al., 2001; BONA, 2007). Contudo, não é considerado biodegradável e está envolvido em problemas ambientais, uma vez que apresenta longo tempo de degradação, permanecendo praticamente intacto ao longo dos anos (BONA, 2007).

De acordo com a *American Standard for Testing and Methods* (ASTM-D-883),

“Polímeros biodegradáveis são polímeros degradáveis, nos quais a degradação resulta primariamente da ação de microrganismos, tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural. Em geral, deriva desse processo dióxido de carbonos, gás metano,

componentes celulares microbianos e outros produtos (ASTM, 1999)."

Assim, com o intuito de substituir, parcialmente, os polímeros plásticos sintéticos, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de elaborar revestimentos que apresentem durabilidade em uso e degradabilidade após o descarte, como o de Chambi & Grosso (2011), Santana et al. (2013), Fai et al. (2016) e Sueiro et al. (2016).

Estas embalagens biodegradáveis podem atuar de forma funcional e coadjuvante ao emprego do frio e de materiais convencionais de embalagens, contribuindo para a preservação da textura e do valor nutricional do produto embalado, redução da taxa respiratória e da perda ou ganho de umidade pela transpiração, preenchimento parcial dos defeitos da casca e redução da produção de etileno, retardando a velocidade de maturação e senescência de frutos e hortaliças (TRIGO et al., 2012; ASSIS; BRITTO, 2014).

Outra vantagem é o fato de poderem ser fabricadas a partir de biopolímeros, como proteínas, carboidratos e lipídios, que podem servir como veículos de aditivos, tais como antimicrobianos, antioxidantes, modificadores de textura e corantes, que melhorem suas qualidades intrínsecas ou incrementem o seu valor nutricional (ZACTITI & KIECKBUSCH, 2006; CAMPOS et al., 2011; OSORIO et al., 2011; MARTIÑON et al., 2014).

Esses revestimentos são películas delgadas de baixa espessura (geralmente menor ou igual a 0,25 mm) aplicadas ou formadas na superfície do alimento (ASTM, 1999), tendo como vantagem a redução do impacto ambiental, podendo ser ou não comestíveis (SHIT & SHAH, 2014). Eles devem ser imperceptíveis e terem aderência suficiente para não serem removidos no manuseio, além de não causarem alterações nas propriedades sensoriais do produto (ASSIS & BRITTO, 2014). Como estas coberturas/filmes passam a fazer parte do alimento a ser consumido, os materiais empregados em sua formação devem ser considerados como GRAS (*Generally Recognized as Safe*), ou seja, serem atóxicos e seguros para o uso em alimentos (FDA, 2013). Cabe ressaltar que essas embalagens têm sido erroneamente denominadas de "biofilmes", termo específico para a designação de colônias de bactérias imobilizadas sobre uma superfície sólida (ASSIS & BRITTO, 2014).

Os filmes e revestimentos são apresentados em formas diferentes. Como filme, é uma membrana delgada pré-formada separadamente do produto, por exemplo, por técnica de *casting*, que consiste na aplicação de uma solução filmogênica em um suporte até a secagem e a formação do filme, seguida da aplicação sobre o alimento. Como revestimento ou cobertura, é suspensão ou emulsão aplicada diretamente na superfície do alimento, tornando-se, posteriormente, um filme. (VILLADIEGO et al., 2005; SOUZA et al., 2010).

Embora seja considerada uma tecnologia emergente, o emprego de filmes e revestimentos comestíveis para a conservação de alimentos não é uma técnica recente. O primeiro registro de utilização de filmes e revestimentos comestíveis data do século XVIII (ALLEN et al., 1963; VILLADIEGO et al., 2005) e, a partir da década de 1930 as ceras de abelha e carnaúba, parafina e óleos mineral e vegetal passaram a ser utilizados na conservação de frutas (VILLADIEGO et al., 2005). Já na década de 1950, foram registradas as primeiras patentes de filmes comestíveis à base de alginato, lipídeos, gomas e amidos para aumentar a vida útil de carne vermelha, aves e frutos do mar congelados (GUILBERT et al., 1996).

Componentes de filmes e revestimentos

As matérias-primas empregadas na formação de filmes e revestimentos se destacam pela sua comestibilidade e biodegradabilidade (TAVASSOLI-KAFRANI et al., 2016), sendo os polímeros naturais os mais utilizados, tendo em vista a capacidade de formação de uma matriz contínua, homogênea e coesa (KESTER & FENNEMA, 1986).

Estes revestimentos podem ser de origem animal ou vegetal, como polissacarídeos (amido e seus derivados, pectina, celulose e seus derivados, alginato e carragena) e proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten e proteínas miofibrilares), classificados como filmes/revestimentos hidrocoloidais; lipídeos (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo); ou compostos, quando há a combinação deles (KROCHTA et al., 1994; LUVIELMO et al., 2015).

A escolha do agente formador de filme vai depender fundamentalmente das características do alimento a ser revestido e do objetivo almejado com o

revestimento. Além disso, fatores como estabilidade microbiológica, solubilidade, transparência, propriedades mecânicas e sensoriais, e permeabilidade ao vapor d'água, também são determinantes nesta escolha (SILVA, 2017).

Os polissacarídeos, lipídeos e proteínas de diversas origens têm sido utilizados como matérias-primas para formação de filmes e coberturas comestíveis em alimentos. Cada um desses materiais, isolados ou combinados, apresenta vantagens e desvantagens específicas. Além disso, variações nas concentrações e adição de plastificantes, antioxidantes, pigmentos, vitaminas e agentes antimicrobianos têm sido práticas comuns para melhorar as propriedades dos revestimentos formados (KROCHTA et al., 1994).

Os revestimentos e filmes comestíveis elaborados a partir de polissacarídeos ou proteínas possuem ótimas propriedades mecânicas e ópticas e geralmente apresentam umidade elevada, porém são marcados por baixas propriedades de barreira ao vapor d'água. Por outro lado, os revestimentos à base de lipídeos ou poliésteres são caracterizados por propriedades de barreira altamente satisfatórias, mas geralmente formam superfícies de elasticidade relativamente baixa (GUILBERT et al., 1996).

Revestimentos à base de polissacarídeos favorecem a menor permeabilidade a gases, o que reduz a taxa de escurecimento enzimático (SILVA, 2017), enquanto que aqueles obtidos a partir de proteínas normalmente não apresentam boas propriedades de permeabilidade de umidade, sendo constantemente associados com lipídeos para solucionar este problema (FERNANDES, 2015).

Vários materiais têm sido empregados no preparo dos revestimentos, como amido de milho e gelatina (BOTREL et al., 2010; FAKHOURI et al., 2015), gomas (BORGES et al., 2013; ABREU et al., 2016), quitosana (BRITTO et al., 2012; GOL et al., 2015; CHEVALIER et al., 2016; RICARDO-RODRIGUES et al., 2017), alginato e pectina (ANDRADE et al., 2007), pectina isolada (AYALA-ZAVALA et al., 2013; EÇA et al., 2015), cera de carnaúba (MIRA et al., 2015), cera de abelha e amido de tapioca (PÉREZ-GALLARDO et al., 2015), proteína do soro do leite (OUSSALAH et al. 2004; YOSHIDA & ANTUNES, 2009; DI PIERRO et al., 2011; RAMOS et al., 2013) e alguns frutos, por exemplo, a banana, seja a polpa ou a casca verde (PITAK & RAKSHIT, 2011; MARTELLI et al., 2013; RODRÍGUEZ-MARÍN et al., 2013).

Alguns estudos mostraram a utilização de resíduos alimentares como alternativa para a produção de revestimentos e filmes biodegradáveis (PARK &

ZHAO, 2006; BARBOSA et al., 2011; OOI et al., 2012; MARTELLI et al., 2013), tendo em vista que estas matérias-primas contêm substâncias com potencial para melhorar as características deste tipo de embalagem, além de favorecerem a estabilidade, a conservação do valor nutritivo, a cor do produto, o retardamento do desenvolvimento microbológico e da incidência de desordens fisiológicas (COSTA, 2009).

Processo de formação de filmes e revestimentos

A preparação de filmes e revestimentos envolve a utilização de um agente formador de filme (biopolímero), um solvente, como água, álcool e ácido acético, e um plastificante, como sorbitol e glicerol, sendo importantes na modificação das propriedades mecânicas deste tipo de embalagem de baixa umidade, tornando-a menos quebradiça (KROCHTA et al., 1994; YOSHIDA & ANTUNES, 2004; VALENCIA-CHAMORRO et al., 2009).

A adição de plastificante deve ser feita adequadamente, pois sua presença na matriz polimérica interfere na molhabilidade e permeação dos filmes, uma vez que reduz as forças intermoleculares facilitando o movimento e espaço das cadeias, facilitando a difusão de gases (BANKER, 1966; SCRAMIN et al., 2011).

Quatro técnicas de produção de revestimentos comestíveis são descritas na literatura científica: *coacervação*, *remoção de solvente*, *fusão e solidificação*, e *gelificação ou coagulação térmica*. As diferenças de metodologia são decorrentes do tipo, forma e quantidade de material, dos aditivos aplicados, das condições de secagem e do material sobre o qual a solução filmogênica é vertida para secagem (VILLADIEGO et al., 2005; KOKOSZKAI & LENART, 2007).

A *coacervação* é uma técnica que consiste na separação de um material de revestimento de uma solução por meio de aquecimento, adição de solventes ou alteração de pH ou carga do polímero envolvido; já a *remoção de solvente* é indicada para biopolímeros celulósicos dispersos em solução aquosa, por meio de secagem com velocidade e temperaturas adequadas e controladas; enquanto que a *fusão e solidificação por resfriamento* é para preparação de filmes lipídicos; e na *gelificação* ocorre desnaturação de macromoléculas, com consequente formação de

gel e precipitação (KESTER & FENNEMA, 1986; KROCHTA et al., 1994; GUILBERT et al., 1996).

Estas técnicas de formação de filme podem ser utilizadas com qualquer uma das seguintes técnicas de aplicação: imersão, *spray*, pinceis e *casting*.

A imersão é a técnica mais comum e que tem apresentado maior eficiência, tendo em vista que há garantia do contato total da superfície do alimento com a solução filmogênica, além de deposição mais homogênea devido à ausência de bolhas. Contudo para um completo revestimento, o tempo de imersão, que varia de segundos a minutos a depender da concentração de polímeros em solução, deve ser respeitado (ASSIS & BRITTO, 2014).

Já o *spray* é aplicado quando se deseja uma película mais fina e uniforme, e, ao contrário da imersão, é mais adequado quando se deseja recobrir apenas um lado do alimento ou aplicar um segundo revestimento mais fino, como soluções catiônicas necessárias para estabilizar revestimentos de alginato ou pectina (KROCHTA et al., 1994).

A técnica de *casting* consiste na aplicação de uma solução filmogênica em um suporte até sua secagem completa, com formação do filme, seguida da aplicação sobre o alimento (SOUZA et al., 2010).

Em condições ideais, a formação de coberturas e filmes como membranas rígidas se dá através da evaporação do solvente e reorganização do material polimérico, passando de um líquido viscoso a um gel elástico, numa etapa de gelificação (MANSON & SPERLING, 1976), que deve ocorrer de forma espontânea e o mais lentamente possível para evitar a formação de bolhas, resultando, muitas vezes, em uma cobertura porosa e com propriedades de barreira reduzidas (STEWART et al., 2000).

Aplicações de filmes e revestimentos

Os revestimentos e filmes comestíveis são amplamente aplicados na indústria de processamento de alimentos com o intuito de prolongar a vida útil dos produtos vegetais e animais, especialmente na forma não processada, podendo ser usados também como embalagens para alimentos *ready-to-eat*, produtos de panificação e como carreadores de conservantes e demais aditivos (TEDERKO, 1995).

Na indústria de carnes, as coberturas podem ser utilizadas como invólucros de embutidos cárneos. Aqueles à base de carragenina, por exemplo, evitam desidratação superficial de carnes frescas e congeladas; enquanto que revestimentos à base de proteínas de soro do leite, incorporados com óleo essencial de orégano (*Oreganum vulgare*) têm potencial de inibição do crescimento microbiano, como observado por Fernandes (2015).

López-Caballero e colaboradores (2004) relataram bons resultados com coberturas de gelatina em relação as barreiras ao oxigênio devido à sua estabilidade em temperaturas baixas. Whiteman et al. (1971) estabeleceram que coberturas de 10 a 50% de gelatina e 50 a 90% de álcool poliidríco permitem acesso limitado de oxigênio à carne.

O uso de revestimento à base de gelatina contendo misturas de óleos essenciais favorece a estabilidade da cor da carne embalada em condições aeróbias, como observado por Cardoso et al. (2009).

Cardoso (2011) obteve bons resultados sobre biopolímeros à base de gelatina, quitosana e glicerina aplicados em carne bovina refrigerada, quanto aos parâmetros de perda de peso, oxidação lipídica e manutenção de cor durante cinco dias de estocagem sob fotoperíodo.

Melo (2010), ao elaborar filmes ativos à base de celulose incorporados com diferentes concentrações (10, 20, 30, 40 e 50% v/p) de óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), obteve performances significativas com filmes com 50% de óleo essencial quanto às propriedades mecânicas e aos efeitos *in vitro* sobre crescimento de mesófilos e contra coliformes totais em carne de frango resfriada.

Já Santos (2014) alcançou bons resultados de conservação de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) através de revestimento de quitosana sem e com óleos essenciais de citronela, copaíba e eucalipto. O revestimento de quitosana demonstrou melhor resultado em temperaturas mais baixas. Além disso, houve redução da oxidação lipídica e do número de microrganismos, favorecendo a redução do *off-flavor* no pescado em estudo.

Bastiti (2016) desenvolveu embalagens celulósicas biodegradáveis revestidas com solução biopolimérica à base de gelatina reticulada com transglutaminase, glicerol e ácido cítrico para acondicionamento de carne bovina resfriada. Os resultados mostraram que este tipo de embalagem é uma alternativa viável para o acondicionamento desse produto alimentício.

Nos produtos de panificação, a aplicação de películas protetoras também tem apresentado bons resultados, como o observado por Bertan (2008) no acondicionamento de pães de forma utilizando revestimento de fécula de mandioca e amido de milho ceroso, por Osawa et al. (2009) em bolos de chocolate embalados em filmes de gelatina com ácido esteárico, *fondant*, amido modificado e cera de carnaúba com o objetivo de avaliar as características sensoriais e intenção de compra, e por Naponucena (2014) em *muffins* revestidos com coberturas de fécula de mandioca plastificada com sacarose e açúcar invertido contendo aditivos naturais (café solúvel, cacau em pó e extrato de própolis).

Os filmes elaborados a partir de proteínas da soja e do sorgo conferem brilho a produtos de panificação; e servem como impermeabilizantes em sementes, nozes e grãos inteiros (KLAHORST, 1999).

Os revestimentos comestíveis também têm sido usados em frutas e vegetais minimamente processados. Nesses produtos, esses revestimentos oferecem uma barreira semipermeável a gases e vapor d'água e reduzem as taxas respiratórias. Além disso, evitam a perda de água, as mudanças de cor, melhoram textura e integridade mecânica, retendo o sabor e diminuindo crescimento microbiano, aumentando, dessa forma, a vida de prateleira do produto (BALDWIN et al., 1995; VILLADIEGO et al., 2005).

Andrade et al (2007) empregou revestimentos comestíveis à base de alginato e pectina de baixa metoxilação, com o objetivo de diminuir a transferência de massa em jenipapos comerciais. O emprego desses revestimentos acarretou significativa redução do ganho de solutos.

Os trabalhos com revestimentos comestíveis em melões minimamente processados têm se mostrados eficientes. Miguel (2008), por exemplo, avaliou o revestimento comestível a base de alginato de sódio 1%, na conservação de melão Amarelo minimamente processado, armazenado a 5°C, durante 12 dias. De acordo com seus resultados, houve redução da taxa respiratória ao longo do período de armazenamento e baixa produção de etileno. Quanto à qualidade microbiológica, as contagens de bactérias psicotróficas e de bolores e leveduras mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis. O uso de revestimento a base de alginato de sódio também resultou em melões com menores teores de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e grau de solubilização da pectina, melhor sabor e coloração mais escura da polpa, em decorrência da cor da solução a base de alginato de sódio.

Botrel e colaboradores (2010) mostraram a eficiência de revestimentos de amido adicionado de lactato de cálcio e L-cisteína em pera Williams na inibição do escurecimento enzimático, na redução do crescimento de psicrotrófilos e enterobactérias e na manutenção da textura. O uso dessa película conservante prolongou a vida útil e manteve a qualidade da pera minimamente processada durante seis dias a $7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O estudo de Pilon e colaboradores (2015) observou o uso potencial de revestimentos contendo nanopartículas de quitosana no controle de atividade microbiana em maçãs Gala minimamente processadas durante o armazenamento a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 10 dias.

Borges et al (2016) avaliaram revestimentos de extrato de nabo com ou sem cloreto de cálcio em associação com goma xantana na conservação de maçãs minimamente processadas. Os revestimentos não foram eficientes no controle da perda de massa; entretanto, aqueles adicionados de extrato de nabo proporcionaram manutenção da coloração, da firmeza e do pH. Observou-se um aumento considerável na atividade da enzima peroxidase nas maçãs minimamente processadas tratadas com extrato de nabo, indicando que esse efeito seja o responsável pela redução do escurecimento. Não foi observada vantagem na associação do extrato de nabo com goma xantana ou com cloreto de cálcio. Contudo, o extrato de nabo pode representar uma alternativa interessante para aplicação em maçãs minimamente processadas.

Caracterização de filmes e revestimentos comestíveis

Os revestimentos e filmes comestíveis devem atender a uma série de requisitos, tais como propriedades de barreira satisfatórias para a água, gases e outras substâncias de interesse, solubilidade em água e gordura, cor e aparência adequadas, propriedades mecânicas e reológicas, não serem tóxicos. Essas propriedades são determinadas pelo tipo de material aplicado, método de produção e modo de aplicação no produto alimentar. Além disso, o tipo de plastificante e os aditivos adicionados também devem ser analisados tendo em vista que podem modificar as propriedades dos revestimentos comestíveis (GONTARD et al., 1993).

A espessura é um dos parâmetros que influencia as propriedades dos filmes. Por meio dela avalia-se a homogeneidade, definindo-se, assim, a uniformidade dos materiais (RIGO, 2006). Contudo, segundo Sobral (2000), nos processos de produção do tipo *casting*, onde ocorre a secagem por evaporação de solvente, o controle da espessura dos filmes se torna difícil, principalmente quando se trabalha com solução filmogênica viscosa, devido à dificuldade de espalhar esse material.

Já as propriedades de barreira são parâmetros importantes do ponto de vista da funcionalidade da embalagem (ANKER et al., 2002) e são determinadas principalmente por componentes de revestimento e métodos de produção aplicados (MATUSKA et al., 2006).

Os filmes ditos com adequadas propriedades mecânicas são aqueles que apresentam resistência à ruptura e abrasão, para proteger o produto no qual é aplicado, e flexíveis, a fim de se adaptar a possíveis deformações, sem se romper (GUILBERT et al., 1996; ANDRADE, 2014). Para isso são realizados testes mecânicos padronizados em revestimentos para embalagens comerciais e biodegradáveis e/ou comestíveis. Tais testes podem incluir a resistência à tração, módulo de elongação na ruptura, módulo de elasticidade, testes de perfuração, entre outros (ORIANI, 2013).

Filmes comestíveis, em geral, têm baixo valor para as propriedades mecânicas comparados com filmes plásticos comuns. No entanto, alguns filmes podem apresentar valores de elongação comparáveis aos filmes plásticos comuns (HAN & GENNADIOS, 2005).

O processo de elaboração do filme determina as propriedades associadas à orientação das moléculas, ao grau de cristalinidade, à homogeneidade da distribuição de espessura do filme, bem como a ocorrência ou não de defeitos superficiais. Deste modo, o comportamento mecânico do revestimento vai ser influenciado por estes fatores (SILVA, 2011).

Além disso, este comportamento também depende das condições ambientais e da natureza do material filmogênico e de sua coesão estrutural, a qual está relacionada com o poder do polímero formar fortes e/ou numerosas ligações intermoleculares que dificultem a sua separação quando submetido às forças mecânicas, sejam de tração ou perfuração (SILVA, 2011).

As propriedades mecânicas dos filmes dependem da sua composição e das condições ambientais. Os valores desejados para a resistência à tração, alongação na ruptura e módulo elástico dependem do propósito de aplicação da embalagem. Em geral, deseja-se a obtenção de filmes com altos resistência à tração e módulo elástico, e moderada alongação (IAHNKE, 2015).

Muitos trabalhos têm sido produzidos para aprimorar as características de filmes e revestimentos comestíveis. Kim & Ustuno (2001), por exemplo, melhoraram a funcionalidade de revestimentos, aumentando a sua espessura para um grau imperceptível e funcional. Enquanto que Machado et al. (2012) e Stoll (2015) se preocuparam com o efeito antioxidante proporcionado pelo revestimento ao incorporarem extrato de erva-mate e antocianinas microencapsuladas provenientes do bagaço de uva, respectivamente. Já outros grupos de pesquisa têm manifestado interesse na melhoria das propriedades mecânicas pela adição de fibras, por exemplo o de Wittaya (2009) com amido de arroz e celulose microcristalina a partir de fibras de palma prensada e o de Rosa et al (2010) com plásticos biodegradáveis à base de amido reforçados com fibras de coco.

De acordo com Rhim e colaboradores (1999), grande parte dos problemas relacionados à diminuição das propriedades sensoriais de produtos embalados com revestimentos comestíveis pode ser resolvido através da aplicação de enzimas, compostos alcalinos, radiação UV, plastificantes, modificação da temperatura no processo de aquecimento da solução de revestimento e até mesmo pela adição de polímeros naturais, como cera, gorduras e ácidos graxos.

Tendo em vista estes parâmetros, a utilização de casca de banana madura pode ser uma matéria-prima com potencial em revestimentos comestíveis, tendo em vista sua capacidade antioxidante e seu considerável teor de fibras que pode contribuir com a melhora de propriedades mecânicas filmogênicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (FAFAR/UFMG) nos Laboratórios dos Setores de Operações, Processos Tecnologia de Alimentos (SOPT) e, Bromatologia e Química de Alimentos (BROMO).

MATERIAL

- **Cascas de bananas (*Musa spp.*) da cultivar Prata (AAB)**

As cascas de bananas (*Musa spp.*) da cultivar Prata (AAB) em estágio 7 de maturação (amarela com manchas marrons, segundo escala de Von Loesecke (1950)) foram coletadas na Unidade Municipal de Educação Infantil (UMEI) Alaíde Lisboa, localizada em Belo Horizonte – MG, Brasil, no período de outubro a dezembro de 2016, sendo imediatamente processadas.

- **Amido de milho e glicerina**

Os filmes comestíveis foram preparados com farinha de casca de bananas (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação (FCBP) acrescidos de diferentes proporções de amido de milho comercial (Maizena®, Unilever Brasil Industrial Ltda., Brasil) e glicerina bidestilada P.A (Dinâmica Química Contemporânea Ltda., CAS [56-81-5], Brasil), como agente plastificante.

MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em duas etapas. A primeira etapa, realizada no período de outubro a dezembro de 2016, teve como objetivo a elaboração e caracterização da farinha de cascas de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação (FCBP). Já na segunda etapa, ocorrida no período de janeiro a novembro de 2017, foram desenvolvidos e caracterizados os revestimentos

comestíveis a partir dessa farinha, acrescida de amido, água destilada e plastificante (glicerina).

Elaboração da farinha de casca de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação

Após o descascamento manual, realizado na UMEI Alaíde Lisboa, as cascas de banana (*Musa spp.*) Prata (AAB) foram imediatamente imersas em solução de ácido cítrico monohidratado (Synth, Anidro P.A.-A.C.S., Brasil) a 0,5% (p/v) por cerca de 30 minutos para minimizar o escurecimento enzimático (**Figura 4**).

Figura 4. Cascas de bananas (*Musa spp.*) Prata (AAB) em estágio 7 de maturação imersas em solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v).



As cascas que exibiram sinais de oxidação (maior quantidade de manchas marrons), não se enquadrando no estágio 7 de maturação desse fruto, foram descartadas. Os pedaços de polpa soltos ou aderidos às cascas também foram removidos.

Após esta seleção, adicionou-se água destilada em quantidade suficiente para que as cascas pudessem ser processadas em liquidificador (Philips Walita, modelo Walita Brasília LB, Brasil) por 10 minutos e Ultra-turrax (Ultra Stirrer, modelo Ultra80-II) velocidade 6, por 10 minutos. A pasta formada foi acondicionada em garrafas de polietileno tereftalato (PET) para congelamento a -18 °C até o momento da elaboração da farinha.

Esta pasta foi descongelada a temperatura ambiente (25 °C), drenada com uso de tamis (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda., 32 mesh, 500 mm, Brasil) e

submetida à desidratação em estufa com circulação forçada de ar (FANEM, 320-SE, Brasil) a 60 ± 5 °C por 24 horas (**Figura 5**).

Figura 5. Processo de drenagem da pasta de cascas de bananas Prata (AAB) antes (1) e após (2) a retirada do excesso de água, e após desidratação em estufa a 60 ± 5 °C por 24 horas (3).



O material foi triturado em liquidificador (Philips Walita, modelo Walita Brasília LB, Brasil) por 1 hora, padronizado em tamanho com uso de tamis (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda., 32 mesh, 500 mm, Brasil) e acondicionado em recipientes de vidro para congelamento a -18 °C até o momento das análises.

Caracterização da farinha de casca de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação

A FCBP foi caracterizada quanto à composição centesimal, segundo os métodos da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012) e adaptações, e Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), sendo determinados os teores de umidade, lipídios, proteínas, cinzas, carboidratos totais em glicose e fibra dietética total, solúvel e insolúvel; quanto aos teores de compostos fenólicos, segundo Rufino et al. (2007) e atividade antioxidante, segundo Rufino et al (2007) e AOAC (2012).

As análises foram realizadas em duplicata para fenóis totais, quaduplicata para fibras dietéticas e triplicata para as demais análises de composição centesimal e atividade antioxidante, utilizando balança analítica (Shimadzu, AX200, Brasil; e Shimadzu, AUY220, Brasil) para as devidas pesagens.

- **Determinação de umidade**

A determinação de umidade foi realizada segundo método IAL (2008), sendo pesados aproximadamente 5,0 g de amostra para secagem direta em estufa ventilada (FANEM, 320-SE, Brasil) a 105 °C até peso constante. Os resultados foram expressos em % de umidade.

- **Determinação de lipídios**

A determinação do extrato etéreo foi realizada segundo método oficial da AOAC (2012) nº 920.39,C, sendo pesados aproximadamente 2,5 g de amostra seca para extração direta em extrator de gorduras/lipídios (Solab, SL-202, Brasil), utilizando éter. Os resultados foram expressos em % de lipídios em base seca.

- **Determinação de proteínas**

A determinação de proteína foi realizada pelo método de micro-Kjeldahl, bloco digestor (TECNAL, 040/25, Brasil), destilador de nitrogênio (TECNAL, TE-0363, Brasil) e o fator 6,25 para conversão da porcentagem de nitrogênio, segundo método oficial da AOAC (2012) nº 940.25. Para a análise, foram pesados aproximadamente 0,2 g de amostra, sendo os resultados expressos em % de proteína.

- **Determinação de cinzas**

A determinação do resíduo por incineração foi realizada segundo método oficial da AOAC (2012) nº 940.26, sendo pesados aproximadamente 3,0 g de amostra para incineração a 550 °C em mufla (FORNITEC, 2629, Brasil). Os resultados foram expressos em % de cinzas.

- **Determinação de carboidratos totais em glicose**

A determinação de carboidratos totais em glicose foi realizada segundo método oficial da AOAC (2012) nº 958.06 (método cuprimétrico de Fehling), utilizando chapa de aquecimento com refrigerador de refluxo (Solab, SL-202, Brasil), chapa elétrica (agitador magnético VELP Scientifica, Itália) e titulação com soluções padronizadas de Fehling A e B. Para a análise, foram pesados aproximadamente 2,2 g de amostra seca, sendo os resultados expressos em % de carboidratos em base seca.

- **Determinação de fibra dietética total, solúvel e insolúvel**

A determinação de fibra dietética total, solúvel e insolúvel foi realizada pelo método enzimático-gravimétrico, segundo AOAC (2005) e modificações, com o uso de alfa-amilase termorresistente (Sigma Aldrich, EUA), pepsina (Merck KGaA, Alemanha) e pancreatina (Merck KGaA, Alemanha) para remover o amido e a proteína de aproximadamente 1,0 g de amostra seca e desengordurada.

A fibra alimentar insolúvel foi obtida pela filtração e lavagem do resíduo com água acidulada, etanol e acetona, seguida de incineração e pesagem. Já a fibra alimentar solúvel foi adquirida por precipitação pela adição de etanol, filtração, incineração e pesagem. Foram determinados os brancos e os teores de proteína e cinzas como fatores de correção para os devidos cálculos.

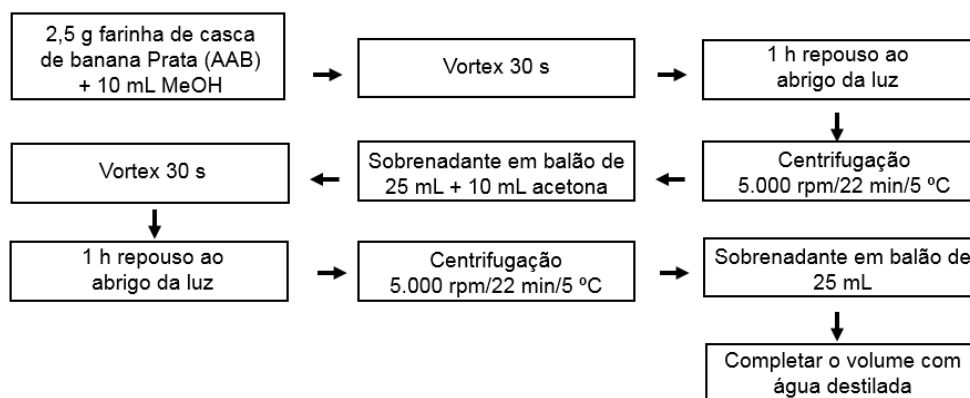
Para a determinação das fibras foram utilizados: banho-Maria (GMA Médica, Brasil), pHmetro (Bante Instruments Limited, Bante920 Precision pH/ORP Meter, China), estufa (FANEM, 320-SE, Brasil), mufla (FORNITEC, 2629, Brasil), sistema de vácuo, bloco digestor (TECNAL, 040/25, Brasil) e destilador (TECNAL, TE-0363, Brasil).

Os resultados foram expressos em % de fibra dietética total, solúvel e insolúvel em base seca.

- **Extração e determinação de compostos fenólicos totais**

O teor de compostos fenólicos totais da FCBP foi avaliado segundo o método de Rufino et al. (2007), que consiste numa extração metanólica-acetônica (**Figura 6**).

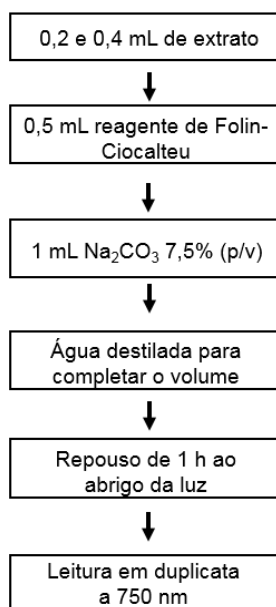
Figura 6. Diagrama de fluxo da extração com metanol/acetona da amostra de FCBP.



Foram utilizados os seguintes equipamentos para extração: agitador de tubos vortex (Nova instruments, NI 1066, Brasil), centrífuga (Sigma, 2K15, Alemanha) e pipetas automáticas (KASVI, KASVIbasic K1-1000B).

A determinação propriamente dita de fenóis totais presentes na amostra dos extratos foi realizada por método espectrofotométrico (espectrofotômetro Micronal, AJX-1900, Brasil) na região de 750 nm utilizando o método de Folin–Ciocalteu (Rufino et al., 2007 - adaptado) com 0,20 e 0,40 mL dos extratos, comparados com a curva analítica de ácido gálico monohidratado puríssimo (Vetec, Brasil) nas concentrações de 2,00, 3,00, 4,00, 5,00, 6,00 e 7,00 mg/L ($y = 0,0641x + 0,0088$; $R^2 = 0,9999$), sendo os resultados expressos em equivalentes de ácido gálico (EAG.100 g⁻¹ FCBP), sendo o padrão e os extratos coletados com pipeta automática (KASVI, KASVIbasic K1-1000B) (**Figura 7**).

Figura 7. Diagrama de fluxo do método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu para análise de FCBP.



- **Atividade antioxidante**

A capacidade antioxidante da FCBP foi determinada empregando-se de três métodos espectrofotométricos (espectrofotômetro Analytik Jena, SPEKOL 1300, Alemanha): captura do radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) e redução do ferro (FRAP – *Ferric Reducing Antioxidant Power*), segundo Rufino et al (2007), e captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), segundo AOAC (2012).

Para as análises de atividade antioxidante, as amostras foram submetidas a extração metanólica-acetônica (RUFINO et al., 2007), sendo pesados aproximadamente 2,5 g para 25 mL de solução extratora.

O método da captura do radical ABTS foi realizado na região de 734 nm, em ambiente escuro, utilizando 30,0 µL de três diluições diferentes dos extratos (50%, 75% e 100% v/v), em triplicata, com 3,0 mL do radical ABTS^{•+} (reação, ao abrigo da luz, a temperatura ambiente, por 16 h, da solução estoque de ABTS 7 mM e persulfato de potássio 140 mM, seguida de diluição dessa mistura com álcool etílico até obtenção de uma absorbância de 0,700 nm ± 0,050 nm a 734 nm). A partir das

absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, determinou-se a equação da reta. Para o cálculo da Atividade Antioxidante Total (AAT), substituiu-se na equação da reta a absorbância equivalente a 1.000 µM do padrão Trolox, conforme sua curva analítica ($y = -0,0004x + 0,5968$; $R^2 = 0,9877$) obtida a partir das concentrações de 100 a 1500 µM. O valor obtido para o termo x correspondeu à diluição da amostra (mg/L) equivalente a 1.000 µM de Trolox. A partir desse resultado, dividiu-se por 1.000 para ter o valor em g. O resultado final, correspondente aos compostos extraíveis, foi calculado pela divisão de 1.000 (µM) pelo valor de X(g) e multiplicado por 1(g) para encontrar o valor final (Z), expresso em µM Trolox/g de farinha (**Eq. (1)**).

Cálculo final expresso em (µM Trolox/g) Eq. (1)

$$X_{(g)} = x/1000$$

$$Z = 1000/X_{(g)} \times 1$$

O método de redução do ferro (FRAP) foi realizado na região de 595 nm, em ambiente escuro, após 30 minutos de incubação a 37 °C, de 90,0 µL de cada triplicata das três diluições diferentes dos extratos (50%, 75% e 100% v/v), acrescidos de 270,0 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP (tampão acetato 0,3 M, TPTZ 10 mM e cloreto férrico 20 mM). A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, determinou-se a equação da reta. Para o cálculo da AAT, substituiu-se na equação da reta a absorbância equivalente a 1.000 µM do padrão sulfato ferroso, conforme sua curva analítica ($y = 0,0008x - 0,1618$; $R^2 = 0,9925$), obtida a partir das concentrações de 100 a 2000 µM. O valor obtido para o termo x correspondeu à diluição da amostra (mg/L) equivalente a 1.000 µM de sulfato ferroso. A partir desse resultado, dividiu-se por 1.000 para ter o valor em g. O resultado final, correspondente aos compostos extraíveis, foi calculado pela divisão de 1.000 (µM) pelo valor de X (g) e multiplicado por 1(g) para encontrar o valor final (Z), expresso em µM sulfato ferroso/g de farinha (**Eq. (2)**).

Cálculo final expresso em (μM sulfato ferroso/g) Eq. (2)

$$X_{(g)} = x/1000$$

$$Z = 1000/X_{(g)} \times 1$$

O método da captura do radical DPPH foi realizado na região de 517 nm, em ambiente escuro, após 4 horas de incubação sob agitação a 35 °C, de 0,050 mL, 0,075 mL e 0,100 mL dos extratos, acrescidos de 5 mL de DPPH. A partir da curva analítica de Trolox, com volumes de 0,02 a 0,10 mL ($y = -9,037x + 1,0101$; $R^2 = 0,9993$), encontrou-se a absorbância líquida do padrão Trolox, que é metade do branco teórico, correspondente ao coeficiente linear. Cada extrato teve seu peso e absorbância corrigidos (**Eq. (3)** e **Eq. (4)**). A partir dos pesos e absorbâncias corrigidos, determinou-se a equação da reta para calcular a massa líquida (**Eq. (5)**). A atividade antioxidante total (AAT), correspondente aos compostos extraíveis, foi calculada segundo **Eq. (6)**, sendo o resultado expresso em μM Trolox/g de farinha.

$$P_{\text{corrigido}} = P_{\text{amostra}} \times \text{fator de diluição} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$Abs_{\text{corrigida}} = \text{Branco teórico} - Abs_{\text{amostra}} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$Massa_{\text{líquida}} = \frac{(Abs_{\text{corrigida}} - \text{coeficiente linear})}{\text{coeficiente angular}} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$AAT = \frac{\text{Fator Trolox} \times Abs_{\text{líquida}}}{Massa_{\text{líquida}} \times |\text{Coeficiente angular Trolox}|} \quad \text{Eq. (6)}$$

Elaboração de filme comestível

A partir da FCBP foram realizados ensaios preliminares para elaboração de filmes comestíveis com qualidades sensoriais adequadas: continuidade (ausência de rupturas ou fraturas após secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis ou bolhas visíveis ao olho nu, ou zonas de opacidade ou de cores

diferenciadas) e manuseabilidade (possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura) (GONTARD, 1991 apud RIGO, 2006).

Os revestimentos foram produzidos a partir de soluções filmogênicas aquosas segundo a técnica do tipo *casting*, onde foram dispersos em placas de poliestireno de 15 cm de diâmetro e desidratados em estufa ventilada (FANEM, 320-SE, Brasil) a 40 °C por 48 horas.

Os revestimentos elaborados passaram por testes preliminares para definição das melhores etapas de processamento. Deste modo a elaboração dos filmes consistiu em: mistura da FCBP com água destilada (3 e 4 g/100 mL p/v água), adição de amido de milho (0, 25, 33, 50, 75 e 100% p/p em relação à farinha); aquecimento sob agitação constante (agitador magnético VELP Scientifica, Itália; banho-Maria GMA Médica, Brasil) (81 e 95 °C por 15 e 30 min); homogeneização (Ultra-turrax Ultra Stirrer, modelo Ultra80-II); adição de glicerina (19% e 30% p/p em relação à farinha); aquecimento sob agitação (agitador magnético VELP Scientifica, Itália; banho-Maria GMA Médica, Brasil) (81 e 95 °C por 15 e 30 min); filtração (sem filtração, filtração com algodão, gaze Cremer® e gaze Cicatrisan®); emplacamento (15, 20, 30 e 40 mL de solução filmogênica); e desidratação em estufa a 40 °C por 48 horas.

Delineamento estatístico

A partir dos resultados dos ensaios preliminares, em que se obteve um filme de coloração brilhante, homogêneo, flexível e de fácil desprendimento da placa de poliestireno, determinou-se o planejamento estatístico da elaboração e caracterização dos revestimentos comestíveis.

Optou-se por realizar um planejamento de experimentos de segunda ordem: o Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR), que contém um ponto central executado com réplicas, que dá uma estimativa do erro puro e de pontos axiais, que por sua vez, determinam os termos quadráticos.

Foram escolhidos como variáveis independentes a concentração de amido (33,3 a 61,6% p/p) em relação à farinha e o tempo de aquecimento (34 a 60 minutos) como parâmetros para a execução desse delineamento; e as propriedades físicas (espessura, cor e solubilidade em água), de barreira (permeabilidade ao

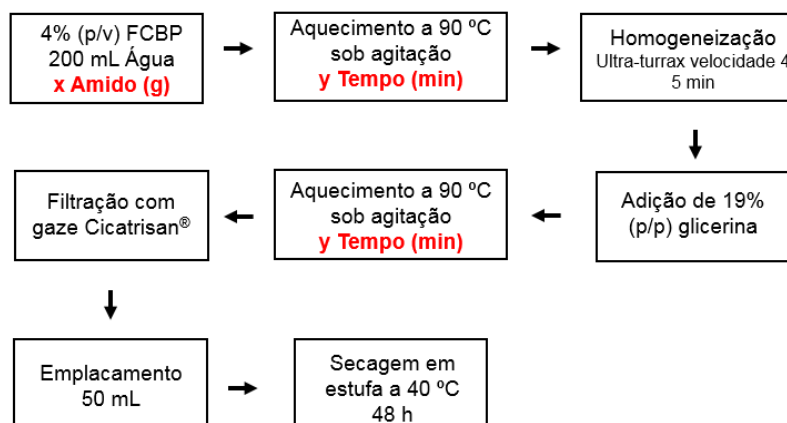
vapor d'água), mecânicas (resistência à tração, porcentagem de alongação, módulo elástico, força de perfuração e deformação na perfuração), como variáveis dependentes. Assim, este DCCR abrangeu um total de 11 ensaios, sendo 3 pontos centrais e 8 pontos axiais, conforme descrito na **Tabela 4**.

Tabela 4. Delineamento estatístico para elaboração e caracterização de filmes comestíveis a partir de FCBP.

ENSAIOS		AMIDO (%)		TEMPO (min)	VARIÁVEIS DEPENDENTES
1	-1	38,3	-1	34	Espessura Solubilidade em água Cor Permeabilidade ao vapor d'água Resistência à tração Porcentagem de alongação Módulo elástico Força de perfuração Deformação na perfuração
2	+1	61,6	-1	34	
3	-1	38,3	+1	56	
4	+1	61,6	+1	56	
5	-1,41	33,3	0	45	
6	+1,41	66,6	0	45	
7	0	50	-1,41	30	
8	0	50	+1,41	60	
9	0	50	0	45	
10	0	50	0	45	
11	0	50	0	45	

Os revestimentos correspondentes aos 11 ensaios foram preparados com 4% (p/v) FCBP, 200 mL de água destilada, concentrações variadas (x) de amido de milho e 19% (p/p) de glicerol em relação à farinha, durante diferentes tempos de aquecimento (y) a 90 °C (**Figura 8**).

Figura 8. Diagrama de fluxo da elaboração de revestimentos comestíveis a partir de FCBP.



Caracterização dos filmes comestíveis

Os filmes secos foram mantidos nas placas de poliestireno e acondicionados em dessecadores, a 23 ± 2 °C, sob umidade relativa (UR) de 58% obtida a partir de solução saturada de brometo de sódio (NaBr) por período mínimo de 48 h até o início das análises, conforme ASTM E171/E171M – 11 (ASTM, 2015).

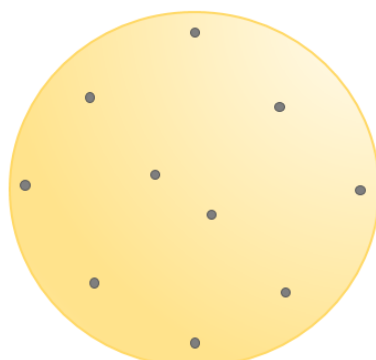
Os revestimentos foram, então, caracterizados quanto às propriedades físicas (espessura, cor e solubilidade em água), de barreira (permeabilidade ao vapor d'água), mecânicas (resistência à tração, porcentagem de alongação, módulo elástico, força de perfuração e deformação na perfuração), segundo as normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Além disso, os filmes que apresentaram os melhores resultados sensoriais (continuidade, homogeneidade e manuseabilidade) e de caracterização foram analisados quanto à composição centesimal, segundo os métodos da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012) e adaptações, e Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), sendo determinados os teores de umidade, lipídios, proteínas, cinzas, carboidratos totais em glicose e fibra dietética total, solúvel e insolúvel; quanto aos teores de compostos fenólicos, segundo Rufino et al. (2007) e atividade antioxidante, segundo Rufino et al (2007) e AOAC (2012), conforme descrito nos itens de caracterização da FCBP.

- **Determinação da espessura**

A espessura dos filmes foi determinada utilizando-se um micrômetro digital (0,001 mm), com escala de 0-25 mm e precisão de 0,001 mm (Digimess, Electronic Outside Micrometer, São Paulo), em 10 pontos diferentes (**Figura 9**), considerando-se a espessura como a média entre as 10 leituras, seguindo a ASTM F2251 – 13 (ASTM, 2013).

Figura 9. Desenho esquemático dos 10 pontos de leitura para análise de espessura nos filmes de FCBP.



- **Determinação da solubilidade em água**

A solubilidade em água dos filmes foi determinada em triplicata, sendo as amostras dos filmes correspondentes a discos de 2 cm de diâmetro.

Inicialmente as amostras foram desidratadas em estufa (FANEM, 320-SE, Brasil) a 105 °C por 24 h. Após a primeira pesagem, as amostras foram imersas em recipientes contendo 50 mL de água destilada e agitadas lenta e periodicamente em mesa agitadora pendular (LUCADEMA, LUCA-180/DTP, Brasil) por 24 h à temperatura ambiente. Após este período, as amostras foram filtradas utilizando filtro de papel pré-pesados e posteriormente secos à 105 °C durante 24 h. O material resultante foi pesado para a determinação do peso seco final.

A solubilidade em água (%) foi determinada de acordo com a equação **Eq. (7)**:

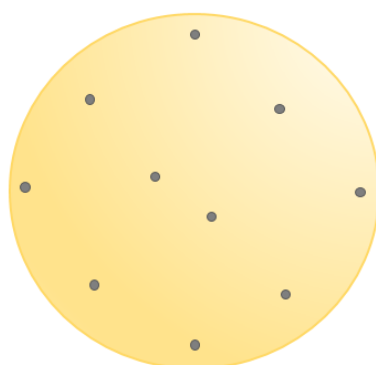
$$S = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Eq. (7),}$$

onde P_i corresponde ao peso seco inicial da amostra (g), e P_f ao peso seco final da amostra (g).

- **Determinação das propriedades colorimétricas**

A cor dos filmes foi medida em espectrofotômetro (Konica Minolta, CM-2300d, Japão), com determinação no sistema CIE $L^*a^*b^*$, sendo realizadas 10 leituras em pontos diferentes do filme para determinação dos parâmetros médios de cor (**Figura 10**).

Figura 10. Desenho esquemático dos 10 pontos de leitura para análise colorimétrica nos filmes de FCBP.



As medidas realizadas foram expressas em termos dos parâmetros L^* (luminosidade) e coordenadas a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul). A partir das coordenadas a^* e b^* calcularam-se C^* , correspondente ao “chroma” (**Eq. (8)**), que indica a intensidade da cor, e h° (**Eq. (9)**), correspondente ao ângulo de tonalidade, a cor propriamente dita.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left\{ \frac{b^*}{a^*} \right\} \quad \text{Eq. (9)}$$

O espaço de cores $L^*C^*h^\circ$ utiliza o mesmo diagrama que o espaço de cores $L^*a^*b^*$, porém com coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas cartesianas. Nesse espaço de cores, o L^* indica luminosidade, e é o mesmo L^* do espaço de cores $L^*a^*b^*$. O C^* indica o “chroma” e o h° é o ângulo de tonalidade. O valor de chroma C^* é 0 no centro e aumenta conforme a distância deste. O ângulo de tonalidade h° inicia-se no eixo $+a^*$ e é dado em graus.

- **Determinação da permeabilidade ao vapor d'água**

A permeabilidade ao vapor d'água foi determinada usando o método água adaptado seguindo o descrito na norma ASTM E96/E96M – 16 (ASTM, 2016) (**Figura 11**).

Figura 11. Método água de permeabilidade ao vapor d'água dos filmes de FCBP.



Os filmes foram cortados em formato circular com 3,1 cm de diâmetro, sendo fixados, com a parte brilhante voltada para baixo, em frascos PET (8,5x4,0 cm; 50 mL) contendo 25 mL de água destilada, vedados hermeticamente (100% UR). A distância entre água e os filmes correspondia a 3,5 cm. Os frascos foram colocados em dessecador contendo sílica gel em seu interior (0% UR) e acondicionados em ambiente climatizado a 25 ± 2 °C.

A análise ocorreu em triplicata mais os controles, sendo um controle com o frasco fechado com água sem filme e outro com o frasco vazio contendo um filme de cada ensaio.

A diminuição de peso pelos frascos foi determinada em balança analítica (Shimadzu, AX200, Brasil) em intervalos de 24h, durante 8 dias. A permeabilidade ao vapor d'água (PVA) foi calculada por meio da perda de peso por unidade de tempo (P/t), espessura dos filmes (x) e gradiente de pressão (Δp), conforme equação **Eq. (10)**.

$$PVA = \frac{(P/t) \cdot x}{\Delta p} \quad \text{Eq. (10)}$$

Os resultados foram expressos em g/h.m.Pa.

- **Determinação das propriedades mecânicas**

A determinação das propriedades mecânicas dos revestimentos seguiu as normas ASTM D638 – 14 (ASTM, 2014) e ASTM D882 – 12 (ASTM, 2012), com uso de texturômetro (Stable Micro Systems, TA.XT2i, Inglaterra)

A resistência à tração (MPa), porcentagem de alongação na ruptura (%) e o módulo elástico ou módulo de Young (MPa) foram determinados, com 5 repetições, com uma célula de carga de 5 kg, probe A/TG *Tensile Grips*, distância entre as garras de 50 mm e velocidade de teste de 1 mm/s. Os filmes foram recortados formando corpos de prova de 100x15 mm. Os valores de resistência à tensão, porcentagem de alongação na ruptura e módulo elástico são dependentes da força máxima que o material plástico suporta, da área exposta e do comprimento do corpo de prova, conforme equações (Eq. (11), Eq. (12), Eq. (13)).

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad \text{Eq. (11),}$$

onde σ corresponde à resistência à tração (MPa), F_{max} à força máxima (N) aplicada e A à área da seção transversal (espessura x altura) (mm²).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad \text{Eq. (12),}$$

onde ε corresponde à taxa de alongamento (%), Δl à variação de comprimento (mm) e l_0 ao comprimento inicial do corpo de prova (mm).

O módulo elástico (E) é indicador da rigidez do material, sendo calculado a partir da parte linear da curva tensão *versus* deformação. Logo,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{ ou seja, } E = \frac{F_{max} \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}, \quad \text{Eq. (13)}$$

O teste de perfuração (MPa) e a taxa de deformação (%) foram determinados em triplicata, sendo cada replicata composta por 4 medições, totalizando 12 medições para cada ensaio. Utilizaram-se uma célula de carga de 5 kg, probe P4,

distância entre probe e filme de 30 mm e velocidade de teste de 1 mm/s. Os filmes foram recortados em formato circular formando corpos de prova de 40 mm de diâmetro. Os resultados foram adquiridos a partir do gráfico força (N) *versus* distância (mm) e calculados segundo as equações **Eq. (14)** e **Eq. (15)**.

$$TP = \frac{F_{max}}{A} \quad \text{Eq. (14),}$$

onde TP corresponde ao teste de perfuração (MPa), F_{max} à força máxima (N) aplicada e A à área da seção transversal (2 x raio x espessura) (mm²).

$$TD = \frac{(d^2 + l_0^2)^{1/2} - l_0}{l_0} \times 100 \quad \text{Eq. (15),}$$

onde TD corresponde à taxa de deformação (%), d à distância antes da ruptura (mm) e l_0 ao comprimento inicial do corpo de prova (mm).

- **Determinação da composição centesimal dos filmes selecionados**

A composição centesimal dos filmes referentes aos ensaios com melhores resultados de caracterização física foi realizada empregando os mesmos equipamentos e metodologia utilizados na caracterização centesimal da FCBP. A quantidade de amostra para cada análise foi de aproximadamente: 5,0 g para umidade; 2,3 g de amostra seca para lipídios; 0,2 g para proteína; 2,4 g para cinzas; 2,0 g de amostra seca para carboidratos; e 1,0 g de amostra seca e desengordurada fibra dietética (total, solúvel e insolúvel).

- **Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dos filmes selecionados**

Os compostos fenólicos totais dos filmes referentes aos ensaios com melhores resultados de caracterização física foram extraídos segundo o método de Rufino et al. (2007 – adaptado) e determinados por método espectrofotométrico na região de 750 nm utilizando o método de Folin–Ciocalteu (EMBRAPA, 2007 -

adaptado), comparados com a curva analítica de ácido gálico monohidratado puríssimo nas concentrações de 2,00, 3,00, 4,00, 5,00, 6,00 e 7,00 mg/L ($y = 0,0641x + 0,0088$; $R^2 = 0,9999$), sendo os resultados expressos em equivalentes de ácido gálico (EAG.100 g⁻¹ filme).

A capacidade antioxidante dos filmes referentes aos ensaios com melhores resultados de caracterização foi determinada empregando os mesmos equipamentos e metodologia utilizados para a FCBP: captura do radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) e redução do ferro (FRAP – *Ferric Reducing Antioxidant Power*), segundo Rufino et al (2007), e captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), segundo AOAC (2012).

Para as análises de atividade antioxidante, as amostras foram submetidas a extração metanólica-acetônica (RUFINO et al., 2007), sendo pesados aproximadamente 2,5 g para 25 mL de solução.

Análise estatística

Os resultados foram expressos com as médias das replicatas e seus respectivos desvio-padrão.

A significância de cada fator ou suas interações com outros fatores foram avaliadas através das análises de variância (ANOVA) e Teste de Tukey, e regressão linear, quando aplicável, para se obter a superfície de resposta, considerando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Utilizou-se o programa estatístico computacional Statistica 10 (StatSoft, USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE CASCA DE BANANA PRATA (AAB) EM ESTÁGIO 7 DE MATURAÇÃO

A FCBP apresentou-se homogênea, fina, com alguns “fios de fibra” e coloração marrom (L^* 40,83 $\pm$ 0,61; C^* 27,15 $\pm$ 0,29; e h° 62,00 $\pm$ 0,12) conforme **Figura 12**.

Figura 12. Farinha de casca de banana Prata (AAB) em estágio 7 de maturação.



Na obtenção de farinha de banana, fatores como tipo de cultivar ou variedade da fruta (MOTA et al., 2000; NIMSUNG et al., 2007; HASLINDA et al., 2009), parte do fruto (polpa ou casca) (BEZERRA et al., 2013), estágio de maturação (PEREIRA, 2007), técnica de desidratação (PACHECO-DELAHAYE et al., 2008) e condições de operação do equipamento (TORRES et al., 2005; SARAWONG et al., 2014) podem influenciar em suas características físico-químicas, tecnológicas e funcionais.

Diversas técnicas têm sido estudadas para a obtenção da farinha de banana: uso de estufas com e sem circulação de ar (NIMSUNG et al., 2007; PACHECO-DELAHAYE et al., 2008; HASLINDA et al., 2009; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009; SAIFULLAH et al., 2009; BERTOLIN et al., 2010; BORGES et al., 2010), secadores em bandejas (PACHECO-DELAHAYE et al., 2008; TRIBESS et al., 2009; SANTOS et al., 2010), secagem assistida por outras técnicas, como a liofilização, secador de tambor duplo, microondas, leite de jorro e extrusão (MOTA et al., 2000; PACHECO-DELAHAYE et al., 2008; WANG et al., 2012; BEZERRA et al., 2013; SARAWONG et al., 2014).

A FCBP obtida neste trabalho apresentou coloração amarronzada decorrente dos processos de elaboração (adição de ácido cítrico, trituração, congelamento, descongelamento e secagem a 60 ± 5 °C por 24 horas) e estágio de maturação. Contudo, esta cor não prejudicou a cor final dos revestimentos elaborados, tendo em vista que o processo de filtração permitiu a passagem apenas de compostos de cor amarelada presentes na FCBP, provenientes da casca de banana madura, tais como β -caroteno, α -caroteno e diferentes xantofilas, como identificado por Borges et al. (2014).

Em questão de aceitabilidade, a coloração escurecida não é bem aceita pelos consumidores, sendo os produtos desta coloração mais utilizados em misturas com outros ingredientes (PEREIRA, 2007).

Neto e colaboradores (1998) destacaram em seu trabalho que as farinhas obtidas de bananas verdes apresentaram coloração mais clara quando comparadas com farinhas com bananas maduras, e portanto são mais apresentáveis.

O rendimento médio da FCBP foi de 5,6%, que pode ser explicado pelo grau de maturação da fruta (estágio 7), tendo em vista que durante a maturação da banana ocorre aumento de peso da polpa, devido à absorção da água proveniente da casca e do engaço, fazendo com que a casca perca peso (LIZADA et al., 1990). Além disso, a casca apresenta maior tendência de liberação de matéria úmida (PEREIRA, 2007) e, durante os processos de elaboração da farinha, podem ter ocorrido perdas que acarretaram em baixo rendimento de FCBP.

O rendimento da FCBP foi baixo quando comparado com os trabalhos de Pereira (2007), que obteve um rendimento médio de 13,39% ao elaborar farinha de casca de banana Prata em estágio 3 de maturação (casca mais verde do que amarela) por secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C, por 36 h; e de Vargas et al. (2012), que obtiveram um rendimento de 11,15% para farinha de casca de bananas verdes da variedade Prata por meio secagem em secador de bandeja industrial a 70°C até peso constante. Contudo, este baixo rendimento pode ser considerado significativo do ponto de vista ambiental, tendo em vista que para elaboração da FCBP é necessário um volume considerável de casca de banana madura, o que diminui este tipo de resíduo no meio ambiente.

Composição centesimal

A composição centesimal (umidade, lipídios, proteínas, cinzas, fração glicídica e fibras solúveis e insolúveis) da FCBP encontra-se descrita na **Tabela 5**.

Tabela 5. Composição centesimal da FCBP, em base seca (valor médio $\pm$ desvio padrão; n = 4, para fibras; n = 3, para as demais variáveis).

VARIÁVEL	CONTEÚDO (%)
Umidade	6,48 $\pm$ 0,10
Lipídios	14,42 $\pm$ 0,37
Proteínas	8,00 $\pm$ 0,00
Cinzas	6,99 $\pm$ 0,06
Carboidratos totais	25,04 $\pm$ 0,39
Fibras solúveis	2,78 $\pm$ 0,06
Fibras insolúveis	37,32 $\pm$ 0,45

Verifica-se na **Tabela 5** que o teor de umidade encontrado na FCBP foi 6,48% e encontra-se dentro do padrão ANVISA (1978) exigido que é de, no máximo, 15% em farinhas. Valores menores ou maiores de umidade podem ser obtidos modificando-se o preparo da amostra (tipo e tempo de secagem). Rosso (2009) por exemplo, em experimento com banana Prata (AAB), encontrou teores superiores de umidade de 8,4 $\pm$ 0,2% e 18,0 $\pm$ 0,5% em farinha de casca de banana madura liofilizadas e secas ao sol por períodos de oito horas durante três dias, respectivamente. Borges et al. (2009), ao contrário, encontraram valores expressivamente menores (3,30 $\pm$ 0,08%). Contudo, seus experimentos foram executados com farinha de banana verde do cultivar Prata desidratada em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C por 12 horas. Castilho e colaboradores (2014), no entanto, encontraram 12,50% de umidade em farinha de casca de banana verde, valor condizente ao deste trabalho, uma vez que as cascas maduras de banana apresentam menores teores de umidade que as cascas verdes, tendo em vista que durante a maturação há absorção de água das cascas para a polpa (LOESECKE, 1950).

O valor médio de extrato etéreo obtido neste trabalho foi 14,42 $\pm$ 0,37%, valor superior aos encontrados por Emaga et al. (2007), que constatarem 5,9 $\pm$ 0,1% (base seca) em farinha de banana (*French Clair*) obtida por secagem a 60 °C/24h, e por Lee et al. (2010), que detectaram 2,24 $\pm$ 0,12% (base seca) em pó de banana madura obtido por liofilização. Já Castilho et al. (2014) encontraram teores

acentuadamente maiores (11,67% de lipídios) com bananas da variedade Prata, sendo mais próximos aos determinados neste trabalho.

O teor de proteínas da FCBP (8,00%) foi próximo ao determinado por Aboul-Enein et al. (2016) em *Musa paradaisica* L. em processo de amadurecimento ($7,57 \pm 0,30\%$). Entretanto, foi inferior ao de Emaga et al. (2007) ($9,1 \pm 0,2\%$) e superior aos de Lee et al. (2010) que determinaram em pó liofilizado de banana madura ($5,50 \pm 0,27\%$), e Anhwange et al. (2009) em casca seca de *Musa sapientum* a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h ($0,90 \pm 0,25\%$).

A quantidade de cinzas encontrada na FCBP foi de $6,99 \pm 0,06\%$, valor abaixo do encontrado por Anhwange et al. (2009), que foi de 8,50% em *Musa sapientum*, por Arun et al. (2015) em farinha de banana Nendran (*Musa paradaisica*) (7,83%) seca a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 16-24 h e por Romelle et al. (2016) em farinha de banana Cavendish seca a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($12,45 \pm 0,38\%$).

O valor médio da porção glicídica neste trabalho foi $25,04 \pm 0,39\%$, estando elevado, visto que bananas Prata em estágio mais avançado de maturação apresentam 16-20% de açúcar e 2-5% de amido (ÁLVARES, 2003).

Aquino et al. (2016) ao quantificarem e compararem os teores de carboidratos na polpa e na casca de 15 cultivares de banana em dois estádios de amadurecimento (estágio 1 e estágio 6), encontraram 22,55% de açúcares solúveis totais na polpa madura e 0,19% de açúcares solúveis totais na casca madura.

Emaga et al. (2007) investigaram a composição química das cascas de diferentes cultivares de banana de Camarões em relação à mudança de cor de suas cascas. Estes autores constataram uma redução no conteúdo de amido do estágio 1 (casca verde) ao estágio 5 (casca amarela com extremidades verdes) e 7 (casca amarela com algumas manchas marrons), enquanto que o teor de açúcar solúvel aumentou do estágio 1 para o estágio 5, e o teor de açúcares simples, do estágio 1 para o estágio 7, chegando a $15,6 \pm 0,2\%$ de glicose e $26,6 \pm 0,2\%$ de frutose para *French Clair*.

A farinha produzida neste estudo apresentou teor significativo de fibras totais, com destaque para as fibras insolúveis ($37,32 \pm 0,45\%$), uma vez que as paredes celulares dos vegetais são ricas nessas fibras, como hemicelulose, celulose e pectina. Este alto teor de fibra insolúvel na casca pode contribuir com efeitos positivos sobre a regulação intestinal e o volume de fezes, que estão relacionados ao consumo de fibra insolúvel (SCHNEEMAN, 1987).

Emaga et al. (2008b) analisaram as fibras dietéticas de variedades de cascas de bananas em três estágios de maturação (1, 5 e 7), bem como as características químicas das pectinas presentes nestes resíduos agroalimentares. Os autores perceberam que o estágio de maturação não afetou os rendimentos das fibras alimentares e a composição dos polissacarídeos pécticos, e que, perante os resultados quantitativos e qualitativos, a casca de banana pode ser uma fonte interessante de pectina.

Arun e colaboradores (2015) elaboraram biscoitos enriquecidos com farinha de banana Nendran (*Musa paradaisica*). A análise centesimal indicou que as cascas são ricas em fibras alimentares totais (64,33 g/100 g), sendo 56,88 de fibras insolúveis e 7,45 g/100 g de fibras solúveis, valor superior ao encontrado neste trabalho (2,78 g/100 g de fibras solúveis)

Além do uso na alimentação, as fibras possuem características que favorecem o seu uso em embalagens biodegradáveis, por exemplo, em revestimentos. Estas características incluem elevadas resistência e rigidez, baixa densidade e deformação total até a ruptura (ductilidade), o que influencia significativamente a resistência da embalagem (BITTENCOURT, 2001). Além disso, as fibras vegetais provem de fontes renováveis, são disponíveis, moldáveis, não-abrasivas, viscoelásticas e biodegradáveis (TITA et al., 2002), porém são porosas, o que pode acarretar em maior permeabilidade ao vapor d'água.

Assim, esta FCBP pode ser utilizada em revestimentos comestíveis como agente de reforço, devido ao seu elevado teor de fibras, melhorando as propriedades mecânicas desse tipo de embalagem (PAULESKI et al., 2007).

Considerando a composição centesimal da FCBP, pode-se dizer que este produto é viável para o enriquecimento de alimentos, substituição parcial de outras farinhas, melhoramento de propriedades sensoriais e aumento do tempo de conservação de outros alimentos perecíveis, por meio de revestimentos comestíveis.

Extração e determinação de compostos fenólicos totais

O método extrativo MeOH/Acetona, desenvolvido por Rufino et al. (2007) foi adaptado para utilização na FCBP. Por este método, foram encontrados $83,05 \pm 12,46$ mg EAG.100 g⁻¹ FCBP.

Diversos autores reportaram diferentes teores de fenóis totais na casca de banana, tendo em vista que a extração e quantificação são influenciadas pela natureza do composto, procedimento de preparo de amostra (liofilização e secagem em estufa), técnica de extração (solventes utilizados, tempo de extração, quantidade e tamanho de amostra, condições de estocagem), padrão utilizado, presença de interferentes, tais como ceras, gorduras, terpenos e clorofilas e a variedade e o estágio de maturação da fruta (SHAHIDI & NACZK, 1995; BABBAR et al., 2011; SULAIMAN et al., 2011; PEREIRA, 2015).

A obtenção da farinha por diferentes técnicas de secagem tem influência quantitativa sobre o teor de fenóis, uma vez que estes compostos, que são extremamente instáveis e reativos, são influenciados pelo binômio tempo-temperatura (ARAÚJO, 2011; OLIVEIRA et al., 2017). Pereira (2015) e Singh et al. (2016), por exemplo, conseguiram quantificar, por extração etanólica e metanólica, respectivamente, valores superiores a 1000 mg EAG.100 g⁻¹ de casca de banana liofilizada, valores superiores aos encontrados neste trabalho, que utilizou secagem em estufa a 60 ± 5 °C por 24 horas. De acordo com Pinelo et al. (2006), temperaturas superiores a 50 °C podem diminuir o conteúdo de fenóis, devido à termoinstabilidade destes compostos.

A solubilidade dos fenólicos varia de acordo com a polaridade do solvente utilizado, o grau de polimerização dos fenólicos e suas interações com outros constituintes dos alimentos. Os solventes mais utilizados para a extração destes compostos são metanol, etanol, acetona, água, acetato de etila, propanol, dimetilformaldeído e suas combinações (NACZK & SHAHIDI, 2004).

González-Montelongo e colaboradores (2010a) concluíram que Acetona (50% v/v) foi mais eficiente na extração de fenóis totais de casca de banana Grande Naine liofilizada a 25°C por 1 min em comparação a MeOH, EtOH (50% v/v) e água. Já em outro estudo, os mesmos autores (2010b) estudaram o número de etapas, a temperatura e tempo de extração sobre a extração de fenóis totais em MeOH P.A. a partir da casca de banana Grande Naine liofilizada, sendo quantificados 2,2 g EAG/100 g amostra a partir de 3 extrações a 25°C e 0 min em banho de agitação.

Rebello et al. (2014) encontraram 29,2 mg EAG.100 g⁻¹ casca seca de banana madura Cavendish, um valor dito considerável para os autores, mas inferior ao quantificado neste trabalho. Os autores utilizaram uma mistura de solventes (metanol, água e ácido fórmico, 50:48,5:1,5 v/v/v) e uma extração assistida por

ultrassom. Os autores reportaram ainda que o conteúdo encontrado por eles é maior do que o de frutas conhecidas por seus altos conteúdos de fenóis, por exemplo, amora, mirtilo e uva.

Aquino e colaboradores (2016) avaliaram a polpa e a casca de 15 cultivares em dois estágios de maturação (estágio 1 e estágio 6) quanto ao teor de fenóis totais. Os autores notaram que a casca contém maior conteúdo desses compostos em relação à polpa, e o amadurecimento favorece significativamente este aumento. A banana Prata (AAB), por exemplo, apresentou 24,48 e 59,48 mg/100 g na polpa verde e madura, respectivamente, contra 35,02 e 88,02 mg/100 g na casca verde e madura, respectivamente.

Aboul-Enein et al. (2016) ao avaliarem o teor de substâncias fenólicas de cascas secas de banana (*Musa paradaisica* L.) por quatro métodos de extração (aquoso, metanólico 80%, etanólico 80% e acetônico 80%), encontraram $9,89 \pm 0,16$, $17,89 \pm 0,16$, $15,21 \pm 0,09$ e $15,44 \pm 0,19$ mg EAG/g b.s, valores superiores aos desse trabalho. Contudo, os autores não deixam claro como procederam para conversão das cascas em pó seco.

O elevado teor de compostos fenólicos na casca de banana está relacionado à ocorrência de importantes quantidades de flavonoides, principalmente das classes flavan-3-ols e flavonóis (SOMEYA et al., 2002; REBELLO et al., 2014; TSAMO et al., 2015).

Os resultados obtidos neste trabalho são significativos e demonstraram que a casca madura de banana Prata (AAB) é um subproduto com significativo teor de fenóis totais, que podem atuar como compostos antioxidantes em revestimentos comestíveis. Contudo, ainda são necessários mais estudos referentes à manipulação correta da casca, à inativação de enzimas fenoloxidasas previamente à extração, bem como o uso de novas técnicas de extração para se alcançar melhores resultados de extração (GALANAKIS, 2013).

Determinação da atividade antioxidante

Este trabalho aplicou três métodos diferentes de atividade antioxidante para a FCBP, sendo eles: captura do radical livre ABTS^{•+}, poder de redução do ferro (FRAP) e captura do radical livre DPPH, com resultados descritos na **Tabela 6**.

Tabela 6. Atividade antioxidante (valor médio $\pm$ desvio padrão; $n = 3$) pelos métodos ABTS, FRAP e DPPH em FCBP.

ABTS	FRAP	DPPH
(μM Trolox/g)	(μM sulfato ferroso/g)	(μM Trolox/g)
8,46 $\pm$ 0,77	12,73 $\pm$ 1,26	11,31 $\pm$ 0,91

Comparando os valores obtidos pelos diferentes métodos de determinação da capacidade antioxidante, observam-se maiores valores para o método FRAP, seguido de DPPH e ABTS. Este fato pode indicar que os compostos presentes na FCBP atuam com maior eficiência sobre o radical FRAP, ou seja, as moléculas presentes na farinha elaborada neste trabalho apresentam radicais e sítios de ação com maior afinidade pela reação do tipo “redução do ferro”.

Como os métodos de avaliação da capacidade antioxidante sofreram muitas modificações ao longo dos anos, diferentes protocolos têm sido usados, tornando complicado fazer comparações. Além disso, nem sempre o mesmo método utiliza o mesmo procedimento e conseqüentemente os diferentes resultados obtidos em inúmeras pesquisas não podem ser comparados (CHENG et al., 2006; PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2008; ALAM et al., 2012). Segundo os trabalhos de Pérez-Jiménez & Saura-Calixto (2006), os resultados obtidos de capacidade antioxidante só devem ser comparados quando as medições forem feitas pelo mesmo procedimento, por exemplo, utilizando o mesmo tipo de solvente.

A seguir estão dispostos alguns trabalhos que utilizaram as mesmas metodologias antioxidantes tendo diferentes farinhas como objeto de estudo.

Lopes (2013) avaliou o poder antioxidante por DPPH de farinhas de uvas convencionais e orgânicas obtidas por secagem em estufa e por liofilização. A autora encontrou valores relativamente mais baixos que o da FCBP (6,05 $\pm$ 0,30 e 8,73 $\pm$ 0,65 μM Trolox/g para secagem em estufa e 6,65 $\pm$ 0,51 e 8,88 $\pm$ 0,26 μM Trolox/g para liofilização).

Rebello et al. (2014) avaliou a capacidade antioxidante da farinha de casca de banana (*Musa AAA*) tipo Cavendish com “grau de coloração da casca 5”, segundo escala de Von Loesecke, determinando 242,17 $\pm$ 34,8 μM Trolox/g pelo método ABTS, valor intensamente maior que o da FCBP.

Boeing (2014) avaliou a atividade antioxidante de diferentes variedades de farinhas de milho dos municípios de Anchieta e Guaraciaba (Oeste de Santa

Catarina), encontrando capacidade antioxidante entre 5,45 a 12,54 $\mu\text{M FeSO}_4/\text{kg}$, valores acentuadamente mais baixos que a da FCBP.

Silva et al. (2014) avaliaram a atividade antioxidante de diferentes extratos de farinha de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stagnocarpa* Mart.), obtendo valores maiores de FRAP: $28,65 \pm 0,77$, $15,32 \pm 0,41$, $106,40 \pm 1,04$ μM sulfato ferroso/g para água, metanol 60% e acetona 60%, respectivamente.

Heidmann & Patel (2016), ao avaliarem a capacidade antioxidante de farinha de casca de cajá-manga (*Spondias cytherea* Sonn), encontraram $11,53 \pm 0,62$ μM Trolox/g pelo método ABTS, valor relativamente maior que a da farinha elaborada neste trabalho.

A seguir estão alguns estudos de capacidade antioxidante com frutas e resíduos agroalimentares, que utilizaram as mesmas metodologias e unidades de expressão dispostas nesta pesquisa, tendo em vista que na literatura há poucos relatos de estudos de avaliação antioxidante em farinhas.

Rufino (2008) analisou a capacidade antioxidante de 18 frutas tropicais brasileiras não tradicionais. Dentre elas, o cajá (*Spondias mombin*) (ABTS: $7,8 \pm 0,2$ μM Trolox/g; FRAP: $11,8 \pm 0,2$ μM sulfato ferroso/g) foi o que apresentou resultados comparáveis à da FCBP.

Infante e colaboradores (2013) avaliaram a atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de algumas frutas tropicais (abacaxi – casca e bagaço; maracujá – casca e semente; caju – bagaço; e manga – bagaço) utilizando protocolos para DPPH e FRAP semelhantes ao deste trabalho. Referente ao ensaio de FRAP, a FCBP exibiu valores superiores aos resíduos de manga ($10,60 \pm 0,21$ μM sulfato ferroso/g), mas bem inferiores aos das demais.

Eça et al. (2015) analisaram a capacidade antioxidante de extratos aquosos e etanólicos de cinco frutas (acerola, caju, mamão, pequi e morango) por três métodos: DPPH, FRAP e ABTS, sendo expressos em mM trolox/g b.s. O extrato aquoso de acerola foi o que apresentou maior capacidade antioxidante (DPPH: $98,3 \pm 0,2$; FRAP: $300,01 \pm 0,01$; ABTS: 65 ± 2); enquanto que os extratos etanólicos e aquosos de pequi (DPPH: $1,56 \pm 0,03$ et e $2,14 \pm 0,01$ aq; FRAP: $25,8 \pm 0,5$ et e $22,5$ aq $\pm 0,1$; ABTS: $1,3 \pm 0,1$ et e $2,44 \pm 0,03$ aq) e mamão (DPPH: $9,1 \pm 0,1$ et e $10,0 \pm 0,1$ aq; FRAP: $31,0 \pm 0,2$ et e $23,2 \pm 0,8$ aq; ABTS: $1,3 \pm 0,1$ et e $10,0 \pm 0,3$ aq) foram os menores, comparáveis com os extratos metanólicos/acetônicos de FCBP elaborados neste trabalho.

Muitos estudos têm mostrado que os extratos de casca de banana possuem uma atividade antioxidante mais forte quando comparada com a da polpa (SOMEYA et al., 2002; SULAIMAN et al., 2011).

González-Montelongo et al. (2010a) avaliaram diferentes condições de extração de casca de banana (*Musa acuminata* Colla AAA) das variedades Grande Naine e Gruesa para atividade antioxidante: solvente utilizado (metanol, etanol, acetona, água, metanol:água (1:1), etanol:água (1:1), acetona:água (1:1)) e binômio tempo-temperatura (25 °C, 1 min; 25 °C, 120 min; 55 °C, 1 min; 55 °C, 120 min). A extração acetona:água foi a mais eficiente e não houve diferença estatística entre as variedades de banana e o binômio tempo-temperatura. Assim, DPPH variou entre $2,1 \pm 0,2$ e $3,2 \pm 0,4$ g Trolox/100 g b.s, e ABTS entre $6,5 \pm 0,3$ g e $9,6 \pm 0,2$ g Trolox/100 g b.s, valores superiores aos deste trabalho.

Hernández-Carranza et al. (2016) avaliaram a capacidade antioxidante de extratos de casca de banana obtidos por diferentes tempos e temperaturas. Os melhores resultados foram alcançados a 60 °C por 0,5h, com DPPH ($9,23 \pm 0,08$ mg of Trolox/g b.s) menor que o deste trabalho e FRAP ($32,2 \pm 0,3$ µM sulfato ferroso/g b.s) maior.

Barradas (2016) ao analisar polpas de bananas Prata maduras cultivadas sob forma convencional e orgânica encontrou valores correspondentes a $27,41 \pm 1,20$ e $31,70 \pm 0,57$ µM Trolox/g para os respectivos cultivos, valores superiores ao desse trabalho. Contudo, deve-se atentar que a FCBP passou por processo de elaboração (congelamento e secagem) que podem ter diminuído sua capacidade antioxidante, todavia, significativa para o tipo de produto elaborado.

Someya e colaboradores (2002) identificaram e quantificaram a galocatequina em extratos da casca e da polpa de banana (*Musa cavendish*), sendo mais abundante na casca (158 mg/100 g b.s e 29,6 mg/100 g b.s, resp.). Além disso, os autores avaliaram a capacidade antioxidante dos extratos, contra a auto-oxidação lipídica, e notaram melhores resultados para os extratos da casca, podendo estar correlacionada com os maiores teores de galocatequina. Sulaiman et al. (2011) encontraram resultados semelhantes, sendo constatado que os extratos de casca de banana possuem uma atividade antioxidante mais forte quando comparada com a da polpa.

Com objetivo de se avaliar a relação entre o teor de fenóis totais da FCBP com sua capacidade antioxidante, os resultados foram comparados por correlação, como pode ser observado na **Tabela 7**.

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante da FCBP.

	Compostos fenólicos	ABTS	FRAP	DPPH
ABTS	- 0,8155	-		
FRAP	0,9844 *	- 0,7011	-	
DPPH	0,9995 *	- 0,8329	0,9785 *	-

* valores com correlação linear e positiva.

A correlação entre os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante pelos métodos de captura do radical livre DPPH e poder de redução do ferro (FRAP) apresentou-se linear, positiva e forte, com coeficiente de Pearson igual a 0,9995 e 0,9844, respectivamente; enquanto que o relacionamento linear entre os compostos fenólicos e a captura do radical livre ABTS^{•+} se deu de modo negativo ($r = -0,8155$), ou seja, fenóis totais da FCBP e ABTS caminham em direções opostas.

Muitos compostos fenólicos de origem vegetal apresentam atividade antioxidante. Eles possuem grupos funcionais que se ligam facilmente a estes radicais livres, tendo em vista a presença de vários átomos de hidrogênio passíveis de doação (ZIN et al., 2006). A correlação entre essas duas variáveis é largamente estudada em diversas frutas e vegetais, e os estudos vêm comprovando a elevada correlação linear entre esses compostos e a atividade antioxidante (ISMAIL et al., 2004; KEVERS, C. et al., 2007; ALOTHMAN et al., 2009; SULAIMAN et al., 2011).

No presente trabalho obteve-se elevada correlação entre os compostos fenólicos e os resultados das análises de capacidade antioxidante (FRAP e DPPH) na FCBP, porém, é importante ressaltar que há outros compostos presentes nos alimentos que também contribuem para essa funcionalidade. Assim, embora os compostos fenólicos tenham um efeito antioxidante isoladamente, eles podem agir sinergicamente com outros compostos e contribuir com essa função (BALASUNDRAM et al., 2006). Diante destes resultados, a farinha elaborada pode ser utilizada em revestimentos comestíveis, sem a necessidade de aditivos do tipo antioxidante.

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES COMESTÍVEIS

Ensaio preliminares

Os ensaios preliminares foram realizados de modo “tentativa e erro” com o objetivo de se obter filmes contendo FCBP, utilizando-se a técnica de *casting* a partir de soluções filmogênicas aquosas. Para isso, foram testadas diferentes condições (concentração da farinha da casca de banana, adição de amido de milho, temperatura de aquecimento, tempo de aquecimento, quantidade de glicerina, uso ou não de filtração, tipo de filtro, alíquota de solução filmogênica para emplacamento) (**Tabela 8**), até se obter as que fossem satisfatórias quanto às qualidades sensoriais: continuidade (ausência de rupturas ou fraturas após secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis ou bolhas visíveis ao olho nu, ou zonas de opacidade ou de cores diferenciadas) e manuseabilidade (possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura), segundo Gontard (2001).

Tabela 8. Descrição dos tratamentos realizados nos ensaios preliminares.

Tratamento	FCBP	Amido	Temperatura	Tempo	Glicerina	Filtração	Alíquota
A	4%	-	81 °C	30/15 min	19%	Algodão	30 mL
B	4%	-	81 °C	30/15 min	19%	-	30 mL
C	3%	33%	81 °C	30/15 min	30%	Gaze Cremer®	15 mL
D	3%	33%	81 °C	30/15 min	19%	Algodão	30 mL
E	4%	75%	81 °C	30/30 min	19%	Gaze Cremer®	15 mL
F	4%	50%	81 °C	30/30 min	19%	-	20 mL
G	4%	50%	81 °C	30/30 min	19%	Gaze Cicatrisan®	15 mL
H	4%	50%	81 °C	30/30 min	19%	Gaze Cremer®	15 mL
I	4%	50%	81 °C	30/30 min	19%	Gaze Cremer®	30 mL
J	4%	50%	90 °C	30/30 min	19%	Gaze Cicatrisan®	20 mL
K	4%	50%	90 °C	30/30 min	19%	Gaze Cicatrisan®	30 mL
L	4%	50%	90 °C	30/30 min	19%	Gaze Cicatrisan®	40 mL

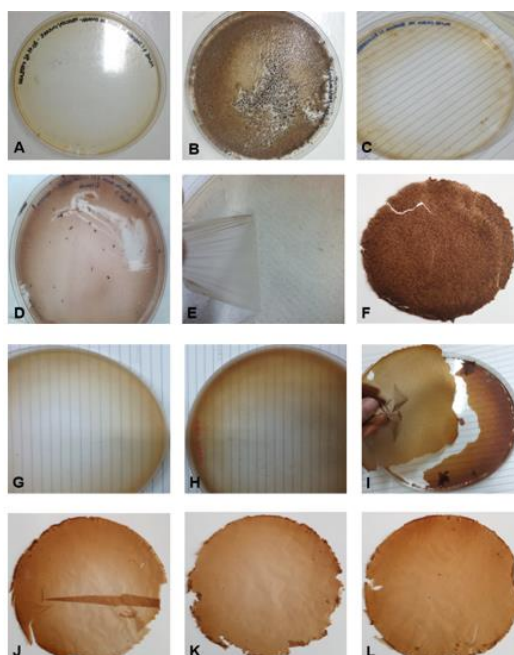
Os resultados da avaliação subjetiva estão dispostos na **Tabela 9** e **Figura 13**.

Tabela 9. Resultados da avaliação subjetiva dos filmes elaborados nos ensaios preliminares.

Tratamento	Continuidade	Homogeneidade	Manuseabilidade	Impressão Geral
A	□	◆◆	□	Não formou filme
B	□	□	□	Não formou filme
C	◆◆	□	□	Não formou filme
D	◆◆	□	□	Não formou filme
E	...	...	◆◆	Filme frágil e pegajoso
F	...	□	◆◆	Filme com presença de partículas
G	...	□	□	Filme claro e quebradiço
H	...	□	□	Filme claro e quebradiço
I	...	◆◆	□	Filme escuro e quebradiço
J	...	◆◆	...	Filme flexível, não homogêneo e manuseio sem rupturas
K	...	...	...	Filme flexível, homogêneo e manuseio sem rupturas
L	...	...	...	Filme flexível, homogêneo e manuseio sem rupturas

... excelente, ◆◆ boa, □ deficiente.

Figura 13. Filmes correspondentes aos tratamentos realizados nos ensaios preliminares (tratamentos A a L).



Como observado na **Tabela 9** e **Figura 13**, não foi possível formar filme apenas com a FCBP (tratamento A e B), sendo necessário o acréscimo de uma quantidade mínima de amido.

A partir do tratamento E, a estrutura de gel já é formada e, consequentemente, de filme. Eliasson (1996) e Singh e colaboradores (2003) relatam que a gelatinização ocorre numa ampla faixa de temperatura característica para cada fonte de amido; logo a provável temperatura de gelatinização do amido utilizado é de 90 °C, uma vez que os filmes com boas características organoléticas foram obtidos nos três últimos tratamentos. Para Eliasson (1996) existem muitos fatores que afetam a temperatura de gelatinização, sendo o principal deles a presença de água, que exerce efeito na condução de energia e atua, juntamente com o glicerol, no caso de revestimentos, como agente plastificante nos cristais de amido.

Segundo Oliveira (1996) apud Rigo (2006), é desejável que embalagens plásticas tenham elevado brilho e alta transparência. Entretanto, faz-se necessária que haja uma proteção à incidência de luz (transparência baixa ou nula), como observado no acondicionamento de produtos fotossensíveis. Em virtude desses aspectos, os tratamentos E, J, K e L podem ser classificados como bons em relação à homogeneidade.

Em relação à manuseabilidade, os filmes correspondentes aos tratamentos E, F, G, H e I podem ser classificados como deficientes, pois rasgaram facilmente ou apresentaram-se quebradiços. Esta característica é decorrente da dificuldade de retirada do suporte de poliestireno ou por se apresentarem muito elásticos (RIGO, 2006). Já os filmes correspondentes aos tratamentos J, K e L puderam ser manipulados sem qualquer risco de ruptura.

O tratamento F demonstra que a ausência de filtração torna o filme não homogêneo, com presença de partículas insolúveis, comprometendo a estrutura do filme. Em relação ao tipo de filtro, a gaze Cicatrisan® retém mais partículas que a gaze Cremer®, tornando o filme mais claro e com menos zonas de opacidade ou cores diferenciadas, como pode ser observado nos tratamentos G e H da **Figura 13**.

Os três últimos tratamentos apresentaram a espessura como o principal parâmetro de diferença: quanto maior o volume de solução filmogênica disposto na placa de poliestireno, maior a sua espessura, facilitando o seu manuseio. Logo, o tratamento L foi o que proporcionou o filme com melhores características: filme brilhante, homogêneo, flexível, mais espesso, saindo facilmente do suporte, sem rupturas durante o manuseio, sendo preparado nas seguintes condições: 4% (p/v) de FCBP; adição de 50% (p/p) de amido de milho em relação à FCBP; aquecimento a 90 °C/30 min nas duas etapas de aquecimento; adição de 19% de glicerina (p/p) em relação à FCBP; filtração em gaze Cicatrisan® e volume de 40 mL da solução filmogênica para emplacamento.

A partir destes resultados determinou-se o planejamento estatístico da elaboração e caracterização dos revestimentos comestíveis, optando-se pelo Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR), que gerou 11 ensaios com diferentes concentrações de amido (33,3 a 61,6% p/p) em relação à farinha e tempos de aquecimento (34 a 60 minutos). Todos os filmes foram preparados com 4% (p/v) FCBP, 200 mL de água destilada e 19% (p/p) de glicerol, a uma temperatura de 90 °C, sendo avaliados quanto às propriedades físicas (espessura, cor e solubilidade em água), de barreira (permeabilidade ao vapor d'água) e mecânicas (resistência à tração, porcentagem de alongação, módulo elástico, força de perfuração e deformação na perfuração).

Delineamento experimental

Foram estudados os modelos lineares e quadráticos para as respostas referentes às propriedades físicas (espessura, cor e solubilidade em água), de barreira (permeabilidade ao vapor d'água) e mecânicas (resistência à tração, porcentagem de alongação, módulo elástico, força de perfuração e deformação na perfuração), sendo considerados a distribuição dos dados (normalidade e homogeneidade) e o ajuste, por meio de análise do r^2 e aleatoriedade residual.

• Espessura

A espessura média dos filmes elaborados de acordo com os diferentes parâmetros propostos no delineamento experimental variou de 0,059 a 0,085 mm (Tabela 10).

Tabela 10. Espessura média, em mm, dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 10).

Ensaio	Espessura (mm)
1	0,059 ± 0,011 ^c
2	0,079 ± 0,019 ^{abc}
3	0,062 ± 0,013 ^{bc}
4	0,082 ± 0,013 ^{ab}
5	0,059 ± 0,013 ^c
6	0,085 ± 0,014 ^a
7	0,069 ± 0,014 ^{abc}
8	0,069 ± 0,019 ^{abc}
9	0,067 ± 0,014 ^{abc}
10	0,068 ± 0,015 ^{abc}
11	0,068 ± 0,017 ^{abc}

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

A média de espessura dos filmes obtidos foi próxima aos trabalhos de Fakhouri et al (2007), que elaboraram filmes à base de amido de trigo, sorgo, batata e arroz, variando de 0,053 a 0,063 mm, e de Pelissari et al (2013), que utilizaram farinha e amido isolado de banana da variedade Terra, obtendo $0,087 \pm 0,003$ e $0,086 \pm 0,004$, respectivamente. Entretanto, inferior aos elaborados com outras

matrizes, como filmes à base de farinha de banana verde da variedade Terra (*Musa paradisiaca*) ($0,083 \pm 0,030$ mm) (MOLINA, 2013), purê de banana madura da variedade Nanica (*Musa cavendishii* Lamb.) e quitosana, com valores entre 0,120 e 0,200 mm (MARTELLI et al., 2013), farinha de resíduos de frutas e hortaliças ($0,242 \pm 0,033$ mm) (ANDRADE, 2014), filme biodegradável com antioxidante extraído de bagaço de uva ($0,140 \pm 0,006$ mm) (STOLL, 2015).

A concentração das matérias-primas utilizadas pode interferir na espessura dos filmes formados, pois soluções mais viscosas tendem a formar filmes mais espessos (CUQ et al., 1995). No caso desta pesquisa, as soluções filmogênicas se mostraram com baixa viscosidade, podendo justificar a baixa espessura dos filmes elaborados, o que afetou as propriedades mecânicas e de barreira.

Em outro estudo de Cuq e colaboradores (1996) foi observado que a homogeneidade na espessura dos filmes pode afetar os resultados encontrados nas demais análises de caracterização dos filmes, principalmente na permeabilidade ao vapor de água e propriedades mecânicas.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 11** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para a espessura em função do tempo e da concentração de amido.

A significância de cada coeficiente foi determinada pelo *p*-valor e pelo teste de *t*-Student. Quanto maior for a magnitude em módulo do valor de *t* obtido em relação ao valor de *t* tabelado e menor o valor de *p*, mais significativo é o coeficiente correspondente. Isto implica que os efeitos linear e quadrático para a variável amido foram significativos considerando um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 11. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de espessura.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	0,067797	0,000318	213,2609	0,000022
Amido (L)	0,009752	0,000387	50,3476	0,000394
Amido (Q)	0,001960	0,000454	8,6365	0,013143
Tempo (L)	0,000829	0,000396	4,1825	0,052687
Tempo (Q)	0,000697	0,000490	2,8468	0,104422
Amido x Tempo	-0,000003	0,000551	-0,0120	0,991505

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$\text{Espessura} = 0,067797 - 0,009752x + 0,001960x^2,$$

onde x corresponde à concentração de amido.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 11**.

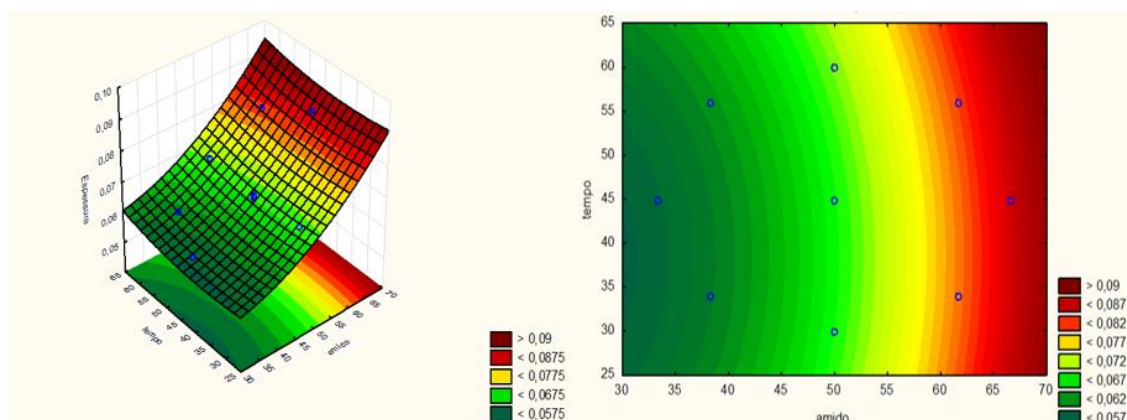
Tabela 12. ANOVA do modelo quadrático de espessura ($r^2 = 0,99166$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	0,000769	0,000769	2534,877	0,000394
Amido (Q)	0,000023	0,000023	74,589	0,013143
Resíduos	0,000001	0,000000	F _(2,3) = 19,16	
Total	0,000803			

L = Linear; Q = Quadrático; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 12** demonstrou que o modelo quadrático ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para a espessura foi igual a 99,17%, valor acentuadamente elevado. O teste F foi altamente significativo: o amido linear apresentou F calculado 132 vezes maior que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos, enquanto que o amido quadrático se mostrou 3,9 vezes maior. Além disso, o p -valor para estas fontes de variação foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 14**).

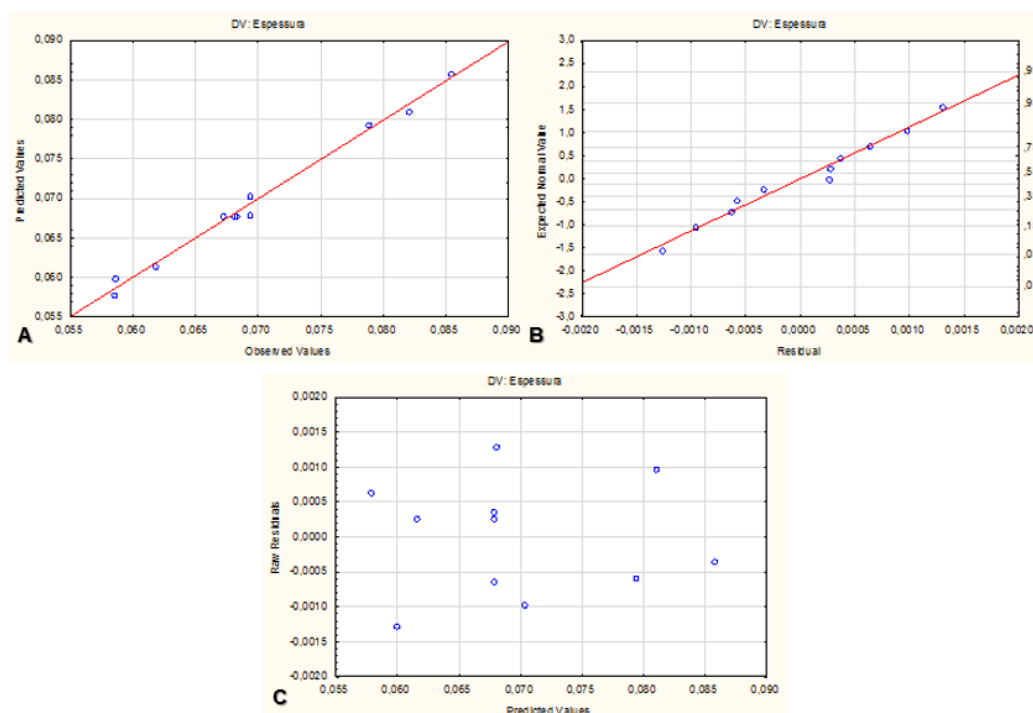
Figura 14. Superfície de resposta e curva de contorno da espessura dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Observa-se na **Figura 14** o efeito da concentração de amido sobre a espessura dos filmes. A figura mostra que há uma tendência entre o aumento de amido e aumento de espessura.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, é necessário verificar se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos são satisfeitas (SASSI et al., 2011) (**Figura 15**).

Figura 15. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de espessura. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 15**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

- **Solubilidade em água**

A **Tabela 13** exibe a solubilidade média dos filmes elaborados de acordo com os diferentes parâmetros propostos no delineamento experimental.

Tabela 13. Solubilidade média, em porcentagem (%), dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 3).

Ensaio	Solubilidade (%)
1	35,98 ± 8,92 ^a
2	34,95 ± 6,66 ^a
3	43,83 ± 6,50 ^a
4	39,76 ± 9,76 ^a
5	27,51 ± 5,96 ^a
6	33,40 ± 3,19 ^a
7	31,86 ± 6,18 ^a
8	27,35 ± 3,86 ^a
9	31,53 ± 1,68 ^a
10	34,06 ± 2,68 ^a
11	32,06 ± 2,92 ^a

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% (p < 0,05).

A solubilidade dos filmes variou de 27,35 a 43,83%, não apresentando diferença estatística e tendência em relação à concentração de amido e tempo de aquecimento, tendo em vista que o desvio padrão se mostrou elevado, fatores que podem ser explicados pela metodologia empregada.

A solubilidade do filme em água é uma propriedade essencial, pois a possível aplicação do filme pode requerer que ele apresente insolubilidade em água a fim de aumentar a integridade do produto e a resistência à água. Entretanto, em alguns casos, a solubilidade é requerida e benéfica ao produto revestido, por exemplo, em produtos prontos para o consumo em que a presença de água é importante para seu preparo (aquecimento) (PÉREZ-GAGO et al., 1999).

Em geral, deseja-se que os valores de solubilidade sejam baixos a fim de garantir a manutenção da qualidade do alimento. Contudo o caráter hidrolífico do plastificante (glicerol) proporciona índices mais elevados de propriedades relacionadas à água aos filmes, uma vez que há facilidade no transporte e interação de moléculas de água com a matriz polimérica, como verificado por Iahnke (2015).

Fakhouri e colaboradores (2007) compararam filmes de amido de trigo, sorgo, batata e arroz e obtiveram $24,38 \pm 2,72\%$, $29,09 \pm 2,69\%$, $27,53 \pm 0,84\%$ e $30,20 \pm 1,19\%$ de solubilidade, respectivamente, concordantes com os filmes de FCBP elaborados nesta pesquisa.

Schmidt et al. (2013) também obtiveram valores semelhantes com filmes de amido de mandioca, glicerol e ácido esteárico, variando entre $28,22 \pm 1,22$ (5 g ácido esteárico/g amido e 23 g glicerol/g amido) e $45,68 \pm 1,28$ (12,24 g ácido esteárico/g amido e 26 g glicerol/g amido), conforme delineamento estatístico. Assim como Fakhouri et al. (2015) com filmes e revestimentos de diferentes tipos e concentrações de amido de milho (nativo, ceroso e modificado ceroso), gelatina e plastificante (sorbitol e glicerol), sendo mais próximos os elaborados com amido de milho nativo/gelatina/glicerol ($16,52 \pm 1,11$ a $39,52 \pm 0,49\%$), amido de milho ceroso/gelatina/sorbitol ($26,89 \pm 1,26$ a $32,85 \pm 0,13\%$) e amido de milho modificado/gelatina/sorbitol ($19,64 \pm 1,98$ a $35,18 \pm 1,25\%$).

Iahnke (2015) ao elaborar e caracterizar filmes biodegradáveis a partir de resíduos da fabricação de cápsulas nutracêuticas compostas por gelatina, glicerina e água, e combinados com farinha de resíduos da indústria de minimamente processados de cenoura e beterraba, obteve valores de solubilidade próximos aos deste trabalho: 32,34% para filmes de gelatina e farinha de cenoura e 39,58% para filmes de gelatina e farinha de beterraba.

Eça et al. (2015) elaboraram filmes de pectina (2g/100mL água), glicerol (1,5 g/g de pectina) e cloreto de cálcio (0,005g/g de pectina) contendo extratos frutas (acerola, caju e morango) (0,5g do total sólidos/g de pectina) com elevada solubilidade em água: $65,3 \pm 1,5$ utilizando extrato de acerola, $73,1 \pm 4,3$, para extrato de caju e $70,5 \pm 3,7$ para extrato de morango.

- **Propriedades colorimétricas**

A análise colorimétrica foi realizada com o objetivo de comparar a coloração dos filmes do planejamento experimental, tendo em vista que a matéria-prima (FCBP) apresentou coloração marrom. Os parâmetros colorimétricos dos ensaios estudados estão descritos na **Tabela 14**.

Tabela 14. Parâmetros colorimétricos médios dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 10).

Ensaio	L*	h°	C*
1	84,48 ± 1,17 ^{ab}	74,05 ± 2,46 ^{ab}	12,37 ± 2,62 ^{bc}
2	82,17 ± 1,42 ^{abcd}	73,39 ± 2,10 ^{ab}	15,16 ± 2,84 ^{abc}
3	81,05 ± 2,53 ^{de}	77,15 ± 1,55 ^a	19,87 ± 4,93 ^a
4	79,21 ± 1,53 ^e	74,87 ± 0,63 ^{ab}	20,10 ± 2,69 ^a
5	82,24 ± 1,18 ^{abcd}	75,67 ± 1,67 ^{ab}	16,33 ± 2,63 ^{abc}
6	81,57 ± 1,67 ^{cde}	75,79 ± 0,95 ^{ab}	17,93 ± 3,36 ^{ab}
7	84,87 ± 1,67 ^a	72,19 ± 5,29 ^b	11,36 ± 3,77 ^c
8	82,01 ± 1,85 ^{bcde}	74,83 ± 2,05 ^{ab}	16,29 ± 3,85 ^{abc}
9	83,18 ± 1,97 ^{abcd}	75,16 ± 2,04 ^{ab}	14,96 ± 4,09 ^{abc}
10	83,91 ± 1,88 ^{abc}	74,46 ± 3,29 ^{ab}	13,64 ± 4,24 ^{bc}
11	82,45 ± 3,12 ^{abcd}	72,39 ± 4,70 ^b	14,60 ± 5,58 ^{abc}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

De um modo geral, os filmes correspondentes aos 11 ensaios exibiram coloração amarelada (L^* 82,47 ± 2,38; $h^°$ 74,54 ± 3,02; C^* 15,69 ± 4,52) e boa transparência, tendo em vista que é possível ver o símbolo por trás deles (**Figura 16**).

Figura 16. Filmes correspondentes aos ensaios do planejamento experimental.



A transparência é uma propriedade física importante para caracterização de películas de embalagens, principalmente se for utilizada como revestimento de alimentos ou embalagens para outros fins (GONTARD et al., 1992; KANMANI & RHIM, 2014).

A transparência está associada com a matéria-prima utilizada na formulação dos filmes e pode variar em função do teor de amilose dos amidos e da concentração de lipídeos (FAKHOURI et al., 2007).

O parâmetro L^* representa a escala de cor preto-branco que varia de 0 a 100. Desta forma, quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra (LEÃO, 2013). Desta maneira, percebe-se que o ensaio 7 mostrou-se o mais claro, diferindo, ao nível de 5% de significância, apenas do ensaio 4, que se mostrou o mais escuro.

A variável a^* posiciona a cor do objeto no eixo verde-vermelho, enquanto a variável b^* descreve a cor no objeto no eixo amarelo-azul. Entretanto, não é possível efetuar uma avaliação comparativa das amostras avaliando estes parâmetros separadamente, visto que um parâmetro afeta o outro. De tal modo que a discussão de resultados é melhor efetuada com base nos parâmetros L^* , h° e C^* (LEÃO, 2013).

O parâmetro h° descreve a tonalidade definindo a cor propriamente dita; enquanto que o parâmetro C^* descreve a intensidade da cor, ou seja, quanto maiores os valores de C^* , mais intensa é a cor.

Quanto à cor propriamente dita, percebe-se, pela análise do parâmetro h° , que os ensaios apresentaram tonalidade semelhante (prevalência de tons amarelados), diferindo apenas o ensaio 3 dos ensaios 7 e 11, a nível de 5% de significância.

A cor é um dos principais parâmetros sensoriais, podendo afetar diretamente a aceitação de um produto (LEÃO, 2013). Sendo assim, pelos resultados obtidos, os revestimentos elaborados neste trabalho seriam indicados para produtos que não afetassem a sua cor característica. Entretanto, a presença de cor nos revestimentos apresenta efeito fotoprotetor como um ponto positivo.

De maneira geral, o ensaio 7 mostrou-se o mais claro, exibindo o menor valor de chroma, diferindo, ao nível de 5% de significância, apenas dos ensaios 3 e 4, que se mostraram os mais escuros.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 15** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para a luminosidade (L^*) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 15. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de luminosidade.

Parâmetro	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	<i>p</i> -valor
Média	83,19959	0,422239	197,0440	0,000026
Amido (L)	-0,63165	0,514523	-2,4553	0,133463
Amido (Q)	-0,85962	0,602723	-2,8524	0,104069
Tempo (L)	-1,33259	0,526586	-5,0613	0,036891
Tempo (Q)	-0,14066	0,650303	-0,4326	0,707485
Amido x Tempo	0,12088	0,731504	0,3305	0,772436

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$L^* = 83,19959 - 1,33259y,$$

onde y corresponde ao tempo de aquecimento.

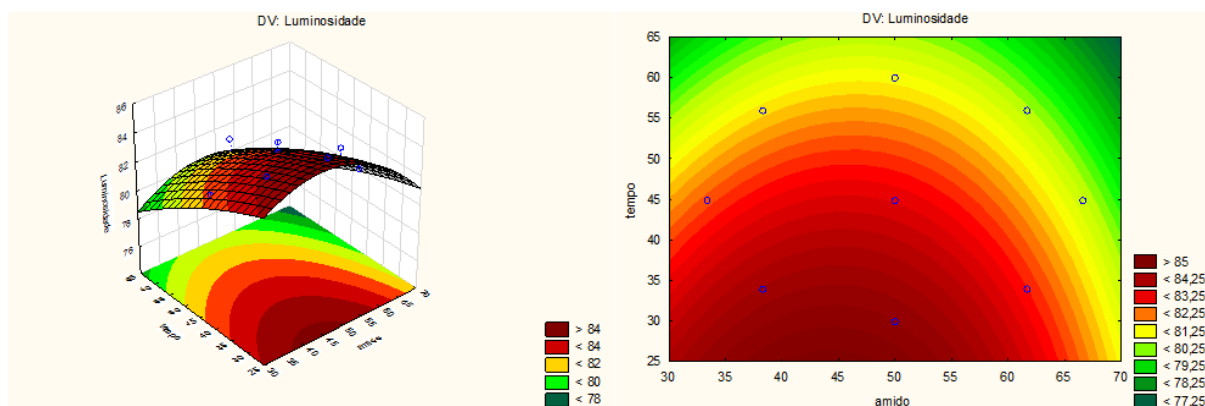
Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 15**.

Tabela 16. ANOVA do modelo quadrático de luminosidade ($r^2 = 0,81728$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Tempo (L)	13,70732	13,70732	25,61627	0,036891
Resíduos	1,07020	0,53510	F _(2,3) = 19,16	
Total	26,18909			

L = Linear; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

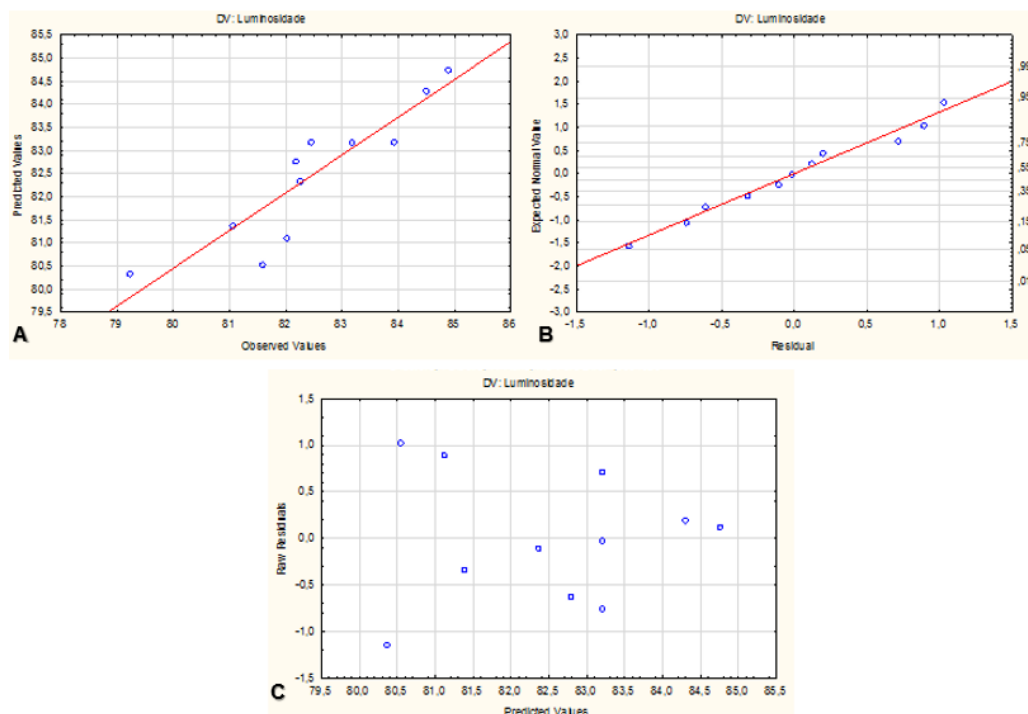
A **Tabela 16** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para a luminosidade foi igual a 81,73%, valor expressivo. O teste F foi significativo (F calculado = 25,62) foi maior que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor para estas fontes de variação foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 17**).

Figura 17. Superfície de resposta e curva de contorno da luminosidade dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.

Observa-se na **Figura 17** o efeito do tempo de aquecimento sobre a luminosidade dos filmes, em que a variável dependente (luminosidade) e a variável independente (tempo de aquecimento) apresentaram comportamento inverso, ou seja, quanto menor o tempo de aquecimento maior a luminosidade do filme: a figura mostra que em níveis mínimos de tempo obtêm-se maior luminosidade, e em níveis máximos obtêm-se menor luminosidade, tornando os filmes mais escuros.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 18**).

Figura 18. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de luminosidade. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 18**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

Em relação à tonalidade (h^0), a análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 17** e revela juntamente com p -valor que os parâmetros analisados (concentração de amido e tempo de aquecimento) não são estatisticamente significativos para o modelo de tonalidade, logo não foi possível montar o modelo.

Tabela 17. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de tonalidade.

Parâmetro	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	73,99981	0,831400	89,00623	0,000126
Amido (L)	-0,34257	1,013110	-0,67627	0,568595
Amido (Q)	0,91247	1,186779	1,53772	0,263952
Tempo (L)	1,06056	1,036864	2,04571	0,177423
Tempo (Q)	-0,18371	1,280467	-0,28695	0,801150
Amido x Tempo	-0,40536	1,440352	-0,56287	0,630207

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Já em relação à variável chroma (C*), a análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 18** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para o chroma (C*) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 18. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de chroma.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	<i>p</i> -valor
Média	14,37543	0,391556	36,71363	0,000741
Amido (L)	0,65638	0,477134	2,75134	0,110612
Amido (Q)	1,68447	0,558924	6,02753	0,026438
Tempo (L)	2,48438	0,488321	10,17520	0,009521
Tempo (Q)	0,10991	0,603048	0,36452	0,750402
Amido x Tempo	-0,64419	0,678347	-1,89929	0,197926

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$C^* = 14,37543 + 2,48438y + 1,68447x^2,$$

onde y corresponde ao tempo de aquecimento e x à concentração de amido.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 18**.

Tabela 19. ANOVA do modelo quadrático de chroma ($r^2 = 0,89434$).

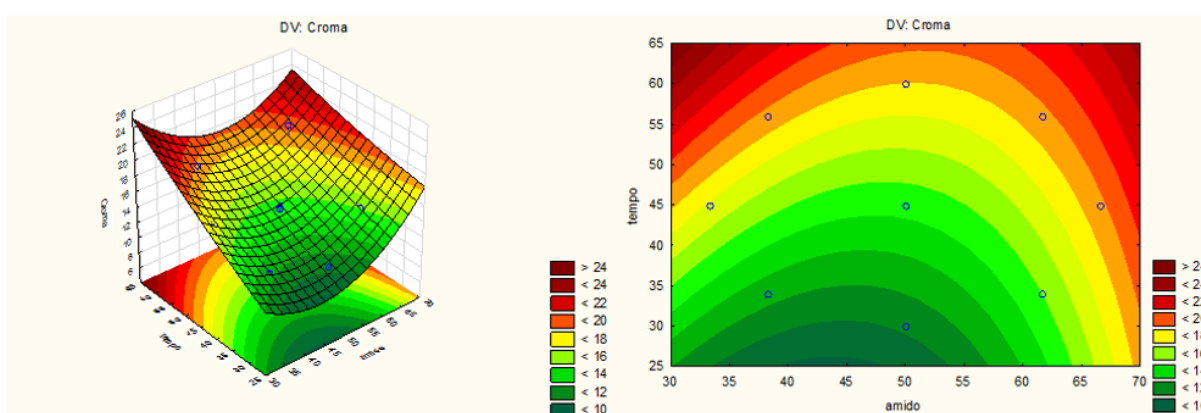
Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	<i>p</i> -valor
Amido (Q)	16,71807	16,71807	36,3311	0,026438
Tempo (L)	47,64239	47,64239	103,5346	0,009521
Resíduos	0,92032	0,46016	F _(2,3) = 19,16	
Total	78,61747			

L = Linear; Q = Quadrático; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 19** demonstrou que o modelo quadrático ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para o chroma foi elevado, sendo igual a 89,43%. O teste F foi significativo: o amido quadrático apresentou F

calculado (36,3311) maior que o F tabelado (19,16) para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos, enquanto que o tempo linear se mostrou mais de 5 vezes maior. Além disso, o p -valor para estas fontes de variação foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 19**).

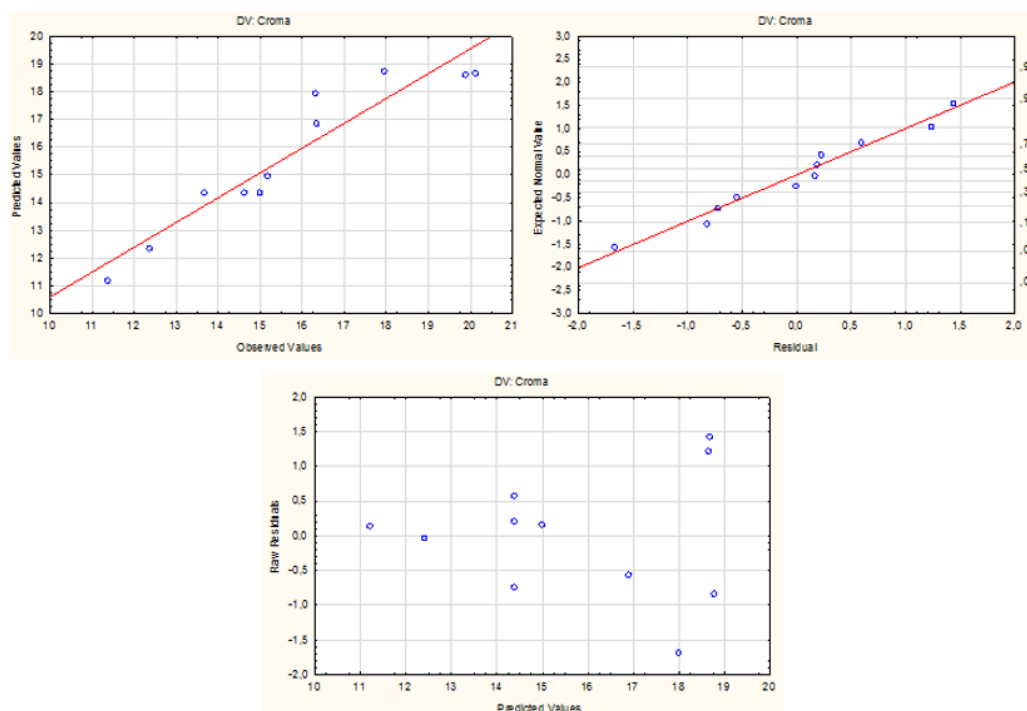
Figura 19. Superfície de resposta e curva de contorno do chroma dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Como observado na **Figura 19**, há uma tendência entre o aumento de tempo e amido no aumento do chroma.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 20**).

Figura 20. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de chroma. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 20**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

- **Permeabilidade ao vapor d'água**

A PVA média dos filmes elaborados de acordo com os diferentes parâmetros propostos no delineamento experimental variou de 0,33 a 0,55 g/h.m.Pa (**Tabela 20**), valores um pouco elevados quando comparados com dados na literatura.

Tabela 20. Permeabilidade ao vapor d'água média, em g/h.m.Pa, dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 3).

Ensaio	Permeabilidade ao vapor d'água (g/h.m.Pa)
1	0,34 ± 0,02 ^{cde}
2	0,48 ± 0,04 ^a
3	0,32 ± 0,01 ^e
4	0,53 ± 0,04 ^a
5	0,34 ± 0,01 ^{bcde}
6	0,40 ± 0,01 ^{bc}
7	0,34 ± 0,01 ^{cde}
8	0,33 ± 0,01 ^{de}
9	0,39 ± 0,03 ^{bcd}
10	0,41 ± 0,02 ^b
11	0,41 ± 0,01 ^b

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

Uma das principais funções de um filme para embalagem em alimentos é impedir a transferência de umidade entre o alimento e a atmosfera circundante, de tal modo que sua permeabilidade ao vapor d'água (PVA) seja a menor possível (WANG et al., 2015).

Assim, a propriedade de barreira ao vapor de água se mostra como um importante fator para a seleção de filmes para recobrimento em alimentos (JEON et al., 2002). Essa propriedade depende de diversos fatores, tais como espessura, integridade da matriz polimérica, hidrofobicidade e interação entre os grupos funcionais dos polímeros, sendo a presença de grupos hidroxilas a proporcionadora dessa transmitância (AHMAD et al., 2015).

Materiais permeáveis ao vapor d'água podem ser indicados para embalagens de vegetais frescos, enquanto que filmes poucos permeáveis podem ser indicados para produtos desidratados (DUKALSKA et al., 2008; SIRACUSA et al., 2008)

Como relatado por Stoll (2015), o aumento da espessura em filmes com componentes hidrofílicos promove aumento na sua permeabilidade ao vapor, visto que o processo de difusão de água através do mesmo é facilitado. Este comportamento foi evidenciado neste trabalho: os ensaios 2 e 4 apresentaram os maiores valores de PVA, $0,48 \pm 0,04$ e $0,53 \pm 0,04$ g/h.m.Pa, respectivamente, e figuram entre aqueles com maior espessura, $0,079 \pm 0,019$ e $0,082 \pm 0,013$ mm, respectivamente. Além disso, a presença de glicerol e amido, componentes

extremamente hidrofílicos, também justificaram o aumento da umidade em filmes mais espessos, onde tais componentes dificultaram a saída de água durante o processo de secagem.

Pelissari et al. (2013) elaboraram filmes semelhantes aos deste trabalho, porém utilizaram farinha de banana e de amido de banana verde da variedade Terra (4%) e glicerol (19% p/p). Os filmes exibiram PVA entre $1,47 \pm 0,03$ e $3,15 \pm 0,18$ (g/m.s.Pa) $\times 10^{-10}$, inferiores aos deste trabalho.

Sartori (2014) também conseguiu PVA mais baixos para filmes de amido de banana verde (4 g/100 g), glicerol (22% p/p), adicionados de diferentes proporções de micropartículas lipídicas (ácido láurico e ácido oleico) contendo ácido ascórbico (PVA $< 6,0$ (g/m.s.pa) $\times 10^{-11}$).

Scartazzini (2014) obteve menores valores para PVA em duas formulações diferentes de coberturas comestíveis à base de gelatina (uma com 20 g de resíduo, composto por 9,6 % gelatina, 4,36 % glicerina e 0,12 % de óleo de coco e cártamo, e 0,5 % de ácido oleico; e outra com a mesma quantidade de resíduo, e 1% de ácido oleico) com aplicação em frutos *Physalis peruviana* L.: $2,49 \pm 0,37$ e $2,42 \pm 0,36$ (g/m.s.Pa) $\times 10^{-10}$, respectivamente.

A análise dos coeficientes de regressão para a permeabilidade ao vapor d'água (PVA) está na **Tabela 21** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 21. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de permeabilidade ao vapor d'água.

Parâmetro	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	<i>p</i> -valor
Média	0,401948	0,006665	60,30610	0,000275
Amido (L)	0,053861	0,008122	13,26323	0,005637
Amido (Q)	-0,000473	0,009514	-0,09946	0,929844
Tempo (L)	0,003535	0,008312	0,85061	0,484578
Tempo (Q)	-0,015617	0,010265	-3,04262	0,093170
Amido x Tempo	0,017483	0,011547	3,02816	0,093940

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação a seguir:

$$PVA = 0,401948 + 0,053861x,$$

onde x corresponde à concentração de amido.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 21**.

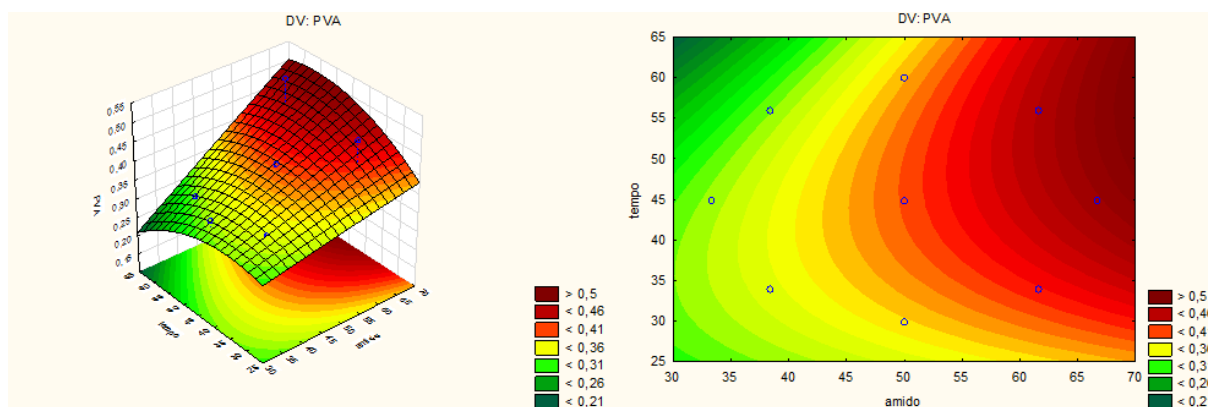
Tabela 22. ANOVA do modelo quadrático de permeabilidade ao vapor d'água ($r^2 = 0,59744$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	0,023455	0,023455	175,9132	0,005637
Resíduos	0,000267	0,000133	F _(2,3) = 19,16	
Total	0,043675			

L = Linear; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 22** demonstrou que o modelo quadrático ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para a permeabilidade ao vapor d'água foi igual a 59,74%. O teste F foi significativo: o amido linear apresentou F calculado (175,9132) 9 vezes maior que o F tabelado (19,16) para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 21**).

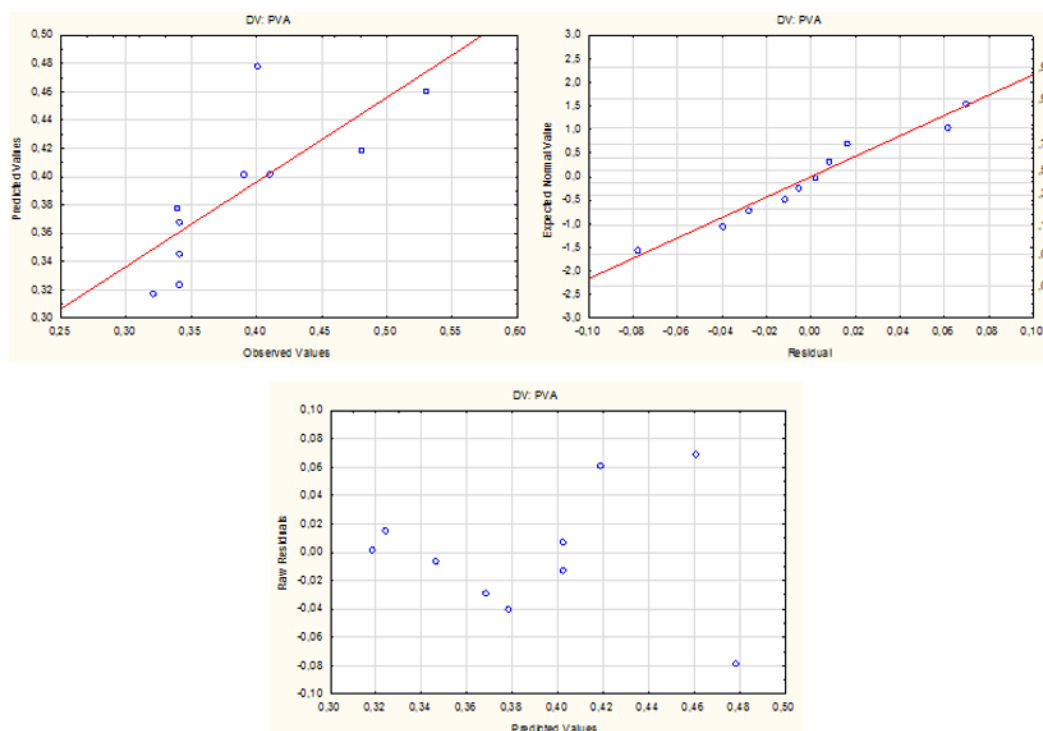
Figura 21. Superfície de resposta e curva de contorno da permeabilidade ao vapor d'água dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Como observado na **Figura 21**, há uma tendência entre o aumento de amido, que apresenta caráter hidrofílico, com o aumento de PVA.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 22**).

Figura 22. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de permeabilidade ao vapor d'água. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 22**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

- **Propriedades mecânicas**

A **Tabela 23** exibe as propriedades mecânicas médias dos filmes elaborados de acordo com os diferentes parâmetros propostos no delineamento experimental.

Tabela 23. Propriedades mecânicas médias dos filmes obtidos pelos ensaios do planejamento experimental (n = 5, para resistência à tração, alongamento e módulo elástico; n = 12, para teste de perfuração e taxa de deformação).

Ensaio	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo elástico (MPa)	Teste de perfuração (MPa)	Taxa de deformação (%)
1	0,14 ± 0,01 ^c	9,84 ± 2,18 ^c	3,00 ± 1,09 ^e	6,00 ± 0,39 ^e	19,13 ± 0,11 ^{de}
2	0,64 ± 0,05 ^a	10,86 ± 2,47 ^{bc}	32,67 ± 8,75 ^a	13,33 ± 1,88 ^{bc}	25,18 ± 1,25 ^c
3	0,24 ± 0,02 ^c	12,96 ± 2,42 ^{abc}	4,13 ± 1,23 ^{de}	8,70 ± 1,32 ^{cde}	21,03 ± 0,86 ^d
4	0,70 ± 0,05 ^a	20,16 ± 3,65 ^a	33,08 ± 6,26 ^a	20,01 ± 1,19 ^a	8,67 ± 1,01 ^h
5	0,17 ± 0,01 ^c	16,13 ± 3,38 ^{abc}	3,37 ± 1,04 ^e	7,43 ± 0,72 ^{de}	26,19 ± 0,91 ^{bc}
6	0,69 ± 0,08 ^a	18,12 ± 4,61 ^{ab}	29,38 ± 5,51 ^{ab}	12,61 ± 2,07 ^{bcd}	11,82 ± 0,70 ^g
7	0,44 ± 0,09 ^b	14,24 ± 3,54 ^{abc}	15,03 ± 1,69 ^c	8,38 ± 1,69 ^{de}	27,84 ± 0,45 ^b
8	0,47 ± 0,08 ^b	14,69 ± 4,46 ^{abc}	13,11 ± 4,35 ^{cd}	9,86 ± 0,06 ^{cde}	31,11 ± 0,96 ^a
9	0,48 ± 0,05 ^b	19,63 ± 3,44 ^a	21,75 ± 5,01 ^{bc}	14,42 ± 1,09 ^{ab}	19,98 ± 1,38 ^{de}
10	0,45 ± 0,04 ^b	19,13 ± 3,62 ^a	27,33 ± 2,15 ^{ab}	16,27 ± 1,28 ^{ab}	17,57 ± 0,24 ^{ef}
11	0,48 ± 0,08 ^b	16,13 ± 4,53 ^{abc}	30,41 ± 0,55 ^{ab}	14,33 ± 0,66 ^{bc}	16,55 ± 0,93 ^f

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

O comportamento mecânico dos diferentes ensaios foi bem característico, de modo que houve influência concomitante ou não das variáveis dependentes (concentração de amido e tempo de aquecimento) sob as variáveis respostas. A resistência à tração variou de 0,14 a 0,70 MPa; a taxa de alongamento de 9,84 a 20,16%; o módulo elástico de 3,00 a 33,08 MPa; o teste de perfuração de 5,56 a 20,01 MPa; e a taxa de deformação de 9,05 a 30,13%.

A tensão na ruptura indica a força máxima que o filme pode suportar, antes de se romper (FERREIRA, 2012, PEREDA et al., 2012). Quanto a este parâmetro, os ensaios apresentaram valores relativamente baixos quando comparados com outros trabalhos, devido à composição filmogênica e baixas espessuras.

Andrade-Pizarro et al. (2015) conseguiram valores bem elevados com filmes de gelatina e nanofibra de celulose (1 - 5% p/p) e glicerol como plastificante (10 a 30% p/p). Os resultados mostraram significância para as concentrações de gelatina: 0,8 e 2,2% (p/v), obtendo 23,50 MPa e 52,72 MPa, respectivamente. Fakhouri et al. (2015), por exemplo, elaboraram filmes com tensão superiores a 3,5 MPa, chegando

a $12,12 \pm 1,77$ com filmes a base de amido de milho ceroso/gelatina/sorbitol. Já Scartazzini (2014) conseguiu valores menores (2,77 MPa) em suas formulações com coberturas comestíveis à base de gelatina e ácido oleico, mais ainda superiores aos deste trabalho. Stoll (2015), no entanto, conseguiu valores mais próximos com revestimentos com antioxidante extraído de bagaço de uva ($0,75 \pm 0,11$ MPa).

A baixa tensão na ruptura encontrada pode ser explicada pela composição da matéria-prima que pode interferir na integração da matriz polimérica. Em relação ao teor de açúcares totais, o filme apresentou $60,33 \pm 2,35\%$, como pode visto no item **“composição centesimal dos filmes selecionados”**, fato que pode explicar a sua resistência reduzida (ANDRADE, 2014).

Como descrito por Martelli e colaboradores (2013), o elevado teor de açúcares totais presentes em frutas e algumas hortaliças pode atuar como plastificante e, dessa forma, interagir com as cadeias de polímeros gerando volumes "livres" entre as cadeias, enfraquecendo as forças intermoleculares e, consequentemente, reduzindo a resistência dos filmes.

Os ensaios com maior teor de amido em sua composição (ensaios 2, 3 e 4) apresentaram maior resistência, fato explicado por Mali et al (2010): “a adição de amido em filmes baseados em resíduos de frutas e hortaliças aumenta o teor de amido nos filmes, resultando em filmes com maior resistência a tensão, devido à capacidade deste polímero em aumentar o grau de interação da matriz”.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 24** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para a resistência à tração (σ) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 24. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de resistência à tração.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	0,468151	0,010767	43,48090	0,000529
Amido (L)	0,210550	0,013120	32,09605	0,000969
Amido (Q)	-0,021528	0,015369	-2,80143	0,107300
Tempo (L)	0,024634	0,013428	3,66915	0,066910
Tempo (Q)	-0,010760	0,016582	-1,29772	0,323890
Amido x Tempo	-0,008497	0,018653	-0,91111	0,458413

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$\sigma = 0,468151 + 0,210550x,$$

onde x corresponde à concentração de amido.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 24**.

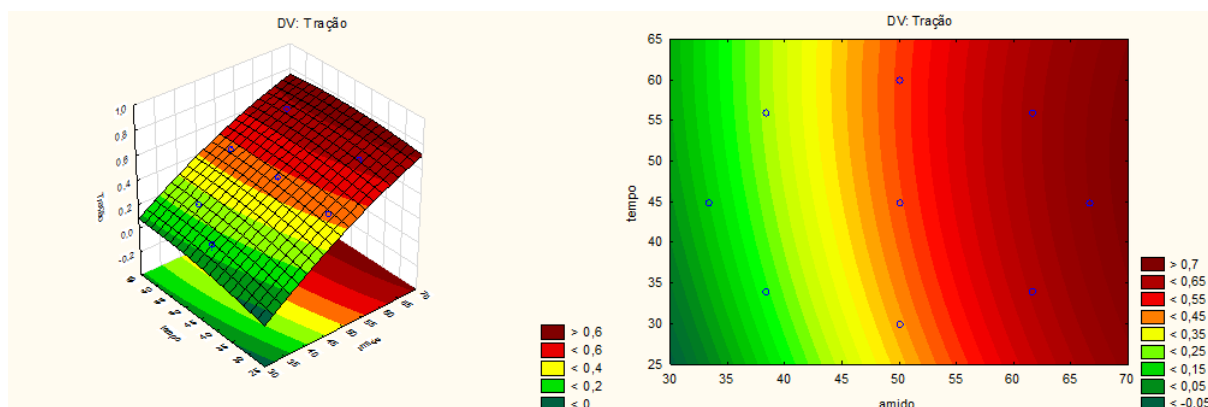
Tabela 25. ANOVA do modelo quadrático de resistência à tensão ($r^2 = 0,97232$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	0,358425	0,358425	1030,157	0,000969
Resíduos	0,000696	0,000348	F _(2,3) = 19,16	
Total	0,376789			

L = Linear; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 25** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para a resistência à tensão foi igual a 97,23%, valor acentuadamente elevado. O teste F foi altamente significativo: o amido linear apresentou F calculado 53 vezes maior que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 23**).

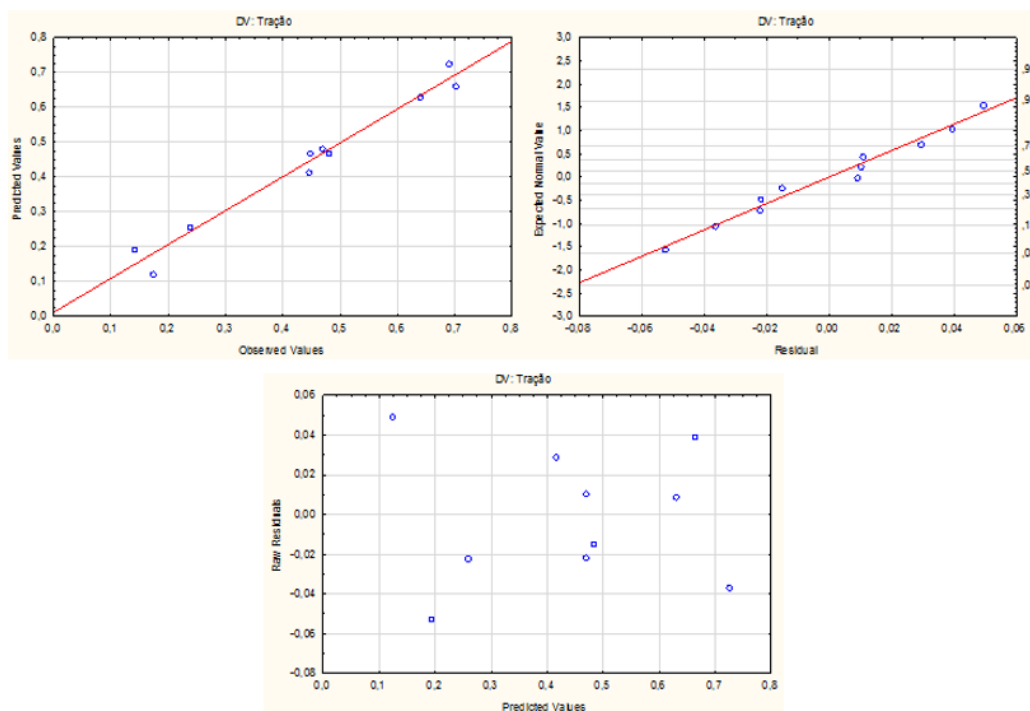
Figura 23. Superfície de resposta e curva de contorno da resistência à tensão dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Como observado na **Figura 23**, concentrações elevadas de amido tendem a conferir maior resistência aos filmes.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 24**).

Figura 24. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de resistência à tensão. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 24**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

Quanto ao alongamento (%), os filmes correspondentes aos ensaios do planejamento experimental exibiram valores baixos, devido a suas baixas espessuras (0,059 a 0,085 mm). Em geral, filmes espessos ($> 0,100$ mm) têm apresentado taxas de deformação mais elevadas, alcançando valores superiores a 100% de alongamento, como observado nos trabalhos de Scartazzini (2014), Fakhouri et al. (2015) e Stoll (2015). Em contrapartida, filmes mais finos ($< 0,100$ mm) têm alongação mais baixas, como observado no trabalho de Sartori (2014) com filmes de amido de banana verde e glicerol de espessura entre $0,088 \pm 0,007$ e $0,099 \pm 0,007$ mm, exibindo alongamento entre $1,6 \pm 0,4$ a $2,0 \pm 0,1\%$, e no de Andrade-Pizarro et al. (2015), com filmes de gelatina e nanofibra de celulose (1 - 5% p/p) e glicerol como plastificante (10 a 30% p/p) em que se determinaram $\varepsilon = 3,99\%$ para 10% de glicerol, e $\varepsilon = 6,91\%$ para 30% de glicerol, com espessuras menores que 0,070 mm.

Rodríguez-Marín et al. (2013) alcançaram valores de alongação próximos aos ensaios deste trabalho, com filmes de farinha de banana verde, glicerol e *Montmorillonite*, e filmes de farinha de arroz, glicerol e *Montmorillonite* (valores menores que 15% e 30%, respectivamente).

Pelissari et al (2013) também conseguiram valores semelhantes com revestimentos de farinha de banana e de amido de banana verde da variedade Terra ($4,6 \pm 1,1$ a $39,3 \pm 3,7\%$), assim como Careli-Gondim (2017) com filmes a base de farinha de arroz com diferentes concentrações de pectinas (2,5 e 5 g) e solução de sorbitol (20 e 25 mL), ($24,37 \pm 1,87\%$ para 2,5 g de pectina e 20 mL de sorbitol, $18,14 \pm 6,36\%$ para 5 g de pectina e 25 mL de sorbitol; $16,99 \pm 1,41\%$ para 5 g de pectina e 20 mL de sorbitol; e $23,09 \pm 0,84\%$ para 5 g de pectina e 25 mL de sorbitol).

Andrade (2014), todavia, conseguiu alongação de $32,01 \pm 2,59\%$ e $34,49 \pm 5,11\%$ com dois tipos de formulação de filmes obtidos com a adição de farinha de casca de batata.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 26** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e

que farão parte do modelo matemático predito para a taxa de alongamento (ϵ) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 26. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de taxa de alongamento.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	18,62267	0,802893	23,19447	0,001854
Amido (L)	1,42147	0,978372	2,90579	0,100837
Amido (Q)	-1,45551	1,146086	-2,53997	0,126299
Tempo (L)	1,57900	1,001311	3,15387	0,087535
Tempo (Q)	-2,85371	1,236561	-4,61555	0,043875
Amido x Tempo	1,33533	1,390965	1,92001	0,194838

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$\epsilon = 18,62267 - 2,85371y^2,$$

onde y corresponde ao tempo de aquecimento.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 26**.

Tabela 27. ANOVA do modelo quadrático de taxa de alongamento ($r^2 = 0,75004$).

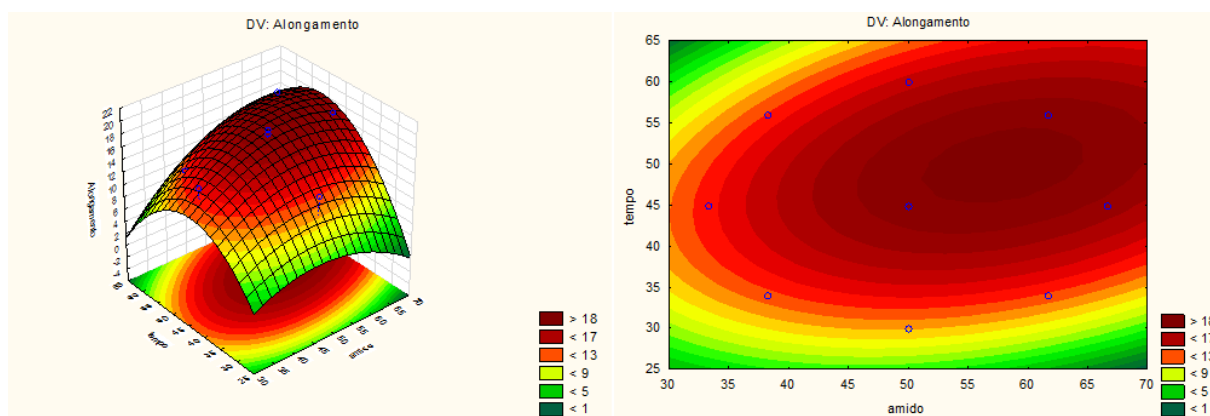
Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Tempo (Q)	41,2177	41,21768	21,30333	0,043875
Resíduos	3,8696	1,93480	F _(2,3) = 19,16	
Total	116,3657			

Q = Quadrático; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 27** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para a taxa de alongamento foi igual a 75,00%. O teste F foi significativo: o tempo de aquecimento quadrático apresentou F calculado maior que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p-valor foi menor que 0,05.

Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 25**).

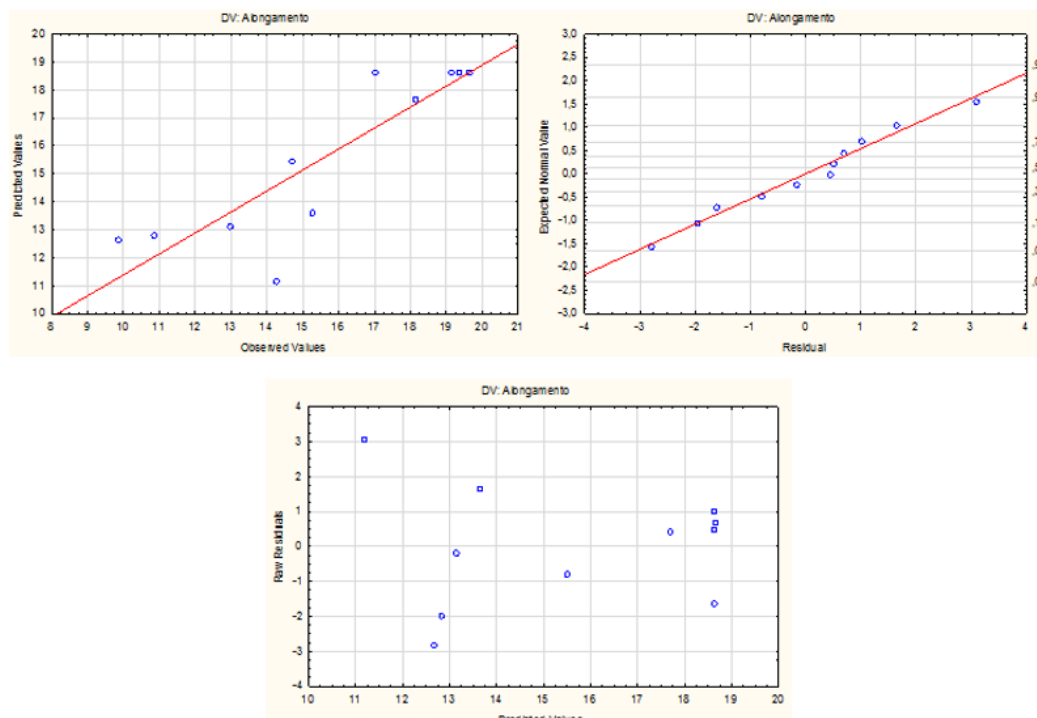
Figura 25. Superfície de resposta e curva de contorno da taxa de alongamento dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Como observado na **Figura 25**, os filmes obtidos com 45 e 56 minutos de aquecimento foram os que apresentaram maior alongamento, estando próximos do ponto estacionário (49,81 min).

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 26**).

Figura 26. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de taxa de alongamento. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 26**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

Quanto ao módulo de Young, os ensaios 2, 4 e 6 apresentaram valores bem elevados, podendo ser considerados mais rígidos, mas com considerável flexibilidade, quando comparados aos ensaios 1, 3 e 5 que expuseram valores bem menores, sendo estes os mais frágeis, rompendo facilmente.

Apesar de bem característicos para o desenvolvimento deste trabalho, os valores de E se mostraram abaixo do relatado em alguns trabalhos. Molina (2013), por exemplo, obteve $583,4 \pm 46,4$ MPa com filmes de farinha de banana verde da variedade Terra, e Eça et al. (2015) 391 ± 26 MPa, 244 ± 5 MPa e 384 ± 52 MPa, para filmes de pectina com extratos de acerola, caju e morango, respectivamente. Entretanto, valores bem maiores foram encontrados; por vezes mais de 30 vezes maior que os encontrados neste planejamento (FAKHOURI et al., 2015).

Romero-Bastida et al. (2005), no entanto, ao desenvolver filmes de amido de banana com 50% (p/p) de glicerol, obtiveram $E = 1,6$ MPa, valor muito baixo quando

comparado com este e outros resultados, por exemplo, os de Martelli et al. (2013) ao desenvolver filmes de concentrações diferentes de purê da polpa de banana madura (estágio 7-8) da variedade Nanica (3, 4,5 e 6% g/g) e glicerol (5 e 10% g/g), adicionados de 0,5% (p/p) pectina e nanopartículas de quitosana, alcançou entre 4 ± 2 e 34 ± 2 MPa de módulo elástico.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 28** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para o módulo elástico (E) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 28. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de módulo elástico.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	26,38736	2,534899	10,40963	0,009103
Amido (L)	11,84686	3,088924	7,67054	0,016575
Amido (Q)	-4,11154	3,618431	-2,27256	0,150973
Tempo (L)	-0,13972	3,161347	-0,08839	0,937619
Tempo (Q)	-5,69947	3,904081	-2,91975	0,100014
Amido x Tempo	-0,18265	4,391564	-0,08318	0,941283

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$E = 26,38736 + 11,84686x,$$

onde x corresponde à concentração de amido.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 28**.

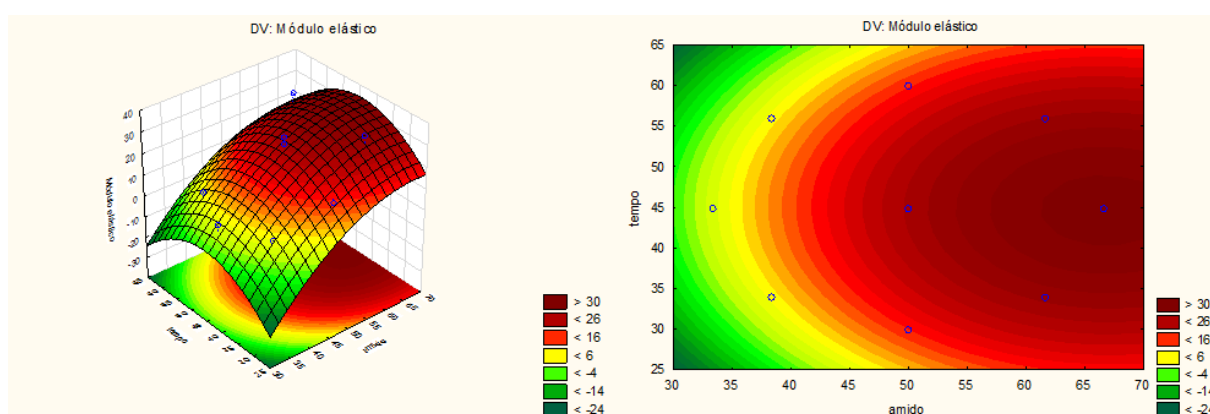
Tabela 29. ANOVA do modelo quadrático de módulo elástico ($r^2 = 0,91458$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	1134,735	1134,735	58,83720	0,016575
Resíduos	38,572	19,286	$F_{(2,3)} = 19,16$	
Total	1470,441			

L = Linear; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 29** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para o módulo elástico foi igual a 91,46%. O teste F foi significativo: a concentração de amido apresentou F calculado 3 vezes maior que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 27**).

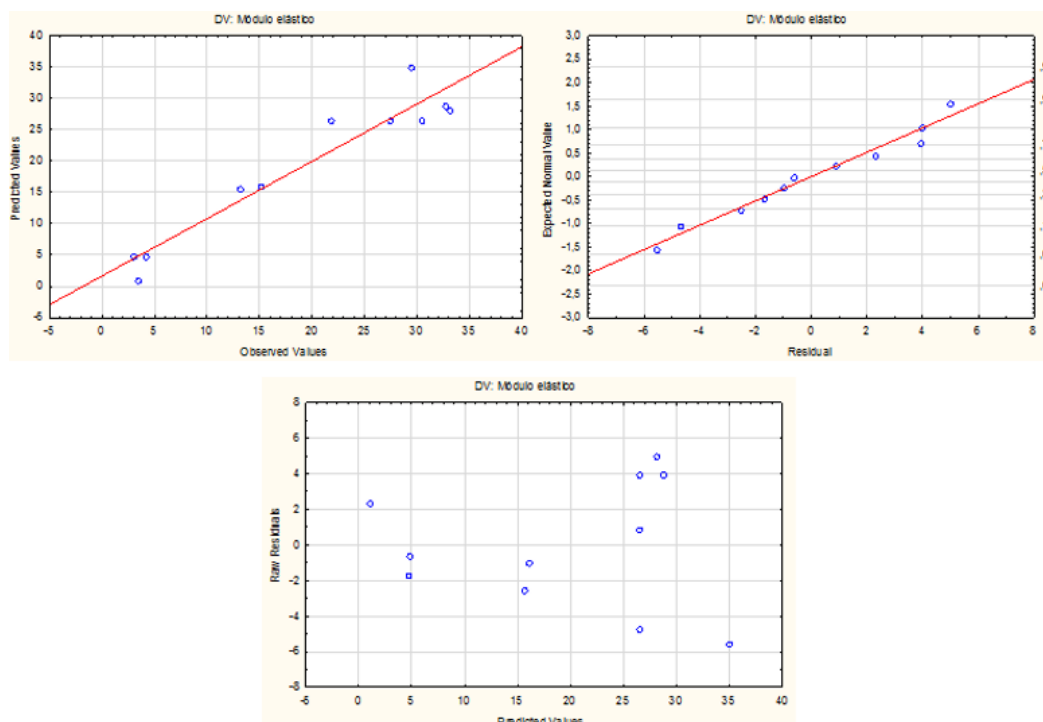
Figura 27. Superfície de resposta e curva de contorno do módulo elástico dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



O módulo de Young está relacionado à rigidez do material, ou seja, filmes com maior E são mais rígidos. Como observado na **Figura 27**, há uma tendência entre o aumento de amido com o aumento do módulo elástico, conferindo rigidez aos filmes. O ponto máximo de amido do delineamento (66,6%) se aproximou do ponto estacionário (66,74% amido).

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 28**).

Figura 2138. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de módulo elástico. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 28**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

A presença de fibras tem contribuído com a melhoria das propriedades mecânicas de filmes e revestimentos, elevando a resistência à tração e módulo de Young, e reduzindo a taxa de alongamento, tendo em vista seu comportamento rígido.

Assim, muitos trabalhos têm adicionado fibras naturais em matrizes poliméricas como agentes reforçadores, como no trabalho de Molina (2013), em que incorporação de nanofibras de banana na matriz de amido levou ao incremento da tensão de ruptura e módulo de elasticidade, favorecendo a obtenção de nanocompósitos com melhor resistência mecânica quando comparados com o filme controle (sem adição de nanofibras). Kvien e colaboradores (2005) também relataram a importância da dispersão de fibras e nanofibras em matrizes poliméricas como pré-requisito para alcançar resultados desejáveis como materiais de reforço.

Azeredo et al. (2009) ao desenvolver filme com purê de manga e nanofibras de celulose comercial alcançaram bons resultados mecânicos: aumento da tensão na ruptura e módulo de Young e, redução da elongação e permeabilidade ao vapor de água. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira et al. (2009) ao elaborarem revestimentos a base amido de mandioca e nanofibras do bagaço de mandioca.

Tendo em vista os resultados expostos, a solução filmogênica desenvolvida neste trabalho, composta por FCBP com teor significativo de fibras ($42,04 \pm 0,51\%$ de insolúveis e $3,01 \pm 0,07$ de solúveis) melhorou as características mecânicas dos filmes correspondentes aos ensaios.

Quanto ao teste de perfuração (TP) e taxa de deformação (TD), os ensaios apresentaram valores elevados quando comparados com alguns trabalhos.

Pelissari e colaboradores (2013) conseguiram uma TD equivalente a $6,8 \pm 0,4\%$ com filmes de farinha de banana verde da variedade Terra e $1,3 \pm 0,1\%$ com amido de banana verde da mesma variedade, ambos com glicerol (19% p/p) como plastificante.

Schmidt e colaboradores (2013) desenvolveram filmes de amido de mandioca, variando a concentração de glicerol (21,76–30,24 g/100 g) e ácido esteárico (3,76–12,24g/ 100 g), com TD oscilando em 2,19 a 8,87%.

Andrade-Pizarro et al. (2015) conseguiram elaborar filmes de gelatina, nanofibra de celulose e glicerol com TP menor que 9 MPa (avaliando concentrações de gelatina-glicerol) e menor 10 MPa (avaliando concentrações de gelatina-nanofibra de celulose), e TD bem menores ($> 2,8\%$) que os determinados nos ensaios deste trabalho.

Os valores de TP e TD deste trabalho poderiam ter sido menores a depender da escolha por outro plastificante, tendo em vista que a adição de glicerol, uma molécula higroscópica de cadeia pequena, na preparação de filmes comestíveis reduz as interações intermoleculares entre as cadeias de biopolímeros aumentando a flexibilidade e extensibilidade dos filmes (ARVANITOYANNIS, 2002; BERTUZZI et al., 2006; HANANI et al., 2012; ANDRADE-PIZARRO et al., 2015), garantindo esses valores dos ensaios.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 30** e revela juntamente com *p*-valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e

que farão parte do modelo matemático predito para o teste de perfuração (TP) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 30. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de teste de perfuração.

Parâmetro	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	14,94337	0,631677	23,65664	0,001782
Amido (L)	3,22273	0,769736	8,37359	0,013964
Amido (Q)	-1,80112	0,901685	-3,99500	0,057322
Tempo (L)	1,47558	0,787784	3,74616	0,064445
Tempo (Q)	-2,40257	0,972867	-4,93916	0,038632
Amido x Tempo	0,99155	1,094344	1,81214	0,211656

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo quadrático incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$TP = 14,94337 + 3,22273x - 2,40257y^2,$$

onde x corresponde à concentração de amido e y ao tempo de aquecimento.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 30**.

Tabela 31. ANOVA do modelo quadrático de teste de perfuração ($r^2 = 0,78834$).

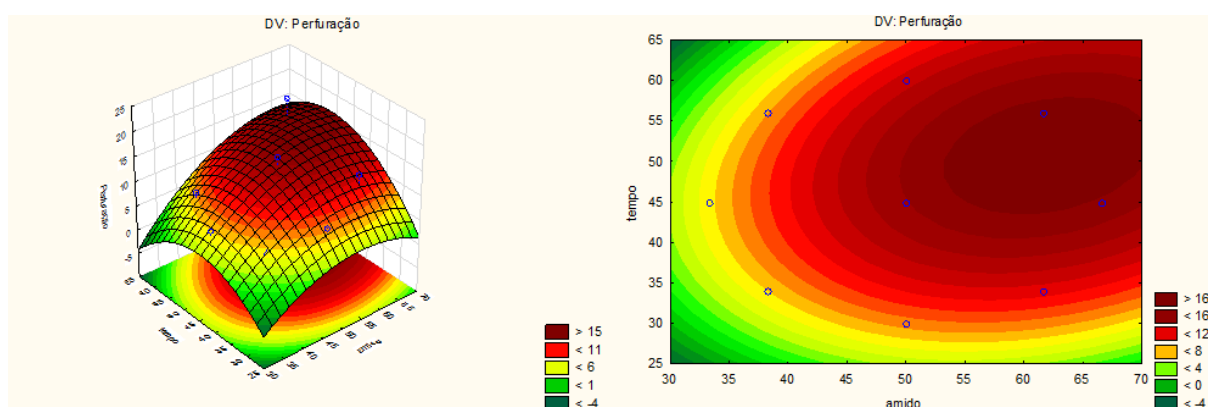
Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	83,9721	83,97211	70,11700	0,013964
Tempo (Q)	29,2158	29,21584	24,39532	0,038632
Resíduos	2,3952	1,19760	F _(2,3) = 19,16	
Total	181,3319			

L = Linear; Q = Quadrático; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 31** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para o módulo elástico foi igual a 78,83%. O teste F foi significativo: a concentração de amido linear e o tempo de aquecimento quadrático apresentaram F calculado maiores que o valor de F

tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 29**).

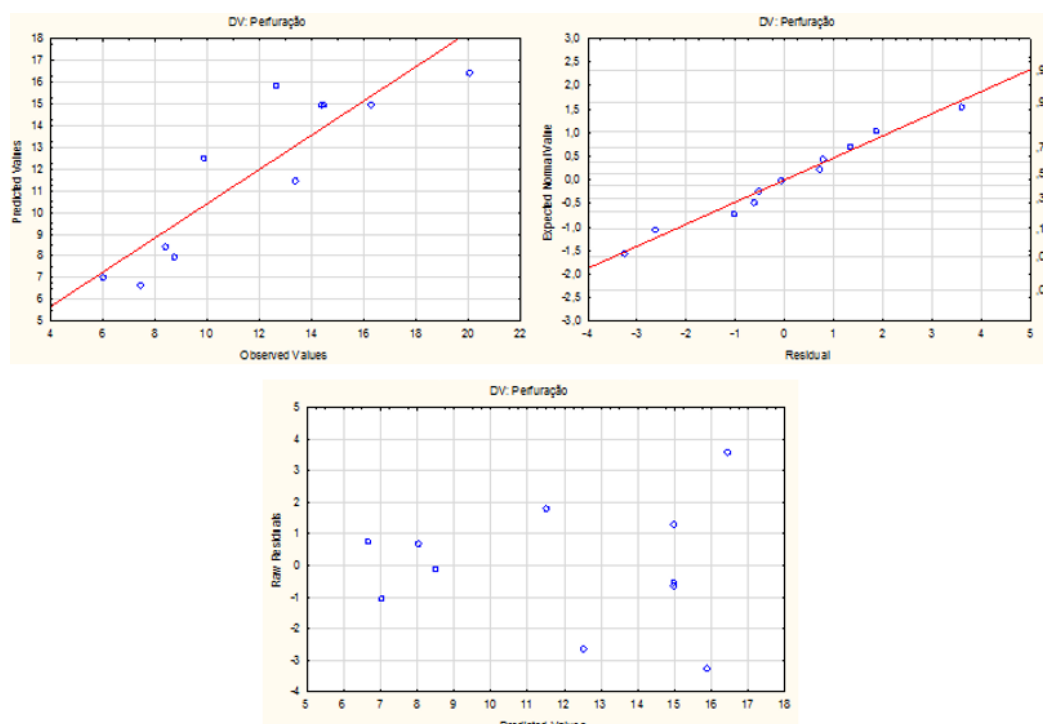
Figura 29. Superfície de resposta e curva de contorno do teste de perfuração dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



Como observado na **Figura 29**, o ensaio correspondente a 61,6% amido; 56 min foi o que apresentou valor mais alto de TP, próximo ao ponto estacionário (62,04% amido; 50,74 min).

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 30**).

Figura 30. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de teste de perfuração. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 30**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

A análise dos coeficientes de regressão está na **Tabela 32** e revela juntamente com p -valor quais são os parâmetros estatisticamente significativos e que farão parte do modelo matemático predito para a taxa de deformação (TD) em função do tempo e da concentração de amido.

Tabela 32. Mínimos quadrados e significância dos coeficientes de regressão dos parâmetros do modelo de taxa de deformação.

Parâmetro	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	p-valor
Média	18,15539	1,016485	17,86095	0,003120
Amido (L)	-3,38791	1,238647	-5,47034	0,031830
Amido (Q)	-0,98682	1,450978	-1,36021	0,306788
Tempo (L)	-1,37970	1,267689	-2,17671	0,161442
Tempo (Q)	4,40268	1,565522	5,62456	0,030186
Amido x Tempo	-4,44963	1,761001	-5,05353	0,036998

L = Linear; Q = Quadrático; t(2) = valor t de Student para 2 graus de liberdade; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

Após a determinação dos coeficientes de regressão, foi possível montar o modelo quadrático incluindo somente os termos significativos, com um nível de significância de 5% representado na equação abaixo:

$$TD = 18,15539 - 3,38791x + 4,40268y^2 - 4,44963xy,$$

onde x corresponde à concentração de amido e y ao tempo de aquecimento.

Com o objetivo de verificar a validade do modelo, uma análise de variância (ANOVA) foi feita considerando apenas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da **Tabela 32**.

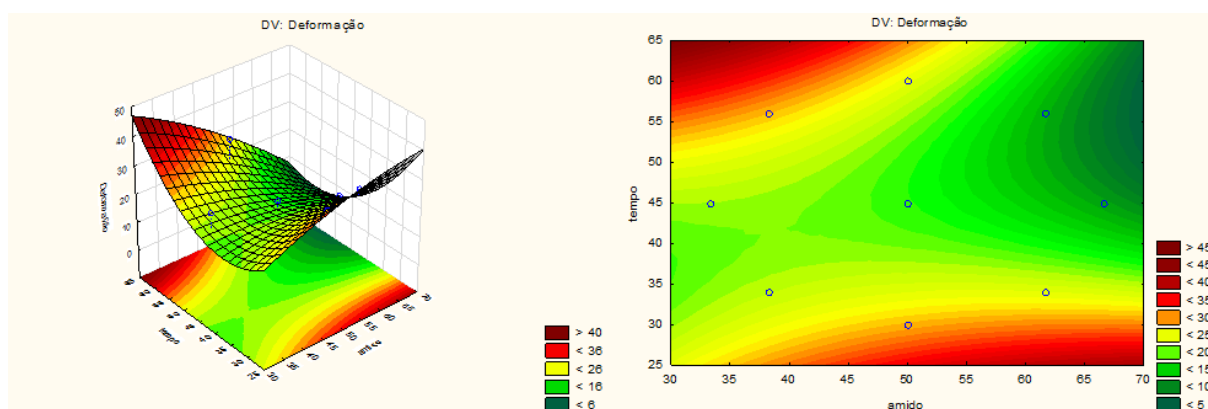
Tabela 33. ANOVA do modelo quadrático de taxa de deformação ($r^2 = 0,68083$).

Fonte de Variação	SQ	QM	F calculado	p-valor
Amido (L)	92,8009	92,80094	29,92466	0,031830
Tempo (Q)	98,1070	29,21584	24,39532	0,038632
Amido x Tempo	79,1977	98,10699	31,63565	0,030186
Resíduos	6,2023	3,10115	F _(2,3) = 19,16	
Total	461,3807			

L = Linear; Q = Quadrático; SQ= Soma dos quadrados; QM: Quadrados médios; Dados em vermelho apresentam significância ($p < 0,05$).

A **Tabela 33** demonstrou que o modelo ajustado para as respostas é satisfatório. O coeficiente de determinação (r^2) para o módulo elástico foi igual a 68,08%. O teste F foi significativo: a concentração de amido linear, o tempo de aquecimento quadrático e a interação amido:tempo apresentaram F calculado maiores que o valor de F tabelado para 2 graus de liberdade da regressão e 3 graus de liberdade dos resíduos. Além disso, o p -valor foi menor que 0,05. Portanto, a equação do modelo é válida e pôde ser graficamente representada por meio de superfícies de respostas e as respectivas curvas de contorno (**Figura 31**).

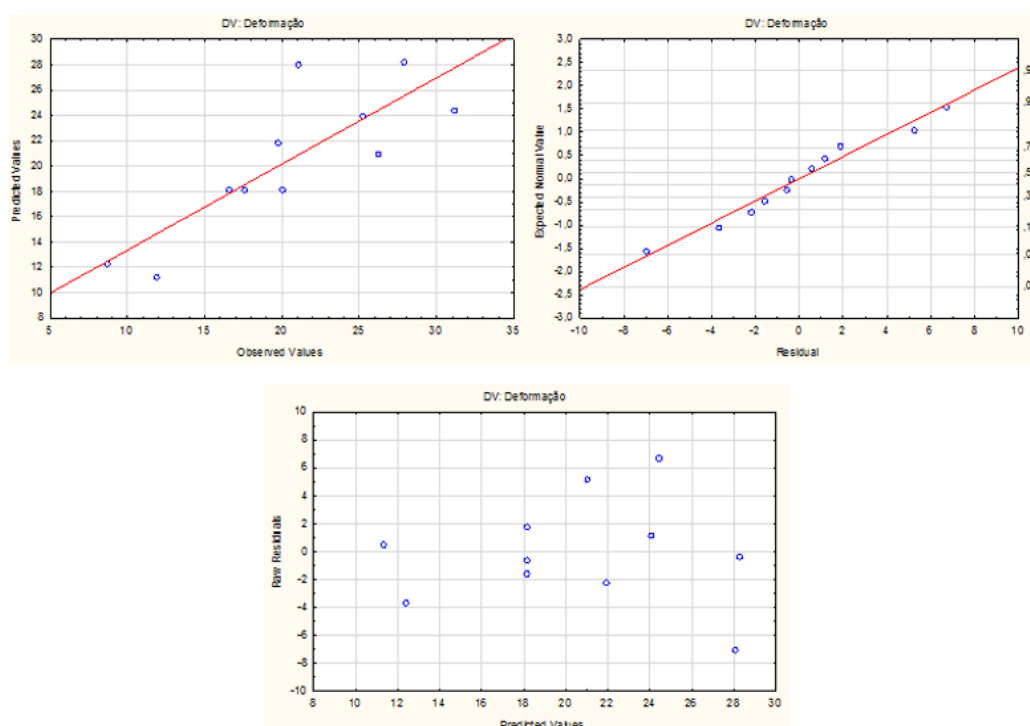
Figura 31. Superfície de resposta e curva de contorno da taxa de deformação dos filmes em função do tempo e da concentração de amido.



A **Figura 31** mostra que baixas concentrações de amido e altos tempos de aquecimento e altas concentrações de amido e baixos tempos tendem a conferir elevadas taxas de deformação.

Para avaliar a adequabilidade (qualidade) do ajuste realizado, foi verificado se as hipóteses de normalidade e variância dos resíduos foram satisfeitas (**Figura 32**).

Figura 32. Gráficos de avaliação do ajuste e verificação de aleatoriedade residual para o modelo de taxa de deformação. **A.** Valores observados vs. valores preditos. **B.** Normal probabilístico dos resíduos. **C.** Resíduos vs. valores preditos.



Analisando os gráficos (**Figura 32**), pode-se concluir que os resíduos do modelo ajustado seguem distribuição normal, pois, pelo gráfico B, observa-se que os pontos se aproximam da reta identidade. Além disso, os resíduos estão dispersos aleatoriamente, não evidenciando desvio do modelo, como mostrado no gráfico C.

• Composição centesimal dos filmes selecionados

As análises de composição centesimal no filme foram realizadas com o intuito de se avaliar a influência química da FCBP sob os filmes elaborados. Para as devidas análises foram utilizados filmes dos ensaios referentes ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos), tendo em vista que apresentaram os melhores resultados de caracterização (Espessura: $0,068 \pm 0,001$ mm; SA: $32,55 \pm 1,33$ %; L*: $83,18 \pm 0,73$; h°: $74,00 \pm 1,44$; C*: $14,40 \pm 0,68$; PVA: $0,38 \pm 0,02$ g/h.m.Pa; σ : $0,47 \pm 0,02$ MPa; ϵ : $18,30 \pm 1,89$ %; E: $26,50 \pm 4,39$ MPa; TP: $15,16 \pm 1,42$ MPa; TD: $17,94 \pm 0,75$ %).

Os dados comparativos de composição centesimal entre FCBP e filme encontram-se descritos na **Tabela 34**.

Tabela 34. Comparação dos valores médios da composição centesimal (%), em base seca, entre a FCBP e o filme referente ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos).

VARIÁVEL	FCBP	FILME
Umidade	$6,48 \pm 0,10^b$	$19,03 \pm 0,19^a$
Lipídios	$14,42 \pm 0,37^a$	$1,65 \pm 0,24^b$
Proteínas	$8,00 \pm 0,00^a$	$1,13 \pm 0,11^b$
Cinzas	$6,99 \pm 0,06^a$	$5,11 \pm 0,06^b$
Carboidratos totais	$25,04 \pm 0,39^b$	$60,33 \pm 2,35^a$
Fibras solúveis	$2,74 \pm 0,06^a$	$5,20 \pm 0,54^a$
Fibras insolúveis	$37,04 \pm 0,45^a$	$8,92 \pm 0,59^b$

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

Os filmes elaborados neste trabalho, por terem exibido expressivo teor de carboidratos totais ($60,33 \pm 2,35\%$), podem ser classificados como revestimentos hidrocoloidais a base de polissacarídeos. Além disso, apresentaram teor significativo de fibras ($5,20 \pm 0,54\%$ para fibras solúveis e $8,92 \pm 0,59\%$ para insolúveis) e teor de umidade moderado ($19,03 \pm 0,19\%$). Em relação a cinzas, a FCBP contribuiu com uma certa proporção de minerais para a composição final dos filmes; o mesmo não ocorreu com lipídios e proteínas.

Guilbert e colaboradores (1997) relataram a influência da composição dos filmes e revestimentos comestíveis, destacando que este tipo de embalagem deve englobar pelo menos um polímero que possua a propriedade de formar uma matriz estrutural suficientemente coesa, ou seja, com ligações numerosas e/ou fortes entre as cadeias moleculares, impedindo assim a sua separação (GUILBERT et al., 1996).

Segundo Chivrac et al. (2010), a umidade relativa de armazenamento das amostras é um fator bastante influente na umidade dos filmes. Filmes que contêm amido tendem a absorver grandes quantidades de água em condições de elevada umidade relativa, devido à sua natureza hidrofílica, influenciando fortemente suas propriedades físicas e de barreira (MALI et al., 2005).

Além disso, o teor de glicerol também influencia a umidade dos filmes, uma vez que tem comportamento higroscópico, e, portanto, incrementa a umidade do filme conforme se eleva o conteúdo de plastificante (ARENAS, 2012).

A proporção de outros componentes igualmente hidrofílicos (proteínas e fibras solúveis) presentes nos revestimentos de FCBP também pode ter contribuído a um maior número de interações com moléculas de água nos filmes elaborados, tornando a estrutura mais aberta, porosa e menos densa.

Comparando os resultados com valores apresentados na literatura, os filmes produzidos neste trabalho apresentaram resultados superiores aos de Oriani (2013), que encontrou valores entre 12,82 a 14,23% de umidade com filmes de fécula de mandioca adicionados de óleo essencial de casca de canela e erva doce, e aos de Scartazzini (2014), que obteve valores entre 13,68 e 14,68% com coberturas comestíveis à base de gelatina. Contudo foram inferiores aos de Maniglia (2012), que determinou $26,96 \pm 2,46\%$ de umidade em filmes de farelo de cúrcuma plastificados com glicerol (19% p/p), e aos de Crizel (2017), que encontrou $23,23 \pm 0,88\%$, $20,63 \pm 0,67\%$, $21,82 \pm 1,19\%$ com filmes com 5%, 10% e 15% de fibras de resíduos de mirtilo, respectivamente.

Iahnke (2015), todavia, ao elaborar filmes biodegradáveis a partir de resíduos da fabricação de cápsulas nutracêuticas compostas por gelatina, glicerina e água, e combinados com farinha de resíduos da indústria de minimamente processados de cenoura e beterraba, obteve resultados em dois ensaios de seu delineamento próximos ao deste trabalho: $19,46 \pm 0,10\%$ e $19,84 \pm 0,07\%$ de umidade.

Como observado por Sothornvit & Pitak (2007) em seu trabalho com filmes de compostos de farinha de banana e pectina, plastificados com glicerol, o conteúdo de

carboidratos totais na composição da farinha de banana também desempenhou o papel de plastificante e, provavelmente, influenciou as propriedades finais dos filmes.

Proteínas e polissacarídeos resultam em filmes com boas propriedades mecânicas e organolépticas e são barreiras efetivas a compostos de aroma e gases de baixa massa molar como oxigênio e dióxido de carbono, embora sejam sensíveis à umidade devido à natureza hidrofílica desses componentes (DEBEAUFORT et al., 2000; YANG & PAULSON, 2000), conferindo aos filmes alto coeficiente de permeabilidade ao vapor d'água, como observado neste trabalho.

A adição de fibras e nanopartículas tem sido empregada no desenvolvimento de revestimentos como materiais de reforço, devido ao caráter mais hidrofóbico, a fim de melhorar as propriedades mecânicas e de barreira dos filmes biopoliméricos à base de amido e/ou proteína (REDDY & YANG, 2005; SATYANARAYANA et al., 2009; MONTAÑO-LEYVA et al., 2013).

No processo de elaboração dos filmes, houve a necessidade de uma etapa de filtração, que reteve grande parte das fibras insolúveis disponíveis na FCBP. Contudo, o conteúdo de fibras solúveis nos filmes foi totalitário.

A presença de fibras solúveis e insolúveis nos filmes provenientes da FCBP, em associação com a concentração de amido (50%), pode ter melhorado as propriedades mecânicas dos filmes, bem como a resistência à umidade dos mesmos, como já foi evidenciado em alguns estudos (REDDY & YANG, 2005; MÜLLER et al., 2009; DIAS et al., 2011; ANDRADE, 2014).

A fibra de banana tem sido empregada como agente de reforço em alguns trabalhos, por exemplo, no de Kiruthika et al. (2012) com filmes de goma de sementes de tamarindo.

Os revestimentos apresentaram um grau aceitável de plasticização, o qual foi favorecido pelo conteúdo final de umidade e pelas interações intermoleculares entre os componentes da FCBP (carboidratos e fibras) e amido e glicerol.

- **Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante**

A determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante foi realizada com o intuito de se avaliar a influência química e antioxidante da FCBP

sob os filmes elaborados. Para as devidas análises foram utilizados filmes dos ensaios referentes ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos), tendo em vista que apresentaram os melhores resultados de caracterização.

Primeiramente avaliou-se por correlação a relação entre o teor de fenóis totais presentes nos filmes selecionados com sua capacidade antioxidante, estando os resultados dispostos na **Tabela 35**.

Tabela 35. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante dos filmes selecionados.

	Compostos fenólicos	ABTS	FRAP	DPPH
ABTS	- 0,5849	-		
FRAP	- 0,6849	0,9916 *	-	
DPPH	0,9934 *	- 0,6736	- 0,7635	-

* valores com correlação linear e positiva.

A correlação entre os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante pelo método de captura do radical livre DPPH apresentou-se linear, positiva e forte, com coeficiente de Pearson igual a 0,9934; enquanto que o relacionamento linear entre os compostos fenólicos e o poder de redução do ferro (FRAP) e a captura do radical livre ABTS⁺ se deu de modo negativo ($r = -0,6849$ e $r = -0,5849$, respectivamente), ou seja, fenóis totais da FCBP e FRAP/ABTS caminham em direções opostas.

Após a análise de correlação, foi realizada uma comparação entre os compostos fenólicos totais e atividade antioxidante entre FCBP e filme (**Tabela 36**).

Tabela 36. Comparação dos valores médios de compostos fenólicos totais (CF) e atividade antioxidante entre a FCBP e o filme referente ao ponto central (50% amido p/p; 45 minutos).

Análise	FCBP	Filme
Compostos Fenólicos (EAG.100 g ⁻¹ produto)	83,05 ± 12,46 ^b	96,79 ± 3,12 ^a
ABTS (μM Trolox/g)	8,46 ± 0,77 ^a	10,49 ± 1,48 ^a
FRAP (μM sulfato ferroso/g)	12,73 ± 1,26 ^b	18,58 ± 1,36 ^a
DPPH (μM Trolox/g)	11,31 ± 0,91 ^b	14,61 ± 0,67 ^a

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

Como observado na **Tabela 36**, compostos fenólicos e capacidade antioxidante pelos métodos de FRAP e DPPH foram estatisticamente diferentes e

maiores para os filmes, enquanto que pelo método ABTS, a atividade antioxidante se mostrou estatisticamente semelhante entre FCBP e os filmes (50% amido p/p; 45 minutos), demonstrando que eles se mantiveram estáveis, mesmo com o processamento dos revestimentos.

Sartori (2014) avaliou a atividade antioxidante de filmes de amido de banana verde da variedade Terra incorporados de micropartículas lipídicas contendo ácido ascórbico pelo método FRAP. Os filmes controle (sem aditivos) apresentaram $3,7 \pm 0,3$ μM sulfato ferroso/g de atividade antioxidante, valor cinco vezes menor que os filmes de FCBP. No entanto, os demais filmes contendo ácido ascórbico tiveram atividade antioxidante bem maior que os elaborados neste trabalho, variando entre $40,4 \pm 0,4$ e 67 ± 3 μM sulfato ferroso/g.

Sganzerla & Veeck (2017) desenvolveram e caracterizaram filmes biodegradáveis a base de amido de pinhão e pectina cítrica contendo farinha da casca de goiaba serrana (*Acca sellowiana*) (0,4 a 4% g/g). Os filmes de FCBP elaborados neste trabalho apresentaram atividade antioxidante intermediária entre os filmes com 0,4 e 1% de farinha da casca de goiaba serrana (DPPH: $8,79 \pm 0,34$ e $18,71 \pm 0,91$ mg Trolox/g filme; ABTS: $9,17 \pm 0,00$ e $26,45 \pm 1,57$ mg Trolox/g filme). Os autores perceberam a presença de atividade antioxidante em todos os filmes produzidos com a adição de farinha da casca de goiaba serrana, efeito este, proporcional às concentrações utilizadas.

Souza et al. (2015) elaboraram filmes de amido de mandioca com diferentes concentrações de extrato etanólico de própolis (0; 0,5%; 0,75% e 1% p/p) e avaliaram sua atividade antioxidante pelo método DPPH. O filme de FCBP foi comparável ao filme com 1% extrato de própolis elaborado pelos autores (menor que 13,00 μmol Trolox/g filme).

Tendo em vista que a capacidade antioxidante dos filmes elaborados a partir de FCBP se mostrou considerável, este tipo de embalagem pode ser aplicado em alimentos, reduzindo a quantidade de aditivos do tipo antioxidante durante seu armazenamento. Contudo, a sua eficácia deve ser estudada durante o armazenamento de alimentos para avaliar a prevenção de processos auto-oxidativos ou catalisados por enzimas.

CONCLUSÃO

A farinha de casca de banana se mostrou um material promissor a ser empregado como matéria-prima no desenvolvimento de filmes comestíveis, dado seu interessante poder antioxidante e composição centesimal, com destaque para seu teor elevado de carboidratos e fibras, importantes no bom desempenho mecânico e de barreira do filme.

É possível cooperar com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que reduzam os custos e o impacto ambiental, gerado pelo descarte de resíduos agroalimentares, produzindo filmes comestíveis acrescidos de farinha de cascas de banana Prata no estágio mais avançado de maturação.

Tendo em vista que as propriedades físicas, mecânicas e de barreira dos filmes de farinha de casca de banana foram influenciadas pelas condições de processo estudadas (concentração de amido e temperatura de aquecimento), as próximas etapas desse trabalho estão relacionadas à validação do delineamento proposto e aplicação do revestimento a base de FCBP em produtos alimentícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUL-ENEIN, A. M. et al. Identification of phenolic compounds from banana peel (*Musa paradaisica* L.) as antioxidant and antimicrobial agents. **J. Chem. Pharm. Res.**, v. 8, n. 4, p. 46-55, 2016.

ABREU, A. A. S.; BRAZ, A. R. A.; MONTEIRO, R. C. S.; FIGUEIREDO, R. W. **Análise da influência de revestimentos comestíveis de goma de cajueiro modificada na acidez e quantidade de sólidos solúveis de goiabas**. Resumo, Encontros Universitários da UFC, Fortaleza, v. 1, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução CNNPA n.12 de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de julho de 1978. Disponível em <<http://portal.anvisa.gov.br/>>. Acesso em 17 out. 2017.

AHMAD, M. et al. Optical and thermo-mechanical properties of composite films based on fish gelatin/rice flour fabricated by casting technique. **Progress in Organic Coatings**, v. 84, p. 115-127, 2015.

ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 21, n. 2, p. 143-152, 2013.

ALLEN, L. Edible carbohydrates food coating II: evaluation on fresh meat products. **Food Technology**, v. 17, p. 1442-1446, 1963.

ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents, **Food Chemistry**, v. 115, p. 785-788, 2009.

ÁLVARES, V. S. **Amadurecimento e qualidade da banana ‘Prata’ (*Musa AAB* subgrupo Prata) submetida a diferentes concentrações de etileno**. 2003. 83f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ANDRADE, S. A. C.; BARROS NETO, B.; SALGADO1, S. M.; GUERRA, N. B. Influence of edible coatings in the reduction of solids uptake in osmotically dehydrated Jenipapos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 27, n. 1, p. 39-43, 2007.

ANDRADE, R. M. S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis à base de resíduos de frutas e hortaliças**. 2014, 76f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE-PIZARRO, R. D.; SKURTYS, O.; OSORIO-LIRA, F. Effect of cellulose nanofibers concentration on mechanical, optical, and barrier properties of gelatin-based edible films. **DYNA**, v. 82, n. 191, p. 219-226, 2015.

ÂNGELO, P. M.; JORGE, N. Phenolic compounds in foods – A brief review. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ANHWANGE, B. A. Chemical composition of *Musa sapientum* (banana) peels. **Journal of Food Technology**, v. 6, n. 6, p. 263-266, 2008.

ANHWANGE, B. A. et al. Chemical composition of *Musa sapientum* (banana) peels. **EJEAFChe**, v. 8, n. 6, p. 437-442, 2009.

ANKER, M.; BERNTSEN, J.; HERMANSSON, A. M.; STADING, M. Improved water vapor barrier of whey protein films by addition of acetylated monoglyceride. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.**, n. 3, p. 81-92, 2002.

ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J. Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. **Water Science and Technology**. v. 47, p. 185-190, 2004.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA n.12 de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de julho de 1978. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/>>. Acesso em 17 out. 2017.

AQUINO, C. F. et al. Carbohydrates, phenolic compounds and antioxidant activity in pulp and peel of 15 banana cultivars. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 38, n. 4, p. 1-11, 2016.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 5 ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

ARENAS, A. M. Z. **Filme biodegradável à base de fécula de mandioca como potencial indicador de mudança de pH**. 2012. 131f Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ARUN, K. B. et al. Plantain peel - a potential source of antioxidant dietary fibre for developing functional cookies. **J Food Sci Technol.**, v. 52, n. 10, p. 6355-6364, 2015.

ARVANITOYANNIS, I. **Formation and properties of collagen and gelatin films and coatings**. In Gennadios, A., Ed., Protein-based Films and Coatings, Boca Raton: CRC Press, pp. 730-739, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Antioxidant Activity in Foods and Beverages Reaction with 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH)**. 19ed. Gaithersburg: AOAC, 2012.

ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Braz J Food Technol**, v. 17, n. 2, p. 87-97, 2014.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard terminology relating to plastics – D 883**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 1999.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting – D882 – 12**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2012.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material – F2251 – 13**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2013.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics – D 638 – 14**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2014.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Conditioning and Testing Flexible Barrier Packaging – E171/E171M – 11**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2015.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials – E96/E96M – 16**. Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2016.

ATAÍDE, C. S. et al. Aproveitamento do resíduo agrícola da banana (*Musa balbisiana* e da *Musa sapientum*, Linneo): agricultura familiar como forma de desenvolvimento sustentável. Paraíba. **Trabalho...** Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, 2013. Disponível em: <<http://www.prac.ufpb.br/enex/trabalhos/7CCHSADGTAPROBEX2013478.pdf>>. Acesso em 20 set. 2013.

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processing food products. **Trends in Food Science & Technology**, Norwich, v. 20, p. 1-14, 2009.

AYALA-ZAVALA, J. F. et al. Pectin–cinnamon leaf oil coatings add antioxidant and antibacterial properties to fresh-cut peach. **Flavour Fragr J**, v. 28, p. 39-45, 2013.

AZEREDO, H. M. C. et al. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 5, p. 31-35, 2009.

BABBAR, N.; OBEROI, H.S.; UPPAI, D.S.; PATIL, R.T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Research International**, v. 44, n.1, p. 391-396, 2011.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses, **Food Chemistry**, v. 99, p. 191-203, 2006.

BALDWIN, E. A. NISPEROS-CARRIEDO, M. O.; BAKER, R. A. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, v. 30, n. 1, p. 35-8, 1995.

BANKER, G. S. Film coating theory and practice. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Whashington, v. 55, n. 1, p. 81-89, 1966.

BARBOSA, H. R., ASCHERI, R. P. R., ASCHERI, J. L. R., CARVALHO, C. W. P. Permeabilidade, estabilidade e funcionalidade de filmes biodegradáveis de amido de caroço de jaca (*Artocarpus heterophyllus*). **Revista Agrotecnologia**, v. 2, p. 73-88, 2011.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FRENÁNDEZ-MOLINA, J. J.; ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; LÓPEZ-MALO, A.; CHANES, J. W. **Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas**. Roma: FAO, p. 99, 2003.

BARDIYA, N.; SOMAYAJI, K. Biomethanation of banana peel and pineapple waste. **Bioresource Technology**. v. 58, p. 73-76, 1996.

BARRADAS, A. M. **Características nutritivas e funcionais de frutas cultivadas no sistema convencional e orgânico**. 2016. 71f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

BATTISTI, R. **Desenvolvimento de folha celulósica com revestimento biodegradável e ações antimicrobiana e antioxidante para uso como embalagem ativa em carne bovina fresca**. 2016. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

BELLO-PÉREZ, L. A. et al. Banana and Mango Flours. In: PREEDY, V.; WATSON, R.; PATEL, V.; (Ed) **Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention**. London: Elsevier Inc, p. 235-245, 2011.

BELLO-PEREZ, L. A. et al. Chapter 8: Banana. In: SIDDIQ, M. (Ed.). **Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging**. New York: John Wiley & Sons, Inc, p. 135-157, 2012.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos à base de polímeros de fontes renováveis e sua aplicação no acondicionamento de pães de forma**. 2008. 188f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2008.

BERTOLINI, A. C. et al. Rheological and functional properties of flours from banana pulp and peel. **Starch/Starke**, v. 62, p. 277-284, 2010.

BERTUZZI, M. et al. Water vapor permeability of edible starch based films. **J Food Eng**, v. 80, n. 3, p. 972-978, 2007.

BEZERRA, C. V. et al. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physicochemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241-249, 2013.

BITTENCOURT, C. B. **Procedimento de ensaio para avaliar propriedades ao cisalhamento de materiais compósitos: método da viga com entalhe em V**. 2001. 14f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2001.

BOEING, A. H. **Perfil polifenólico e atividade antioxidante de farinhas e polentas de variedades locais de milho conservadas *on farm* no Oeste de Santa Catarina: potencial como nutracêutico e alimento funcional**. 2014. 105f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BONA, J. C. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Green banana flour characterization. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 29 n. 2, p. 333-339, 2009.

BORGES, A. M. et al. Estabilidade da pré-mistura de bolo com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 173-181, 2010.

BORGES, C. D. et al. Conservação de morangos com revestimentos à base de goma xantana e óleo essencial de sálvia. **Biosci J**, v. 29, n. 5, p. 1071-1083, 2013.

BORGES, C. V. Characterisation of metabolic profile of banana genotypes, aiming at biofortified *Musa* spp. cultivars. **Food Chemistry**, v. 145, p. 496-504, 2014.

BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B.; NOGUEIRA, D.; HARTWIG, E. S.; RUTZ, J. K. Conservation of minimally processed apples using edible coatings made of turnip extract and xanthan gum. **Braz. J. Food Technol.** v. 19, 2016.

BOTREL, D. A. et al. Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1814-1820, 2010.

BRITTO, D.; SANTOS, M. F.; ASSIS, O. B. G. Chitosan solution as coating in apple. **Alim Nutr**, v. 23, n. 1, p. 15-21, 2012.

CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N.; FLORES, S. K. Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 6, p. 849-875, 2011.

CARDOSO, G. P. **Revestimentos comestíveis à base de gelatina, glicerina, quitosana e óleos essenciais para conservação de carne bovina refrigerada.** 2011. 221f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CARELI-GONDIM, I. **Uso de revestimentos comestíveis ativos com nanofibras celulósicas de casca de arroz na pós-colheita de frutas.** 2017. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CASTILHO, L. G.; ALCANTARA, B. M.; CLEMENTE, E. The physical-chemical analysis and development of the banana peel meal, the “in natura” banana peel and the unripe banana pulp from the cultivars Manzano and Chunkey. **e-xacta**, v. 7, n. 2, p. 107-114, 2014.

CASTRO, R.S.D. et al. Banana peel applied to the solid phase extraction of copper and lead from river water: preconcentration of metal ions with a fruit waste. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 50, p. 3446-3451, 2011.

CHAMBI, H. N. M.; GROSSO, C. R. F. Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradable films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatina. **Food Science and Technology**, v. 31 n. 3, p. 739-746, 2011.

CHENG, Z.; MOORE, J.; YU, L.. High-Throughput Relative DPPH Radical Scavenging Capacity Assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 20, p. 7429-7436, 2006.

CHEVALIER, R. C. et al. Edible coating utilization the chitosan base to improve melon shelf life minimally processed. **J. Bioen. Food Sci.**, v. 3, n. 3, p. 130-138, 2016.

CHIVRAC, F. et al. Starch-based nano-biocomposites: Pasticizer impact on the montmorillonite exfoliation process. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 941-947, 2010.

CHOOKLIN, C. S. et al. Utilization of banana peel as a novel substrate for biosurfactant production by Halobacteriaceae archaeon AS65. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 173, n. 2, p. 624-45, 2014.

COSTA, C. S. **Prolongamento da vida útil e qualidade pós-colheita de morangos pelo emprego de cobertura comestível.** 2009. 107 f. Tese (Doutorado

em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

COSTA, J. M. C.; CLEMENTE, E. Refrigeration and cold chain effect on fruit shelf life. In: RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. (Ed.). **Advances in fruit processing technologies**. Boca Taton: CRC Press, 2012. p. 287-330.

CRIZEL, T. M. **Aproveitamento de resíduos da indústria alimentícia e nutracêutica no desenvolvimento de ingredientes ativos para aplicação em filmes biodegradáveis**. 2017. 211f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

CUQ, B. et al. Edible Packaging Films Based on Fish Myofibrillar Proteins: Formulation and Functional Properties. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p. 1369-1374, 1995.

CUQ, B. et al. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 3, p. 580-584, 1996.

DEBEAUFORT, F. et al. Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. **Journal of Membrane Science**, v. 180, p. 47-55, 2000.

DEVOUARD, A. **Taxonomia de bananas**. Disponível em: <<http://www.inibap.org>>. Acesso em 15 set. 2017.

DIAS, A. B.; MÜLLER, C. M. O.; LAROTONDA, F. D. S.; LAURINDO, J. B. Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 535-542, 2011.

DI PIERRO, P. Chitosan/whey protein film as active coating to extend ricotta shelf-life. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 2324-2327, 2011.

DUKALSKA, L. et al. **Studies of biodegradable polymer material suitability for food packaging applications**. In: FOODBALT 2008. Disponível em <<http://lufb.llu.lv/conference/foodbalt/2008/Foodbalt-Proceedings-2008-64-68.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2017.

EÇA, K. S. *et al.* Development of Active Films From Pectin and Fruit Extracts: Light Protection, Antioxidant Capacity, and Compounds Stability. **J Food Sci**, v. 80, n. 11, p. C2389- C2396, 2015.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.

EMAGA, T. H. *et al.* Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. **Food Chemistry**, v. 103, p. 590-600, 2007.

EMAGA, T. H. *et al.* Characterisation of pectins extracted from banana peels (Musa AAA) under different conditions using an experimental design. **Food Chemistry**, v. 108, p. 463-471, 2008a.

EMAGA, T. H. *et al.* Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4346-4354, 2008b.

EMAGA, T. H. *et al.* Ripening influences banana and plantain peels composition and energy content. **Tropical Animal Health and Production**, v. 43, n. 1, p. 171-177, 2011.

EMBRAPA. ALVES, E. J., ORG. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: Embrapa-SPI / Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1997. 585p.

EMBRAPA. SEBASTIÃO, M. B. L. **Banana: o produtor pergunta, a Embrapa responde** /2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. 214 p.

FAI, A. E. C. *et al.* Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 194–204, 2016.

FAKHOURI, F. M. *et al.* Films and edible coatings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of Crimson grapes. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.27 n.2, 2007.

FAKHOURI, F. M. *et al.* Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biol Technol**, v. 109, p. 57-64, 2015.

FERNANDES, R. P. F. B. **Avaliação do potencial de revestimentos de origem proteica incorporados com extrato e/ou óleo essencial de plantas aromáticas na preservação de produtos cárneos**. 2015. 130f. Dissertação (Mestrado em Segurança Alimentar) – Universidade de Coimbra – Faculdade de Farmácia, 2015.

FERREIRA, A. F. S. **Filmes à base de quitosana enriquecidos com extratos de bagaço de uva**. 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Alimentar) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Produção e mercado internacionais de banana**. 2014. In: EMBRAPA. **Banana**. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/mundo/banana/w1_banana.pdf>. Acesso em 02 out. 2017.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FAD. **Generally recognized as safe (GRAS)**. Silver Spring, 2013.

GALANAKIS, C. M. Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 575-579, 2013.

GOL, N. B.; CHAUDHARI, M. L.; RAO, T. V. R. Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage. **J Food Sci Technol**, v. 52, n. 1, p. 78-91, 2015.

GONDIM, J. A. M. et al. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.

GONTARD, N. **Films et enrobages comestibles: étude et amelioration des propriétés filmogènes du gluten**. 1991, 174f. Tese (Doutorado em Bioquímica, biologia celular e molecular – Ciência de Alimentos), Université Montpellier II, Montpellier, 1991 apud RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006, 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim, RS, 2006.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v. 57, p. 190-199, 1992.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapour barrier properties of an edible wheat gluten film. **J. Food Sci.**, n. 58, p. 206-211, 1993.

GONTARD, N. *et al.* Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids - Water-Vapor Permeability and Other Physical-Properties. **Int J Food Sci Technol**, v. 29, p. 39-50, 1994.

GONZÁLEZ-MONTELONGO, R.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1030-1039, 2010a.

GONZÁLEZ-MONTELONGO, R.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. The effect of extraction temperature, time and number of steps on the antioxidant capacity of methanolic banana peel extracts. **Separation and Purification Technology**, v. 71, n. 3, p. 347-355, 2010b.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GORRIS, L. G. M. Prolongation of the shelf-life of perishable products using biodegradable films and coatings. **LWT – Food Science and Technology**, v. 29, p. 10-17, 1996.

GUILBERT, S.; CUQ, B.; GONTARD, N. Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. **Food Additives**, v. 6, p. 741, 751, 1997.

GUNASEELAN, V., N. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, p.389-399, 2004.

HAN, J. H.; GENNADIOS, A. Edible films and coatings: a review. In: HAN, J. H. (Editor). **Innovations in Food Packaging**. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, capítulo 15, p. 239-262, 2005.

HANANI, Z. *et al.* Effect of plasticizer content on the functional properties of extruded gelatin-based composite films. **Food Hydrocolloid**, v. 31, n. 2, p. 264-269, 2013.

HASLINDA, W. H. *et al.* Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* x *Balbisianacolla* cv. 'Awak') flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 4, p. 232-239, 2009.

HEIDMANN, P. M.; PATEL, V. **Farinha de casca de cajá-manga e elaboração de pão: avaliação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante**. 2016. 54f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2016.

HERNANDEZ-CARRANZA, P. et al. Optimization of bioactive compounds from by-product. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 40, p. 103-115, 2016.

IAHNKE, A. O. S. **Filmes biodegradáveis com propriedades funcionais produzidos a partir de resíduos industriais**. 2015. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção e mercado nacionais de banana**. 2015. In: EMBRAPA. **Banana**. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf>. Acesso em 02 out. 2017.

INFANTE, J. et al. Antioxidant activity of agroindustrial residues from tropical fruits. **Alim. Nutr. Braz. J. Food Nutr.**, v. 24, n. 1, p. 87-91, 2013.

ISMAIL, A.; MARJAN, Z. M.; FOONG, C. W. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. **Food Chemistry**, v. 87, p. 581-586, 2004.

ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. – 2.ed. ver. e ampl. – Campinas, ITAL, 1985, 302p.

JEON, Y. J.; KAMIL, J.Y.; SHAHIDI, F. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and atlantic cod. **J Agric Food Chem.**, v. 50, n. 18, p. 5167-78, 2002

JOLY, A. B. **Botânica - Introdução à taxonomia vegetal 10ª Ed**. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 1991, 779p.

KANMANI, P.; RHIM, J. W. Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 644-652, 2014.

KARAM, A. P. G. **Banana – diferença entre os tipos**. Disponível em: <<http://nutrianapaula.com.br/banana-diferenca-entre-os-tipos/>>. 2017 Acesso em 20 out. 2017.

KARTHIKEYAN, A.; SIVAKUMAR, N. Citric acid production by Koji fermentation using banana peel as a novel substrate. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 14, p. 5552-5556, 2010.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. London: Chapman and Hall, 1991, 532p.

KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v. 40, p. 47-59, 1986.

KEVERS, C. et al. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 8596 - 603, 2007.

KIM, S. J.; USTUNOL, Z. Sensory attributes of whey protein isolate and candelilla wax emulsion edible films. **J. Food Sci.**, n. 66, p. 899-903, 2001.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **J Am Diet Assoc.**, v. 50, n. 2, p. 213-8, 1999.

KIRUTHIKA, A.; PRIYADARZINI, T. K.; VELURAJA, K. Preparation, properties and application of tamarind seed gum reinforced banana fibre composite materials. **Fibers Polymers**, v. 13, p. 51-56, 2012.

KLAHORST, S. J. Applications: Credible Edible Films. **Food Product Design**. p. 1-6, 1999.

KOKOSZKA, S.; LENART, A. Edible coatings – formation, characteristics and use – a review. **Pol. J. Food Nutr. Sci.**, v. 57, n. 4, p. 399-405, 2007.

KROCHTA, J. M.; BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O. **Edible coatings and films to improve food quality**. Technomic, USA, 1994.

KVIEN, I.; TANEM, B. S.; OKSMAN, K. Characterization of cellulose whiskers and their nanocomposites by atomic force and electron microscopy. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 6, p. 3160-3165, 2005.

LEÃO, D. P. **Avaliação comparativa do potencial de farelo de trigo comercial e pericarpo de pequi como substratos na produção de fibras com capacidade antioxidante**. 2013. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Farmácia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LEE, E. et al. Development of banana peel jelly and its antioxidant and textural properties. **Food Sci. Biotechnol.**, v. 19, n. 2, p. 449-455, 2010.

LIZADA, M. C. et al. **Banana fruit development, postharvest physiology, handling and marketing in Ansean**. Boston, p. 65-84, 1990.

LOPES, L. D. **Desenvolvimento e avaliação de subprodutos de uva e sua utilização como ingrediente alimentício**. 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

LÓPEZ-CABALLENO, M. C. et al. A chitosan-gelatin blend as a coating for fish patties. **Food Hydrocolloids**. v. 19, p. 303-311, 2004.

LUVIELMO, M. DE M.; LAMAS, S. V. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8-15, 2013.

MACHADO, B. A. S.; NUNES, I. L.; PEREIRA, F. V.; DRUZIAN, J. I. Development and evaluation of the effectiveness of biodegradable films of cassava starch with nanocelulose as reinforcement and yerba mate extract as an additive antioxidant. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 2085-2091, nov, 2012.

MAIA, G. A. et al. Estudos sobre a maturação da banana (*Musa* spp.). **Cien. Agron.**, Fortaleza, v.7, n 1/2 p. 29-32, 1977.

MALI, S. et al. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, n. 60, p. 283-289, 2005.
MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MANICA, I. **Fruticultura Tropical 4: Banana**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1997. 485p.

MANIGLIA, B. C. **Elaboração de filmes biodegradáveis a partir do resíduo da extração do pigmento de Cúrcuma**. 2012. 172f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2012.

MANSON, J. A.; SPERLING, L. N. **Polymer blends and composites**. New York: Plenum Press, 1976.

MARTELLI, M. R., BARROS, T. T., MOURA, M. R., MATTOSO, L., ASSIS, O. B. G. Effect of chitosan nanoparticles and pectin content on mechanical properties and water vapor permeability of banana puree films. **Journal of Food Science**. n. 78, p. 98-104, 2013.

MARTINEZ, S. et al. Cyclic voltammetry study of plasma antioxidant capacity – Comparison with the DPPH and TAS spectrophotometric methods. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 588, n. 1, p. 68-73, 2006.

MARTIÑON, M. E. et al. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4°C. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 341-350, 2014.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H. N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. **J. Food Eng.**, n. 72, p. 85-91, 2006.

MELO, A. A. M. **Efeito de filme ativo incorporado com óleo. Essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) na conservação de carne de frango resfriada**. 2010. 221f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Goiânia, 2010.

MEMON, J. R. et al. Characterization of banana peel by scanning electron microscopy and FT-IR spectroscopy and its use for cadmium removal. **Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces**, v. 66, n. 2, p. 260-265, 2008.

MIGUEL, A. C. A. **Uso de película comestível, cloreto de cálcio e ácido ascórbico para a conservação do melão Amarelo minimamente processado**. 2008. 195f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MOLINA, F. M. P. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido e farinha de banana reforçados com nanofibras de celulose**. 2013. 247f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2013.

MOTA, R. V. et al. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch/starke**, v. 52, p. 63-68, 2000.

MONTAÑO-LEYVA, B. et al. Biocomposites from wheat proteins and fibers: Structure/mechanical properties relationships. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 545-555, 2013.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 5, p. 1328-1333, 2009.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **J Chromatogr A**, v. 1054, n. 1/2, p. 95-111, 2004.

NAPONUCENA, L. O. M. **Muffins embalados em revestimentos comestíveis de fécula de mandioca aditivados com compostos naturais ativos: desenvolvimento e estabilidade**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia – Faculdade de Farmácia, Salvador, 2014.

NEPA, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl. -- Campinas: NEPA- UNICAMP, 161p, 2011.

NETO, J. M. M. et al. Componentes químicos da farinha de banana (*Musa* sp.) obtida por meio de secagem natural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 316-318, 1998.

NINSUNG, P. et al. Compositions, morphological and thermal properties of green banana flour and starch. **Kasetsart Journal**, v. 41, p. 324-330, 2007.

OBEROI, H. S. et al. Ethanol production from banana peels using statistically optimized simultaneous saccharification and fermentation process. **Waste Management**, v. 31, n. 7, p. 1476-1584, 2011.

OLIVEIRA, L. M. et al. **Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, 1996. 219 p. apud RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006, 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim, RS, 2006.

OLIVEIRA, M. H.; CANTERI, M. H. G.; NASCIMENTO, R. F. Efeito do tratamento térmico no teor de compostos fenólicos em farinhas vegetais. In: SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Ponta Grossa, PR, 2017 Disponível em <http://saeq.pg.utfpr.edu.br/artigos/2017/article_mariel_maria.pdf>. Acesso em 14 out. 2017.

OLIVEIRA E SILVA, S. et al. Banana breeding program at Embrapa. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 399-436, 2001.

OOI, Z. X.; ISMAIL, H.; BAKAR, A. A., AZIZ, N. A. A. Properties of the Crosslinked Plasticized Biodegradable Poly(vinyl alcohol)/Rambutan Skin Waste Flour Blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, p.1127-1135, 2012.

ORIANI, V. B. **Desenvolvimento e caracterização de coberturas comestíveis à base de fécula de mandioca adicionadas de óleos essenciais**. 2013. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2013.

ORMENESE, R. C. S. C. **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios**. 2010. 182f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2010.

OSAWA, C. C.; FONTES, L. C. B.; WALTER, E.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Avaliação físico-química de bolo de chocolate com coberturas comestíveis à base de gelatina, ácido esteárico, amido modificado ou cera de carnaúba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 92-99, 2009.

OSORIO, F. A. *et al.* Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 287-293, 2011.

OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SALMIÉARI, S.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Antimicrobial and Antioxidant Effects of Milk Protein-Based Film Containing Essential

Oils for the Preservation of Whole Beef Muscle. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 18, p. 5598-5605, 2004.

OVANDO-MARTINEZ, M. et al. Unripe banana flour as an ingredient to increase the indigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v.113, p. 121-126, 2009.

PACHECO-DELAHAYE, E. et al. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. **Interciência**, v. 33, n. 4, p. 290-296, 2008.

PARK, S.; ZHAO, Y. Development and characterization of edible films from cranberry pomace extracts. **Journal of Food Science**, v. 71, p. 95-101, 2006.

PAULESKI, D. T. et al. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 157-170, 2007.

PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

PELISSARI, F. M. et al. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 681-690, 2013.

PEREDA, M.; AMICA, G.; MARCOVICH, N. E. Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1318-1325, 2012.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for Human health. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, n. 3, p. 149-163, 2014.

PEREIRA, G. A. **Estudo dos parâmetros de extração de compostos fenólicos e avaliação da atividade antioxidante in vitro da banana (*Musa* sp.)**. 2015. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2015.

PEREIRA, L. C. L. **Desenvolvimento de filmes ativos antioxidantes de PVA incorporado com extrato do farelo da amêndoa de cacau**. 2017. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga, BA, 2017.

PEREIRA, M. C. A. **Efeito das farinhas de polpa e de casca de banana e do fermentado de quefir nos níveis glicêmicos e lipídêmicos de ratos**. 2007. 149f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, 2007.

PÉREZ-GAGO, M. B.; NADAUD, P.; KROCHTA, J. M. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. **Journal of Food Science**, v. 64, n. 6, p. 1034-1037, 1999

PÉREZ-GALLARDO et al. Effect of starch-beeswax coatings on quality parameters of blackberries (*Rubus* spp.). **J Food Sci Technol**, v. 52, n. 9, p. 5601-5610, 2015.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J. et al. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. **Food Research International**, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. **Food Research International**, v. 39, n. 7, p. 791-800, 2006.

PILON, L. et al. Chitosan nanoparticle coatings reduce microbial growth on fresh-cut apples while not affecting quality attributes. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 50, p. 440-448, 2015.

PINELO, M.; ARNOUS, A.; MEYER, A. S. Upgrading of grape skin: significance of plant cell-wall structure components and extraction techniques for phenol release. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, n. 11, p. 579-590, 2006.

PITAK, N.; RAKSHIT, S. K. Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self sealing films used for preserving fresh-cut vegetables. **F Sci Technol**, v. 44, p. 2310-2315, 2011.

RAJEEV, K. S. et al. Cellulase production using biomass feed stock and it's application in saccharification for bio-ethanol production. **Renewable Energy**, Oxford, v. 34, p. 421-424, 2009.

RAMOS, O. et al. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 110-122, 2013.

REBELLO, L. P. G. et al. Flour of banana (*Musa AAA*) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, v. 55, p. 397-403, 2014.

REDDY, N., YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. **Trends in Biotechnology**, v. 23, n. 1, p. 22-27, 2005.

RHIM, J. W.; WU, Y.; WELLER, C. L.; SCHNEPF, M. Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propyleneglycol alginate. **J. Food Sci.**, n. 64, p. 149-152, 1999.

RICARDO-RODRIGUES, S. et al. Effect of chitosan and acetic acid on postharvest storage of table grapes. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 40, p. 246-253, 2017.

RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006, 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim, RS, 2006.

RODRÍGUEZ-MARÍN, M. L. et al. Nanocomposites of rice and banana flours blend with montmorillonite: Partial characterization. **Mater Sci Eng C**, v. 33, p. 3903-3908, 2013.

ROMELLE, F. D; RANI, A. P.; MANOHAR, R. S. Chemical composition of some selected fruit peels. **European Journal of Food Science and Technology**, v. 4, n. 4, p. 12-21, 2016.

ROMERO-BASTIDA, C. A. et al. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. **Carbohydrate Polymers**, p. 235–244, 2005.

ROSA, D. S.; FRANCO, B. L. M.; CALIL, M. R. Biodegradabilidade e propriedades mecânicas de novas misturas poliméricas. **Polímeros**, v.11, n. 2, p. 82-88, 2001.

ROSA, M. F. et al. Plásticos Biodegradáveis à Base de Amido Reforçados com Fibras de Coco. Circular Técnica, 30. **Embrapa Agroindústria Tropical**, 1^a ed., 2010.

ROSSO, G. A. **Estudo dos parâmetros de extração de compostos fenólicos e avaliação da atividade antioxidante in vitro da banana (*Musa sp.*)**. 2009. 164f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2009.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS⁺ - Comunicado técnico 128**. 1 ed., EMBRAPA, Fortaleza, 2007.

RUFINO, M. S. M. **Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais**. 2008. 263f. Tese (Doutorado em Agronomia Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2008.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry** v. 121, p. 996-1002, 2010.

SANTANA, M. C. C. B. et al. The incorporation of annatto as antioxidant additive based biodegradable packaging chitosan. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 544-550, 2013.

SANTOS, J.C. et al. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 219-224, 2010.

SANTOS, F. M. S. **Utilização de quitosana no revestimento de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e na preparação de filmes incorporados com óleos essenciais**. 2014. 149f. Tese (Doutorado em Bioquímica e Fisiologia) – Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Ciências Biológicas, Recife, 2014.

SAIFULLAH, R. et al. Utilization of Green flour as a functional ingredient in yellow noodle. **International Food Research Journal**, v. 16, p. 373-379, 2009.

SARAWONG, C. et al. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. **Food Chemistry**, v. 143, p. 33-39, 2014.

SARTORI, T. **Incorporação de antioxidante microencapsulado em filme de amido de banana verde**. 2014. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2014.

SASSI, C. P. et al. **Modelos de regressão linear múltipla utilizando os softwares R e Statistica: uma aplicação a dados de conservação de frutas**. ICMC – USP – CP668 São Carlos/SP, 2011. Disponível em <http://conteudo.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_377.pdf>. Acesso em 02 fev. 2018.

SATYANARAYANA, K.G.; ARIZAGA, G.G.C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers - an overview. **Progress in Polymer Science**, v. 34, n. 9, p. 982-1021, 2009.

SCARTAZZANI, L. **Elaboração de cobertura comestível a partir de resíduo à base de gelatina e avaliação da sua aplicação em *physalis* (*Physalis peruviana* L.)**. 2014. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2014.

SCHMIDT, V. C. R. et al. Water vapor barrier and mechanical properties of starch films containing stearic acid. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 227-234, 2013.

SCHNEEMAN, B. O. Soluble and insoluble fiber-different physiological response. **Food Technology**, v. 2, p. 81-82, 1987.

SCRAMIN, J. A. et al. Characterisation of zein oleic acid films and applications in fruit coating. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 10, p. 2145-2152, 2011.

SGANZERLA, W. G.; VEECK, A. A. L. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis a base de amido de pinhão e pectina cítrica contendo farinha da casca de goiaba serrana (*Acca sellowiana*)**. 2017. Disponível em <<http://docente.ifsc.edu.br/michael.nunes/MaterialDidatico/Analises%20Quimicas/TC%20II/TCC%202017%201/William%20Sganzerla.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2018.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications**. Lancaster: Technomic; 1995.

SHIT, S. C.; SHAH, P. M. Edible polymers: Challenges and Opportunities. **J Polym**, v. 2014, p.1-13, 2014.

SILVA, A. F. **Revestimentos comestíveis na aplicação em melancia e melão: adição do adjunto óleo de buriti e vida de prateleira**. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Gurupi, 2017.

SILVA, C. P. et al. Chemical composition and antioxidant activity of jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) flour. **Food Sci. Technol**, v. 34, n. 3, p. 597-603, 2014.

SILVA, E. M. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. 53. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SIMMONDS, N. W. **Los plátanos**. Barcelona: Blume, 1973. 539p.

SIMMONDS, N. W.; SHEPHERD, K. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. **The Journal of the Linnean Society of London**, London, v. 55, p. 302-312, 1955.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 219-231, 2003.

SINGH, J. P. et al. Composition, bioactive compounds and antioxidant activity of common Indian fruits and vegetables. **Food Sci Technol**, v. 53, n. 11, p. 4056-4066, 2016.

SIRACUSA, V. et al. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 12, p. 634-643, 2008.

SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.

SOMEYA, S.; YOSHIKI, Y.; OKUBO, K. Antioxidant compounds from bananas (*Musa cavendish*). **Food Chemistry**, v. 79, n. 3, p. 351-354, 2002.

SOTHORNVIT, R.; PITAK, N. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. **Food Research International**, v. 40, p. 365-370, 2007.

SOUZA, B. W. S. et al. The use of electric fields for edible coatings and films development and production: a review. **Food Eng Rev**, v. 2, p. 244-255, 2010.

SOUZA, S. J. et al. Propriedades Antioxidantes e antimicrobianas de filmes de amido contendo extrato de própolis, p. 1800-1805. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]**. São Paulo: Blucher, 2015.

STEWART, P. A.; HEARN, J.; WILKINSON, M. C. An overview of polymer latex film formation and properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 195-267, 2000.

STOLL, L. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis com antioxidantes extraídos a partir de bagaço de uva, um resíduo da indústria vitivinícola**. 2015. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

STORCK, C. R. et al. Leaves, stalk, peel and seeds of vegetables: nutritional composition, utilization and sensory analysis in food preparations. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 537-543, 2013.

SUEIRO, A. C. et al. Biodegradable films of cassava starch, pullulan and bacterial cellulose. **Quim. Nova**, v. 39, n. 9, p. 1059-1064, 2016.

SULAIMAN, S. F. et al. Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa sp*), **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 1-10, 2011.

TAVASSOLI-KAFRANI, E.; SHEKARCHIZADEH, H.; MASOUDPOUR-BEHABADI, M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 360-374, 2016.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. **McGraw-Hill**, New York, p. 3-22, 1993.

TEDERKO, A. Edible food packages. **Przem. Spoż.**, v. 9, p. 343-345, 1995.

TEIXEIRA, E. M. et al. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, n. 3, p. 422-431, 2009.

THARANATHAN, R. Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, p. 71-78, 2003.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar. **Polímeros**, v. 12, n. 4, p. 228-239, 2002.

TORRES, L. L. G. et al. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

TRIBESS, T. B. et al. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT- Food Science and Technology**, v. 42, p. 1022-1025, 2009.

TRIGO, J. M. et al. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 125-133, 2012.

TSAMO, C. V. P. et al. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). **Food Chemistry**, v. 167, p. 197-204, 2015.

VALENCIA-CHAMORRO, S. A. et al. Curative and preventive activity of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite coatings containing antifungal food additives to control citrus postharvest green and blue molds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 2770-2777, 2009.

VARGAS, B. C. et al. Composição físico-química de farinha de casca e de polpa de banana verde. In: XVI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, São José dos Campos, SP, 2012. Disponível em <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2012/anais/arquivos/0789_0753_01.pdf>. Acesso em 14 out. 2017.

VÉLEZ, H. A. V. **Aplicações de secagem para o aproveitamento de resíduos da banana, visando sua aplicação na indústria**. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, - São José do Rio Preto, 2011.

VILLADIEGO, A. M. D. **Desenvolvimento de um revestimento comestível antimicrobiano a base de amido de inhame com quitosana na conservação da cenoura minimamente processada**. 2004. 128f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

VILLADIEGO, A. M. et al. Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. **Revista CERES**, Viçosa, MG, v. 52, n. 300, p. 221-243, 2005.

VON LOESECKE, H. W. Bananas (2nd ed). **New York: Interscience Publishers**, p. 52-66, 1950.

WANG, Y. et al. Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition color, texture and sensory quality in two types of snacks. **LWT-Food Science and Technology**, v. 47, p. 175-182, 2012.

WANG, Q. et al. Antioxidant activity and physicochemical properties of chitosan films incorporated with *Lycium barbarum* fruit extract for active food packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 458-464, 2015.

WHITEMAN, G. R.; WESTON, G.; ROSENTHAL, H. **Process of coating food**. US n. PI 3, 556,814, 1971.

WILAIPON, P. The effects of briquetting pressure on banana-peel briquette and the banana waste in Northern Thailand. **American Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 1, p. 167-171, 2009.

WILKINS, M. R. Effect of orange peel oil on ethanol production by *Zymomonas mobilis*. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 538-541, 2009.

WITTAYA T. Microcomposites of rice starch film reinforced with microcrystalline cellulose from palm pressed fiber. **International Food Research Journal**, v. 16, n. 4, p. 493 – 500, 2009.

YANG, L.; PAULSON, A. T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**, v. 33, n. 7, p. 571-578, 2000.

YOSHIDA, C. M. P.; ANTUNES, A. J. Characterization of Whey Protein Emulsion Films. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, n. 21, p. 247-252, 2004.

YOSHIDA, C.M.P., ANTUNES, A. J. Aplicação de filmes proteicos à base de soro de leite. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 420-430, 2009.

ZACTITI, E. M.; KIECKBUSCH, T. G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 3, p. 462-467, 2006.

ZHANG, P. et al. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility: a review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 59, p. 443-458, 2005.

ZIN, Z. M. et al. Antioxidative activities of chromatographic fractions obtained from root, fruit, and leaf of Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.). **Food Chemistry**, v. 94, p. 169-178, 2006.