



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PEDRO EVERARDO FERREIRA MELO**

**ELABORAÇÃO DE FILMES ATIVOS A PARTIR DE COMPOSTOS DE  
AMÊNDOA DE MANGA**

**FORTALEZA**

**2018**

PEDRO EVERARDO FERREIRA MELO

ELABORAÇÃO DE FILMES ATIVOS A PARTIR DE COMPOSTOS DA AMÊNDOA  
DE MANGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Área de concentração: Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo.

Coorientador: Prof. Dr. Edy Sousa de Brito.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M486e Melo, Pedro Everardo Ferreira.  
Elaboração de filmes ativos a partir de compostos de amêndoa de manga. / Pedro Everardo Ferreira Melo. – 2018.  
107 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo.  
Coorientação: Prof. Dr. Edy Sousa de Brito.

1. Filme ativo. 2. Amido de manga. 3. Resíduo agroindustrial. I. Título.

CDD 660

---

PEDRO EVERARDO FERREIRA MELO

ELABORAÇÃO DE FILMES ATIVOS A PARTIR DE COMPOSTOS DA AMÊNDOA  
DE MANGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Área de concentração: Processos Químicos e Bioquímicos.

Aprovada em: 09 / 08 / 2018 .

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo (Orientadora)  
Embrapa Agroindústria Tropical / Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Edy Sousa de Brito (Coorientador)  
Embrapa Agroindústria Tropical / Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Men de Sá Moreira de Souza Filho  
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

---

Dr.<sup>a</sup>. Fábيا Karine Andrade  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha mãe, Meire Ferreira Melo.

À minha avó, Maria Ferreira.

Ao meu parceiro, Douglas Gomes.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de realização deste curso de mestrado. E também pela força para finalização desta dissertação, fruto de muito trabalho, lágrimas e noites sem dormir. A ti dedico a minha vitória nessa etapa da vida. Obrigado.

À minha família, especialmente à minha mãe Meire Ferreira Melo e minha avó Maria Ferreira, pelo apoio em casa e por palavras de força e fé. E pelo exemplo de mulher guerreira e humilde que vocês são. Amo vocês. E também a minha cadela Bella Melo que todos os dias em que estive pra baixo ela me animou com suas brincadeiras e nas horas de dedicação a dissertação esteve do meu lado.. dormindo, mas ao meu lado. Te amo sempre amor.

À minha orientadora Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo pela orientação na pesquisa e por ser sempre solícita nos momentos de dúvidas durante a elaboração deste trabalho. Obrigado por tudo ette, você é uma ótima orientadora. E pelos quitutes que levava às festinhas do laboratório, saudades do bolo búlgaro. Sucesso sempre.

Ao meu coorientador Edy Sousa de Brito por todas as sugestões e ajudas prestada para melhorar meu trabalho, e pelas poucas vezes que o procurei e que foi solícito e me tirou as duvidas. E por ter assumido minha orientação na reta final. Obrigado Edy, sucesso pra você!

Ao Douglas Gomes, por ter sido a surpresa mais linda e intensa na minha vida, por ter me proporcionado tantos momentos maravilhosos e incríveis, com muito amor e carinho, por me apoiar nas minhas decisões, pelas palavras de apoio nos momentos em que me vi ansioso/nervoso, por ser a segurança que eu precisei/preciso ter nas horas de desespero, por estar ao meu lado, por ser um companheiro (mesmo quando estou fisicamente longe) e por ser esse homem tão extraordinariamente incrível e lindo (em todos os sentidos), tenho muito orgulho de você e de ter você ao meu lado. Te Amo.

Aos amigos LINDOS Elígenes Sampaio, Matheus Oliveira, Jéssica Silva, Marques Neto, Yana Luck e Grazielly Lima, por todas as risadas, tretas, brincadeiras, companheirismo, apoio acadêmico, festinhas, comidas, dietas e tudo mais que vivemos

e ainda temos para viver com esse Clodo Team que só me trouxe felicidades e muito amor. Amo vocês.

À família maravilhosa que me acolheu no período em que tive que escrever minha dissertação, e cuidou tão bem de um “estranho” refugiado de Fortaleza. Maria Gerismar (Mariia Mamãe!), José Alencar, Hebbehleny Khrystinnah e Mariah Isis, vocês são muito especiais na minha vida e tenho por vocês um carinho imenso. Obrigado principalmente pelo feijão e pelas boas horas de conversas. Beijos em cada um.

À Lilian Alexandre, por toda a ajuda com as análises realizadas para aperfeiçoar este trabalho, caronas e conversas acompanhadas de muitos conselhos que levarei para a vida. Muito obrigado por toda ajuda e palavras que me ajudaram a amadurecer profissional e principalmente como pessoa. Desejo-lhe muita saúde e paz minha amiga, acredite sempre que tudo dará certo. Levarei essa amizade no coração por muitos e muitos anos, te adoro e muito obrigado.

À Lídia de Araújo, por todos os dias em que precisei de injeções de ânimo e você prontamente estava ali para alegrar meus dias, pelos conselhos (nem sempre dentro da normalidade), mas que eu guardarei com muito apreço, as caronas icônicas que dariam para escrever um livro de aventuras vividas nas avenidas Jovita Feitosa/Treze de Maio. E principalmente por toda a ajuda prestada nas horas em que eu mais precisei e você de imediato estava ao meu lado (independentemente da situação) para me auxiliar. Você é um ser humano incrível e que eu tenho muito orgulho de ter conhecido, desejo a você muito sucesso e saúde, te amo “bisa”.

À Priscila Monteiro por ter me recepcionado na chegada ao Laboratório de Tecnologia da Biomassa e ter me ajudado muito durante a pesquisa e principalmente depois. Pri, você é uma pessoa extremamente especial, não mude seu jeito de ser nunca. Muito obrigado por tudo, foi uma honra trabalhar contigo. Beijos.

Ao Marque Neto, “migles” sua ajuda foi de grande valia para a conclusão deste trabalho, muito obrigado pela solicitude ao me ajudar com as muitas dúvidas durante o período de tratamento de dados e composição desta dissertação. Você é um cara sensacional, continue sempre assim, disposto a ajudar e humilde de coração, conte comigo sempre. E desculpa pelas perturbações aos fins de semana para falar de estatística. KK Grande abraço “chico neto”, sucesso sempre.

À Vitória Oliveira por ter me auxiliado em boa parte do desenvolvimento do trabalho e pelas dicas para lidar com o amido. Vit, muito sucesso para você. Te adoro

muito e ainda vou te perturbar muito, rsrs. Uma vez “team amido”, sempre “team amido”. Beijão.

À Natalia Moura, pelas horas de lanches divertidas e conversas cheias de “cearês” que até Deus fica sem entender. E pelos “epaa, caiu um negócio aqui... pera..”, “shiiu. calaboca...”. Rsrs Você é minha “bandida” preferida, obrigado por tudo meu bem. E principalmente pela torcida, pelo apoio nas manhãs em que eu chegava esmorecido. Levarei seu bom humor e amizade comigo por muitos anos a fio. Muito obrigado. Desejo-lhe tudo de mais maravilhoso nessa vida arretada. Um beijão enorme.

Às bolsistas de Iniciação Científica INCRIVEIS que me ajudaram nas horas de sufoco mesmo não tendo nenhuma obrigação comigo e minha pesquisa, Daniele Carneiro e Ana Angel, vocês são maravilhosas e exemplos de profissionais que os laboratórios de pesquisa necessitam. Obrigado por tudo meninas, sucesso no curso de vocês e força para lutar até o ultimo semestre, um beijo grande.

Às amigas de lutas durante as análises Vanessa Pereira, Vivânia Alves, Priscila Monteiro, agradeço pela ajuda prestada e conhecimentos compartilhados, e não muito menos importante a companhia na hora da leituras. Obrigado minha gente, e vamos com força e fé.

Ao Adriano Matos, pelos conselhos prestados, análises realizadas, ensinamentos compartilhados e principalmente a força com as correções da dissertação na reta final. “Big boss!”, muito sucesso para você e paciência também, que Deus conserve seu bom humor. Obrigado pela ajuda prestada para melhorar esta pesquisa. Grande abraço.

À Viviane Barros, pelas horinhas de papo pelo laboratório e pelas boas gargalhadas, pela companhia na hora do almoço e principalmente pela paciência e ajuda prestada a mim no desenvolvimento dessa dissertação e na correção da mesma. Espero você em Brasília pra gente bater perna. Tudo de melhor para você sempre vivi, obrigado pela força. Beijões.

Aos demais colegas Andressa Pâmela, Hálisson Lucas, Juliana Fernandes, Amanda Kelly, Letícia Holanda, Débora Almeida, Nayane Ximenes, Francisco Aldo, Nágila Freitas, Maria do Livramento, Niedja Fittipaldi, Francisco Avelino, Izabel Nogueira, Cristine Vidal, André Pereira, Edna Cordeiro, Fábila Andrade, Tani Moreira, Alinne Rodrigues, Vanessa Abreu, Aurélio Pinheiro, Lyndervan Alcântara, Lorena Alves, Michael Felipe, Paulo Hiago e aos demais colegas do Laboratório de Tecnologia



da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical que ajudaram de forma direta ou indireta no desenvolvimento deste trabalho. Desejo sucesso a todos nós.

Aos amigos do Laboratório de Laticínios do departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará em especial a Gleice Gadelha, Luiza Santana, Gizele Almada, Paulo Maciel, Katarina Mateus, Elidiane Amaral, Layanne Maciel e a grande tutora de todos nós Prof<sup>a</sup>. Juliane Döering. Muito obrigado a todos pelos pouco mais de dois anos de muito ensinamento, força, companheirismo e amor. Beijos.

Aos colaboradores do Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais da Embrapa Agroindústria Tropical, em especial aos técnicos Paulo Riceli e Lorena Mara e aos bolsistas Oiram Filho, Caroline Gondim, Letícia Sales que sempre estiveram disponíveis para ajudar nas análises e dúvidas do processo. Obrigado pessoal.

Aos colaboradores do Laboratório de Processamento Agroindustrial da Embrapa Agroindústria Tropical, em especial a pesquisadora Janice Lima. Aos técnicos Arthur Cláudio e Claudia Oliveira. E aos bolsistas Mayara Goiânia, Bruno Damiano e Thiago Frois. Que foram essenciais para realizar todo o processamento de muitos quilos de manga em tão pouco tempo. Obrigado pela ajuda de todos.

Aos amigos da turma de mestrado, em especial Ailton Freitas, Virgínia Ramalho, Sarah Frota e Márcia Cavalcante. E aos demais que foram solícitos e ajudaram nos momentos de tanto sofrimento durante as disciplinas cursadas. Muito obrigado pela ajuda e ensinamentos prestados.

À minha melhor, melhor amiga que está ao meu lado desde o início da graduação, Dandara Brasil, que mesmo longe estava/está sempre perto e emanando boas energias. Te amo muito e deixo aqui registrado meu agradecimento por todos esses anos e os próximos que virão. E não esquecendo a família Brasil, Vanusa Lima, Hélder Brasil e Odara Brasil pessoas tão importantes na minha vida. Amo vocês.

Aos pesquisadores da Embrapa Agroindústria Tropical, Morsyleide Rosa, Men de Sá e Edy Sousa, por aceitarem o convite para compor a banca de avaliação de qualificação deste trabalho. Obrigado por todas as sugestões para melhoria do trabalho.

Aos membros da banca de defesa de mestrado, Fábria Andrade e Men de Sá, por terem aceitado compor a banca para avaliação do presente trabalho. E ao meu

Coorientador Edy Brito por assumir a defesa. Espero ter conseguido atender as expectativas de vocês.

Às demais pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta e que por falta de memória eu tenha esquecido, sintam-se agradecidas pela ajuda prestada a mim, sucesso a vocês.

À Embrapa Agroindústria Tropical pela estrutura e materiais cedidos para realização do trabalho.

À Central Analítica e ao Laboratório de Raios-X da Universidade Federal do Ceará pelas análises realizadas para engrandecimento desta pesquisa.

À CAPES, pelo suporte financeiro por meio da bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pela oportunidade de ter realizado o curso de mestrado.

A todos, o meu sincero agradecimento.

*“Sou uma mulher de poucas vaidades e de muita responsabilidade. Tudo que diz respeito ao meu trabalho depende diretamente da minha força de vontade e dedicação.”*

*(Ivete Sangalo)*

## RESUMO

O resíduo gerado pela agroindústria muitas vezes é descartado de forma indevida no meio ambiente, o que gera poluição e representa desperdício de recursos. Visando o reaproveitamento integral de material rico em compostos de alto valor agregado e aplicação do conceito de biorrefinaria, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da incorporação de gordura e extrato de fenólicos extraídos de amêndoa de manga (*Mangifera indica L.*), cv. Tommy Atkins, sobre as propriedades de filmes de amido (também extraído de amêndoa de manga). Foi definida uma sequência de extrações, iniciando com gordura, seguida do extrato de fenólicos e por fim o amido. Após a obtenção e caracterização de cada fração, foram elaborados os filmes. Foi utilizado um delineamento de misturas simplex centroide, o qual gerou dez tratamentos. Os filmes foram caracterizados quanto a propriedades de barreira ao vapor de água, mecânicas, térmicas e ópticas, atividade antioxidante e características morfológicas. Os rendimentos de cada fração foram respectivamente 11, 17 e 39% evidenciando a eficiência do processo sequencial com valores semelhantes aos citados em literatura. Em comparação ao filme controle de amido, o extrato de fenólicos promoveu melhorias para permeabilidade ao vapor de água, absorção de luz UV e alta atividade antioxidante, além de melhorar a elongação na ruptura e não alterar a superfície do filme apresentando-se lisa e homogênea quando comparada com a incorporação da gordura. A incorporação da gordura promoveu maior opacidade e redução na propriedade de módulo de elasticidade. A resistência à tração foi prejudicada com a incorporação individual e conjunta da gordura e dos fenólicos. Foi possível elaborar filmes ativos de amido com incorporação de gordura e extrato de fenólicos de amêndoa de manga com potencial para ser caracterizado como biodegradável.

**Palavras-chave:** Filme ativo; Amido de manga; Resíduo agroindustrial.

## ABSTRACT

The waste generated by agroindustry is often disposed of inadequately to the environment, which causes pollution and represents waste of resources. Aiming at the integral use of material rich in compounds with high added value and application of the concept of biorefinery, this work was focused on studying the effects of fat and phenolic extract from mango kernels (*Mangifera indica* L.), cv. Tommy Atkins, on the properties of mango kernel starch films. A sequence of extractions was defined, starting with fat, followed by the phenol extract and finally the starch. After obtaining and characterizing each fraction, the films were prepared. Ten treatments were generated from a simplex centroid mixture design. The films were characterized in terms of water vapor barrier, mechanical, thermal and optical properties, antioxidant activity and morphological characteristics. The yields of each fraction were respectively 11, 17 and 39% evidencing the efficiency of the sequential process with values similar to those cited in the literature. Phenolic extract promoted improvements in water vapor barrier, UV light absorption and antioxidant activity, and also improved elongation. The fat incorporation promoted a higher opacity and a reduction in elastic modulus. The tensile strength was impaired with the individual and combined incorporation of fat and phenolics. It was possible to elaborate active and potentially biodegradable mango kernel starch films by adding fat and phenolics.

**Keywords:** Active film; Mango starch; Agroindustrial wastes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Aspecto geral da Manga ( <i>Mangifera indica L.</i> ) cultivar Tommy Atkins .....	4
Figura 2	– Estrutura da Manga ( <i>Mangifera indica L.</i> ) cultivar Tommy Atkins, A- Fruto inteiro; B- Casca e polpa; C- Semente (composta por tegumento, películas e amêndoa) .....	6
Figura 3	– Representação das moléculas de amilose (A) e amilopectina (B) presentes no amido .....	11
Figura 4	– Estrutura organizacional do grânulo de amido .....	12
Figura 5	– Difratoogramas padrões de amidos tipo A e B .....	13
Figura 6	– Fluxograma geral e balanço de massa do processo de obtenção dos compostos (gordura, extrato de fenólicos e amido) a partir da farinha de amêndoa de manga .....	21
Figura 7	– Esquema do processo de extração da gordura de amêndoa de manga .....	22
Figura 8	– Esquema do processo de extração do extrato de fenólicos de amêndoa de manga .....	23
Figura 9	– Esquema do processo de extração de amido de amêndoa de manga .....	25
Figura 10	– Esquema das etapas do processo de obtenção do filme de amido obtido a partir de compostos da farinha de amêndoa de manga .....	30
Figura 11	– Espectro de FT-IR da gordura obtida a partir da farinha de amêndoa de manga .....	40
Figura 12	– Cromatograma obtido via UPLC-QTOF-MS para o extrato de fenólicos .....	42
Figura 13	– Foto micrografias de varredura do amido de manga com aumento de (A) 3000x e (B) 13000x .....	42
Figura 14	– Fotomicrografias de amidos de (A) milho aumentado em 800x e (B) mandioca aumentado em 5000x .....	43
Figura 15	– Difratoograma do amido de manga .....	45
Figura 16	– Espectro de FT-IR do amido de manga .....	46

Figura 17 – Curva termogravimétrica do amido de manga e sua respectiva derivada .....	46
Figura 18 – Curvas de contorno para as propriedades de resistência à tração ( $\sigma$ ) e módulo de elasticidade (E) .....	49
Figura 19 – Curva de contorno para permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ) .....	52
Figura 20 – Curvas de contorno para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $ABS_{UV}$ ) .....	55
Figura 21 – Espectros de FT-IR para os filmes ativos de manga T1, T2, T3 e T6 .....	60
Figura 22 – Termogramas dos filmes de amido T1, T2, T3 e T6 .....	62
Figura 23 – Curvas de DSC de filmes de amido T1, T2, T3 e T6 .....	63
Figura 24 – Fotomicrografias da superfície em contato com o ar atmosférico dos filmes de amido T1, T2, T3 e T6 com aumentos de (A) 1000x e (B) 3000x .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Produção de mangas no Brasil, dividido por região em 2016 .....	5
Tabela 2	– Comparativo da fração lipídica encontrada na amêndoa de diferentes cultivares de manga .....	8
Tabela 3	– Estudos de composição de gorduras de amêndoa de distintas cultivares de mangas .....	9
Tabela 4	– Composições das misturas de gordura, extrato de fenólicos e amido de manga (em componentes originais e pseudocomponentes) .....	27
Tabela 5	– Quantidades em massa dos componentes das emulsões filmogênicas .....	28
Tabela 6	– Rendimentos dos compostos da farinha de amêndoa de manga cv. Tommy	37
Tabela 7	– Resultados das porcentagens (m/m) dos parâmetros físico-químicos avaliados para farinha de amêndoa e amido de manga .....	38
Tabela 8	– Ácidos graxos identificados na gordura obtida a partir da farinha de amêndoa de manga da cultivar Tommy Atkins .....	40
Tabela 9	– Moléculas identificadas via UPLC-QTOF-MS presentes no extrato de fenólicos da amêndoa .....	41
Tabela 10	– Teor de polifenóis totais quantificado em farinha de amêndoa e extrato de fenólicos de manga .....	42
Tabela 11	– Respostas e desvios-padrões das propriedades mecânicas resistência à tração, alongação na ruptura e módulo de elasticidade dos filmes de amido	48
Tabela 12	– Coeficientes de regressão e análise de variância dos modelos de delineamento de misturas para propriedades mecânicas .....	48
Tabela 13	– Respostas e desvios-padrões para permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ) ..	51
Tabela 14	– Coeficientes de regressão e análise de variância do modelo de delineamento de misturas para permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ) .....	52
Tabela 15	– Respostas e desvios-padrões para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $ABS_{UV}$ ) .....	54



Tabela 16 – Coeficientes de regressão e análise de variância dos modelos de delineamento de misturas para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $ABS_{UV}$ ) .....	55
Tabela 17 – Respostas e desvios-padrões para a atividade antioxidante (AA) .....	57
Tabela 18 – Coeficientes de regressão e análise de variância do modelo de delineamento de misturas para atividade antioxidante (AA) .....	58
Tabela 19 – Temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), fusão ( $T_m$ ) e entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos filmes ativos de amido .....	63

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Manga .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Resíduo agroindustrial .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Compostos com valor agregado em amêndoa de manga .....</i></b>	<b>24</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b><i>Gordura .....</i></b>	<b>25</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b><i>Extrato de fenólicos .....</i></b>	<b>26</b>
<b>3.2.1.3</b>	<b><i>Amido .....</i></b>	<b>28</b>
<b>3.2.1.3.1</b>	<b><i>Propriedades de gelatinização e retrogradação .....</i></b>	<b>30</b>
<b>3.2.1.3.2</b>	<b><i>Amidos de fonte alternativa .....</i></b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Embalagens .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Embalagens Ativas .....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.3.1.1</b>	<b><i>Filmes com ação antioxidante .....</i></b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Obtenção da matéria prima .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Obtenção da gordura de manga .....</i></b>	<b>38</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Obtenção do extrato de fenólicos de manga .....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Obtenção de amido de manga .....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Rendimentos .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3</b>	<b>Elaboração dos filmes de amido de manga .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Delineamento estatístico para elaboração de filmes ativos de amido .....</i></b>	<b>44</b>
<b>4.3.2</b>	<b><i>Metodologia de elaboração dos filmes ativos de amido .....</i></b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Caracterizações .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4.1</b>	<b><i>Parâmetros físico-químicos .....</i></b>	<b>47</b>
<b>4.4.2</b>	<b><i>Determinação da composição em ácidos graxos em gordura de manga .....</i></b>	<b>48</b>
<b>4.4.3</b>	<b><i>Polifenóis totais em extrato de fenólicos .....</i></b>	<b>48</b>
<b>4.4.4</b>	<b><i>Confirmação estrutural via UPLC-QToF-MS<sup>E</sup> do extrato de fenólicos .....</i></b>	<b>48</b>
<b>4.4.5</b>	<b><i>Difração de raios-X (DRX) .....</i></b>	<b>49</b>
<b>4.4.6</b>	<b><i>Propriedades mecânicas .....</i></b>	<b>50</b>
<b>4.4.7</b>	<b><i>Permeabilidade ao vapor de água (P<sub>VA</sub>) .....</i></b>	<b>50</b>
<b>4.4.8</b>	<b><i>Atividade antioxidante (AA) .....</i></b>	<b>50</b>

4.4.9	<i>Opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta (ABS<sub>UV</sub>)</i> .....	51
4.4.10	<i>Espectrofotometria no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i> .....	52
4.4.11	<i>Análise termogravimétrica (TGA)</i> .....	52
4.4.12	<i>Calorimetria exploratória diferencial (DSC)</i> .....	52
4.4.13	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i> .....	53
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	54
5.1	<b>Rendimentos</b> .....	54
5.2	<b>Caracterização dos materiais</b> .....	55
5.2.1	<i>Parâmetros físico-químicos</i> .....	55
5.2.2	<i>Gordura de amêndoa de manga</i> .....	56
5.2.3	<i>Extrato de fenólicos de amêndoa de manga</i> .....	58
5.2.4	<i>Amido de amêndoa de manga</i> .....	59
5.2.5	<i>Filmes de amido de manga</i> .....	64
5.2.5.1	<i>Propriedades mecânicas</i> .....	64
5.2.5.2	<i>Permeabilidade ao vapor de água (P<sub>VA</sub>)</i> .....	68
5.2.5.3	<i>Opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta (ABS<sub>UV</sub>)</i> .....	70
5.2.5.4	<i>Atividade antioxidante (AA)</i> .....	74
5.2.5.5	<i>Espectrofotometria no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i> .....	76
5.2.5.6	<i>Análise termogravimétrica (TGA)</i> .....	78
5.2.5.7	<i>Calorimetria diferencial exploratória (DSC)</i> .....	80
5.2.5.8	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i> .....	81
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	84
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

Os plásticos provenientes de matérias-primas fósseis vêm por muitos anos sendo aplicados para elaboração de embalagens para alimentos. Apresentam boas propriedades de barreira e mecânicas, além de vantagens econômicas e de processamento industrial bem definido. Porém a demanda por materiais ecologicamente corretos tem aumentado devido aos problemas ambientais que o uso de polímeros derivados de petróleo acarreta, como acúmulo destes no ambiente devido ao elevado tempo de decomposição. Em termos ambientais, materiais de embalagem à base de biopolímeros podem ser empregados em substituição a materiais de polímeros sintéticos devido a sua capacidade de renovação e biodegradabilidade (SHAH et al., 2008).

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de substituir o uso de polímeros sintéticos por biopolímeros (CAETANO et al., 2018; AKYUZ et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018). Diversos compostos como amido, gelatina e quitosana têm sido estudados para estas aplicações por apresentarem biodegradabilidade e boas propriedades de formação de filmes. Essas substituições visam a classificação das embalagens como biodegradáveis, evidenciada quando sua degradação ocorre por ação de microrganismos ou processos enzimáticos em curto período (YATES e BARLO, 2013).

O amido, biopolímero abundante no ambiente, tem sido investigado e apresenta aplicação promissora frente aos demais compostos por apresentar vantagens como ampla disponibilidade e baixo custo de obtenção (VALDÉS et al., 2014). A utilização de fontes não alimentares para obtenção de amido para fins de elaboração de filmes é a opção mais coerente. Nesse contexto a obtenção de amido de resíduo agroindustrial é ambientalmente vantajosa, pois favorece a reutilização do resíduo rico em compostos de interesse e a não utilização de amido de fonte alimentar.

O resíduo da Manga (*Mangifera indica L.*) da cultivar Tommy Atkins foi escolhido para estudo devido a apresentar grande produção nacional, correspondente a 80% da área plantada com manga no Brasil (SILVA et al., 2014). Além disso, essa cultivar é fruto de melhoramento genético, no qual apresenta longa vida de prateleira em relação às demais e resistência mecânica a lesões (SIVAKUMER et al., 2011). O seu processamento resulta em resíduo composto por casca e semente (tegumento, película e amêndoa) correspondendo a cerca de 45% do fruto (PLANTOGRAM, 2015). A amêndoa presente na semente da fruta apresenta em sua composição mais de 50% de

amido, mostrando ser uma boa fonte alternativa do biopolímero (KAUR et al., 2004), 7% de gordura (SONWAI e KAPHUEAKNGAM, 2014) e 11 a 20% de compostos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonóides e elagitaninos) (SOGI et al., 2013; TORRES-LEÓN et al., 2016; DORTA et al., 2014). Tendo em vista a vasta composição da amêndoa, indústrias de biorrefinaria têm sido desenvolvidas para fracionamento e obtenção das partes de interesse industrial realizando o aproveitamento máximo do resíduo gerado no processamento de produtos alimentares.

Filmes de polissacarídeos, em especial à base de amido, apresentam boa formação e baixa permeabilidade ao oxigênio, além de alta transparência, ausência de odor e sabor (GARCIA et al., 2010). Contudo filmes de amido apresentam alta permeabilidade ao vapor de água por possuir alta hidrofiliabilidade. Com o intuito de melhorar suas características e aprimorar sua capacidade de garantir qualidade e segurança aos produtos alimentícios, pode-se empregar ao filme de amido de manga compostos como gorduras e extrato de fenólicos presente na própria amêndoa, a fim de aproveitar o resíduo quase que integralmente.

A gordura pode ser incorporada a fim de melhorar a propriedade de barreira aos vapores de água, pois esta tem a capacidade de reduzir a permeabilidade (RHIM e SHELLHAMMER, 2005). Fenólicos podem atuar como antioxidantes (DORTA et al., 2014), fornecendo ao filme propriedade ativa para prolongar a vida útil de produtos e retardar processos oxidativos. Embalagem ativa, por definição, é derivada da incorporação de compostos que interagem com o produto e/ou seu ambiente, a fim de aumentar sua qualidade e/ou segurança (ALMENAR, 2018).

Visando o reaproveitamento de resíduo agroindustrial do processamento da manga cultivar Tommy Atkins para aplicação do conceito de biorrefinaria, o presente trabalho tem como objetivo elaborar filme ativo a base de amido de manga com incorporação de gordura e extrato de fenólicos de manga, com o intuito de melhorar as propriedades de ação antioxidante, absorção de luz ultravioleta e de permeabilidade ao vapor de água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os efeitos de gordura e extrato de fenólicos extraídos de amêndoa de manga (*Mangifera indica L.*), cultivar Tommy Atkins, sobre as propriedades e potencial ativo de filmes de amido de amêndoa de manga.

### **2.2 Específicos**

Caracterizar amido, gordura e extrato de fenólicos extraídos da amêndoa de manga;

Avaliar a influência da incorporação da gordura e do extrato de fenólicos em filmes a base de amido de manga;

Determinar formulação de filme ativo a partir de compostos extraídos de amêndoa de manga, que apresente boas propriedades mecânicas e de barreira.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Manga

Manga (*Mangifera indica L.*) é um fruto pertencente à família das Anacardiaceae na ordem Sapindales, cultivada em diversas partes do mundo, mas mais eficiente em países de clima tropical. Existem mais de 1000 cultivares da fruta acessíveis no mundo. Dentre a vasta variedade deste fruto, apenas algumas são cultivadas em escala comercial (SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011). O gênero *Mangifera* possui por volta de 60 espécies, das quais a *Mangifera indica* é a mais relevante, apesar de outras espécies como, *M. altissima*, *M. caesia*, *M. lagenifera*, *M. macrocarpa* e *M. sylvatica* também produzirem frutos comestíveis (SANTOS-SEREJO, 2005).

A manga é um fruto bastante apreciado, especialmente devido ao seu aroma, sabor adocicado e sua aparência suculenta. Assim como diversos frutos, é rico em vitaminas, minerais e fibras. Ela é consumida principalmente *in natura* ou destinada ao processamento industrial resultando em sucos ou polpas, doces, geleias, sorvetes, licores e outros produtos amplamente comercializados. Na figura 1 é possível observar os aspectos visuais da manga cultivar Tommy Atkins.

Figura 1 – Aspecto geral da Manga (*Mangifera indica L.*) cultivar Tommy Atkins.



Fonte: CPT.

A produção mundial de manga é de aproximadamente 42 milhões de toneladas anualmente, sendo a Índia o maior produtor com mais de 1,5 milhão de toneladas por ano, sucedido por países como China, Indonésia, México, Quênia e Paquistão. Já na área de exportação o México lidera com mais de 287 mil toneladas por ano. A manga é a segunda fruta mais comercializada mundialmente e a quinta em produção total (FAOSTAT, 2017). O Brasil está entre os países que mais exportam a fruta, ocupa o

sexto lugar com cerca de 10% de sua produção destinada para este fim. A região do Vale do São Francisco é responsável por produzir 85% das frutas exportadas (Anuário Brasileiro da Fruticultura, 2017; OECD/FAO, 2015). Na tabela 1 encontram-se as quantidades de mangas produzidas no Brasil, dividido por região no ano de 2016 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 1 – Produção de mangas no Brasil, dividido por região em 2016.

<b>REGIÕES</b>	<b>ÁREA COLHIDA (ha)</b>	<b>PRODUÇÃO (t)</b>	<b>RENDIMENTO (Kg/ha)</b>
<b>Norte</b>	101	1.075	10.644
<b>Nordeste</b>	44.394	710.001	15.993
<b>Centro-oeste</b>	188	2.890	15.372
<b>Sudeste</b>	16.572	280.299	16.914
<b>Sul</b>	587	7.924	13.499
<b>Total do País</b>	61.842	1.002.189	72.362

Fonte: IBGE, 2017.

As principais cultivares de mangas produzidas são Espada, Rosa, Keitt, Tommy Atkins, Haden, Kent, Palmer e Van Dyke. Dentre essa diversidade de frutos comerciais, a Tommy Atkins corresponde a 80% da área cultivada no Brasil (SILVA et al., 2014). É resultante de pesquisas de seleção e melhoramento genético, sendo considerada a melhor cultivar para agricultores brasileiros. Apresenta vantagens como maior resistência a lesões e vida de prateleira longa em relação a demais cultivares comerciais (SIVAKUMER et al., 2011). No período de 2005 a 2006 em São Paulo, Minas Gerais e Nordeste foram processados 62500 toneladas de mangas. Desse total aproximadamente 35% eram da cultivar Tommy Atkins (FAVERO, 2008).

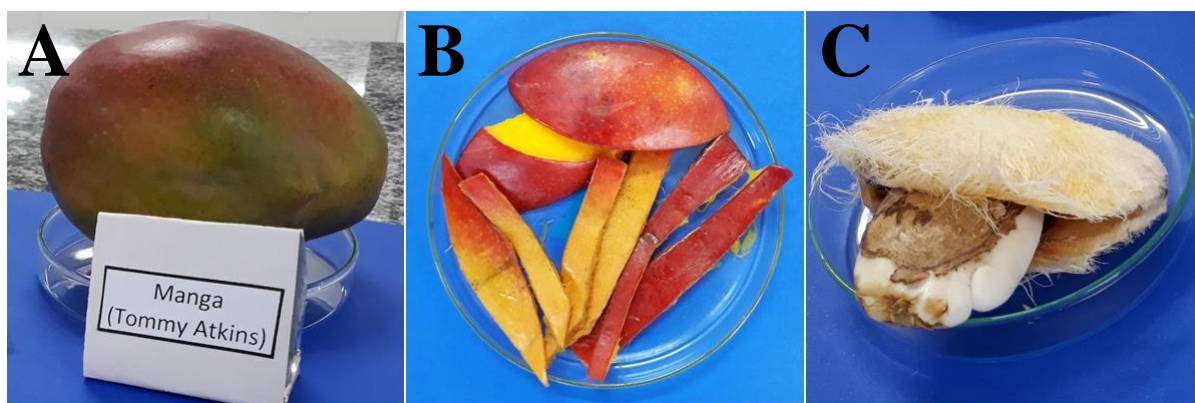
### **3.2 Resíduo agroindustrial**

Resíduos consequentes do processamento agroindustrial de produtos vegetais podem representar uma fonte significativamente poluidora, pois sem uma aplicação viável ou descarte ideal, muitas vezes são depositados diretamente no meio ambiente (VIEIRA et al., 2009). Estes substratos representam um grave problema, o material vegetal é susceptível à deterioração microbiana, o que causa problemas ambientais e sanitários quando lixiviados para o solo (JOSHI e ATRI, 2006; LAUFENBERG et al., 2003; VAN DYK et al., 2013).



Mirabella, Castellani e Sala (2014) relatam que aproximadamente 39% dos resíduos são produzidos pelas indústrias de processamento de alimentos em países desenvolvidos. Eles também alegaram que esse material vem sendo utilizado como matéria-prima para desenvolvimento de novos produtos e aplicações tecnológicas. O processamento da manga gera resíduo composto de casca e semente, sendo a semente composta por tegumento, película e amêndoa. Esse material gerado representa cerca de 25 a 40% (p/p) da fruta (BANERJEE et al., 2016). A casca compõe em torno de 15 a 20% do peso total da fruta (KIM et al., 2012). A semente da fruta pode representar de 10 a 25% do peso, com a amêndoa variando de 45 a 85% do peso total da semente, representando cerca de 20% do fruto (AROGBA, 1997; SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011). A composição média da amêndoa com base em peso seco apresenta 11% de gordura, 6% de proteína, 77% de carboidrato, 2% de cinzas e 2% de fibra bruta (SANDHU e LIM, 2007). A figura 2 apresenta a estrutura física da manga, desde a fruta inteira até seu resíduo (casca e semente).

Figura 2 – Estrutura da Manga (*Mangifera indica L.*) cultivar Tommy Atkins, A- Fruto inteiro; B- Casca e polpa; C- Semente (composta por tegumento, películas e amêndoa).



Fonte: Elaborada pelo autor.

A amêndoa encontrada na semente da manga está sendo visada não apenas por sua qualidade como alimento natural (comestível, não tóxica e com alto índice de proteína e aminoácido), mas por possuir frações de compostos com potencial tecnológico. Os lipídeos, compostos fenólicos e amido são exemplos destes, demonstrando impacto positivo, direto ou indireto na saúde e nutrição (SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011). Estudos mostram que a amêndoa de manga é fonte de amido, apresentando em sua composição mais de 50% deste polissacarídeo (SILVA et al., 2013; KAUR et al., 2004) além de apresentar potencial para ser fonte não

convencional. A fração lipídica presente na amêndoa apresenta características para aplicação tecnológica e nutricional baseada na composição de ácidos graxos e propriedades físico-químicas (SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011; NZIKOU et al., 2010; ABDEL et al., 2012). Há presença também de compostos fenólicos, fração composta por moléculas responsáveis por apresentar potencial poder antioxidante (ABDULLAH, MOHAMMED e ABDULLAH, 2014; DORTA et al., 2014). O extrato etanólico de amêndoa de manga obteve capacidade antioxidante relativa à do L-ascórbico (SAITO et al., 2008), inferindo seu uso como aditivo para redução de processos oxidativos.

A obtenção de compostos presentes em resíduos é uma maneira eficiente de reutilização do material, por ser economicamente viável para indústrias farmacêuticas, químicas e de alimentos (OLIVEIRA et al., 2009). O aproveitamento integral de matérias-primas agrícolas pode agregar valor ao agronegócio, reduzir o descarte de dejetos orgânicos no meio ambiente e estimular o uso dos componentes presentes em todas as porções dos alimentos processados.

A busca e utilização de recursos renováveis é atualmente foco de desenvolvimento tecnológico, especialmente pelas agroindústrias, devido à elevada produção de resíduos. Para tal, o conceito de biorrefinaria pode ser aplicado com o intuito de aproveitamento integral do material gerado no processamento agroindustrial e consequente minimização do impacto ambiental gerado pelo descarte no meio ambiente. Biorrefinarias utilizam resíduos industriais do processamento de alimentos como recurso para recuperação de compostos de interesse tecnológico, produção de combustível, energia e calor e outros produtos, maximizando o uso desse material (BANERJEE et al., 2017; CARMONA-CABELLO et al., 2018). O aproveitamento total do resíduo evita que o material seja encaminhado para aplicações menos eficientes como descarte em aterro sanitário, incinerado para geração de energia, destinado para ração animal ou descartados no meio ambiente.

### ***3.2.1 Compostos com valor agregado em amêndoa de manga***

A identificação e aplicação de materiais oriundos de fontes alternativas são importantes para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos. Diversos estudos da Embrapa Agroindústria Tropical têm sido desenvolvidos utilizando compostos obtidos de amêndoa de manga na área de embalagens para alimentos (CORDEIRO et

al., 2014; OLIVEIRA et al., 2018; MONTEIRO, 2017). O uso adequado de amêndoa de manga para aplicações industriais pode gerar ganhos econômicos para indústrias, uma vez que o aproveitamento pode promover redução de desperdícios e gerar novos materiais (DA SILVA e JORGE, 2014). Visando a aplicação tecnológica em embalagens, o presente trabalho visa o aproveitamento de compostos presentes na amêndoa de manga como a gordura, o extrato de fenólicos e o amido.

### 3.2.1.1 Gordura

Gorduras e óleos são compostos de grande valor nutricional e de elevada importância para a indústria alimentícia, em virtude de seus efeitos nas propriedades funcionais e estruturais dos alimentos. Lipídeos de sementes tem despertado interesse nas últimas décadas devido a ações benéficas ao organismo e propriedades nutritivas elevadas (SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011).

Na tabela 2 alguns estudos encontraram concentrações variadas de gordura contidas em diversas amêndoas de manga, variando entre 8,15 e 13,16%. Segundo Muchiri, Mahungu e Gituanja (2012) a gordura da amêndoa de manga possui características idênticas às de “manteigas” vegetais como, por exemplo, manteiga de karité e de cacau.

Tabela 2 – Comparativo da fração lipídica encontrada na amêndoa de diferentes cultivares de manga.

<b>Cultivar</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Referências</b>
<b>Nigéria</b>	12.8	Elegbede, Achoba e Richard, 1995
<b>Nigéria</b>	13.6	Odunsi, 2005
<b>Kibangou (Congo)</b>	13.3	Nzikou et al., 2010
<b>Zebda (Egito), Balady, Succary</b>	12.3	Abdalla et al., 2007a; 2007b
<b>Zebda (Egito)</b>	8.15	Ashoush e Gadallah, 2011

Fonte: Torres-León e colaboradores 2016 (com adaptações).

A gordura em seu estado natural apresenta características funcionais e propriedades físico-químicas significativamente favoráveis que o permitem ser um composto substituto de gorduras, como a manteiga de cacau amplamente aplicada na indústria de confeitaria. Outra vantagem que este produto apresenta é a ausência de ácidos graxos “trans”, que são causa de desenvolvimento de doenças e possui efeito negativo para a saúde (SOLÍS-FUENTES e DURÁN-DE-BAZÚA, 2011). O estado

sólido a temperatura ambiente (25 °C) faz com que sua nomenclatura seja definida como “gordura de manga” ao invés de óleo de manga (BRASIL, 2005).

Lipídeos de amêndoas de manga são extraídos convencionalmente com solventes orgânicos, muitos dos quais causam efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. O hexano é frequentemente utilizado para este tipo de extração devido a sua estreita faixa de ebulição, por ser seletivo (moléculas apolares) e imiscível em água. Com isso novos métodos de extração estão sendo aplicados para obtenção deste composto, como por exemplo, aplicação de fluidos supercríticos, em que o solvente líquido usual é substituído por um fluido supercrítico e a ele são aplicadas condições de temperatura e pressão acima do ponto crítico. Jahurul e colaboradores (2014a) relatam que a gordura obtida por este método pode ser considerada de qualidade superior. Na tabela 3 encontram-se alguns estudos sobre a composição de gorduras de amêndoas de cultivares distintas de mangas.

Tabela 3 – Estudos de composição de gorduras de amêndoa de distintas cultivares de mangas.

<b>Origem</b>	<b>16:0 palmítico (%)</b>	<b>18:0 esteárico (%)</b>	<b>18:01 oleico (%)</b>	<b>18:2 linoleico (%)</b>	<b>18:3 linolênico (%)</b>	<b>Referências</b>
<b>Índia</b>	7,6	41,1	42,7	7,7	0,4	Rukmini e Vijayaraghavan, 1984
<b>Taiwan</b>	7,1	40,1	43,7	5,2	2,4	Wu et al., 2015
<b>Egito</b>	7,8	45,5	37,1	5,4	0,4	Abdel et al., 2012
<b>México</b>	5,9	34,2	55,4	3,1	-	Wu et al., 2015

Fonte: Torres-Léon e colaboradores 2016 (com adaptações).

Dentre os principais ácidos graxos presentes na amêndoa da manga, o esteárico e o oleico apresentam-se em maiores quantidades. Em estudos com a variedade Ikanekpo originária da Nigéria, a concentração de ácidos graxos insaturados foi aproximadamente o dobro da de saturados e o triplo da concentração de ácido linoleico, em comparação a outras variedades (AROGBA, 1997).

### 3.2.1.2 Extrato de fenólicos

Compostos fenólicos é um grupo com uma grande diversidade de moléculas que possuem estruturas e funções diversificadas. Podem ser classificadas em solúveis e

insolúveis em água (RISPAIL et al., 2005). Definindo estruturalmente um composto fenólico, pode-se afirmar que é um composto que possui um ou mais grupos hidroxila ligado a um anel aromático podendo ter uma estrutura simples ou polimérica de elevada massa molecular complexa (BALASUNDRAM et al., 2006).

Na amêndoa contida na semente da manga podem ser encontrados compostos como ácido gálico, elágico, ferúlico e cinâmicos, taninos, cumarina, vanilina e mangiferrina todos estes com potencial poder antioxidante (ABDALLA et al., 2007a; SOONG e BARLOW, 2004). A quantidade de tais fenólicos é variável e depende de fatores como tipo de fruto, grau de maturação, composição do solo onde foi cultivado, localização geográfica, clima, condições de armazenamento do fruto e outros (BELITZ, GROSCH e SCHIEBERLE, 2009). A aplicação dessas substâncias em embalagens para alimentos pode favorecer a redução do uso de antioxidantes sintéticos como BHT (hidroxitolueno butilado) ou BHA (hidroxianisol butilado), visto que o uso de algumas dessas substâncias vem causando problemas de saúde em consumidores como mostrado por Lorenzo e colaboradores (2013).

A obtenção destes compostos presentes na amêndoa de manga é realizada por meio de utilização de solventes orgânicos como etanol, metanol e acetona (NITHITANAKOOL, PITHAYANUKUL e BAVOVADA, 2009). Song e Barlow (2006) relatam que altas temperaturas para extração de compostos fenólicos de manga apresentam efeito indesejado como a redução da capacidade antioxidante do extrato. Tem-se proposto, para obtenção de elevada quantidade de extrato de fenólicos, métodos como o de extração assistida por micro-ondas (DORTA, LOBO e GONZÁLEZ, 2012), que se baseia no aquecimento por meio de micro-ondas para facilitar a extração. As vantagens deste método em relação ao convencional (com solventes orgânicos) é a redução do tempo de extração e a não utilização de solvente (ESKILSSON e BJÖRKLUND, 2000). Esta técnica tem sido aplicada para obtenção de moléculas de baixo peso molecular. Flavonóides como a quercetina apresentam-se estáveis em extrações a 100 °C (HUANG et al., 2004).

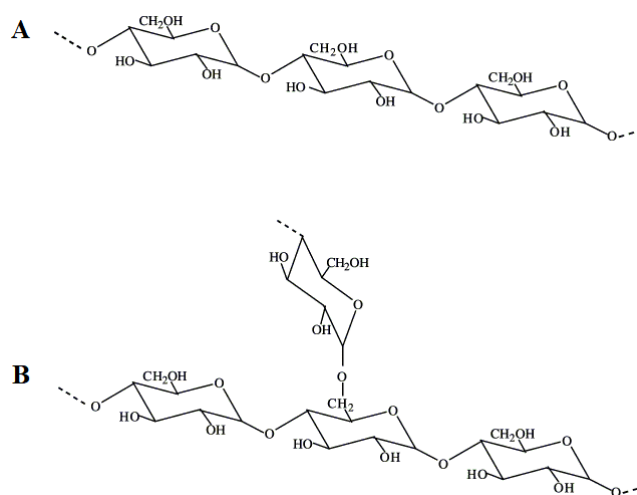
Estudos inferem a capacidade antioxidante de extratos de fenólicos de amêndoa de manga (SOGI et al., 2013; TORRES-LEÓN et al., 2017; ADILAH et al., 2018). Com isso a incorporação de compostos fenólicos em embalagens para alimentos apresenta vantagens para amenizar perdas por processos oxidativos.

### 3.2.1.3 Amido

Este carboidrato, sintetizado nos cloroplastos das folhas e nos amiloplastos dos órgãos de reserva, é armazenado na forma de grânulos, apresentando formas e dimensões variáveis. De modo geral, é um produto consumido mundialmente e que, com o avanço de pesquisas, vem se tornando matéria prima para fabricação de bioplásticos (RIBEIRO, 2011; PERONI, 2003). Segundo Nunez-Santiago, Bello-Perez e Tecante (2004), o amido é um componente importante e que está presente em diversos produtos agrícolas, como cereais (milho, arroz e trigo), legumes (feijão e ervilha), tubérculos (batata e mandioca), classificados como amidos de fonte alimentar.

O amido encontra-se na forma de grânulos apresentando variação em sua composição, tamanho, forma e morfologia conforme a fonte botânica de origem. O diâmetro dos grânulos pode variar de 1 a 100  $\mu\text{m}$  e suas formas podem ser esféricas, ovoides, angulares, poliédricos ou até mesmo irregulares. São partículas semicristalinas compostas por dois polímeros distintos, amilose e amilopectina variando sua concentração conforme origem do amido (BERTOLINI, 2010). Esses polímeros simples são resíduos de  $\alpha$ -D-glicopirranose com ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, formando cadeias com comprimentos variáveis (figura 3). A amilopectina é predominante e responsável pela característica de semicristalinidade do grânulo (SIMÃO et al., 2008; WITCZAK et al., 2016).

Figura 3 – Representação das moléculas de amilose (A) e amilopectina (B) presentes no amido.

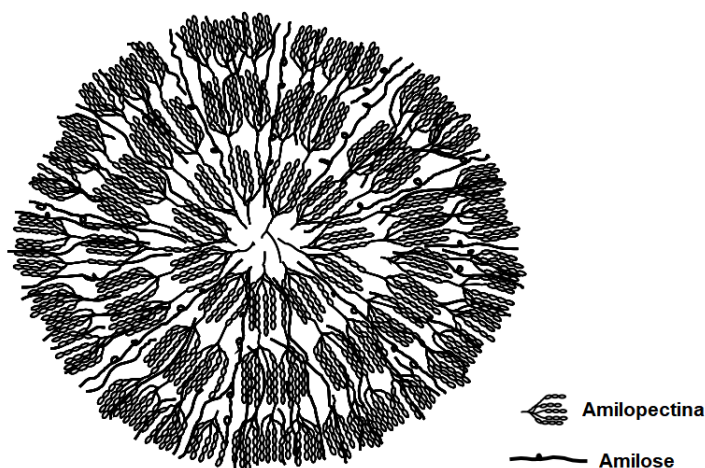


Fonte: Adaptada de Muralikrishna e Nirmala, 2005.

A amilose é a parte do amido essencialmente com característica linear (ainda que haja evidências de ramificações). Sua quantificação é importante para entendimento do comportamento do amido. Sua estrutura apresenta uma hélice hidrofóbica, o que permite formação de um complexo com ácidos graxos livres, álcoois e iodo (BERTOLINI, 2010). Evidencia-se a habilidade da amilose para formação de gel após a gelatinização devido à lixiviação da fase intergranular para a fase aquosa, resultando assim no aumento das propriedades reológicas (THARANATHAN, 2002).

A amilopectina é altamente ramificada, apresenta unidades de D-glicose, ligadas em  $\alpha$ -1,4 (4 a 6 %) e ligações  $\alpha$ -1,6 localizada nos pontos onde estão localizadas as ramificações entre cadeias de glicose (CEREDA, 2001). A amilopectina encontra-se presente em todos os tipos de amidos conhecidos, constituindo aproximadamente 75 % do composto (FRANCO et al., 2001). Na figura 4 encontra-se a estrutura organizacional do grânulo de amido.

Figura 4 – Estrutura organizacional do grânulo de amido.

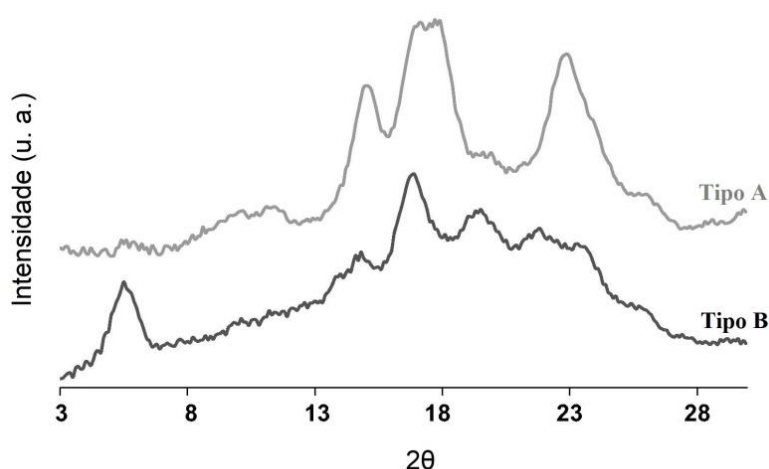


Fonte: Beemiller e Wistler, 2009.

A organização da macromolécula de amilopectina reflete a cristalinidade dos grânulos, em contrapartida a amilose é responsável por tornar o material mais amorfo sendo distribuída aleatoriamente entre os aglomerados de amilopectina (BERTOLINI, 2010). Estas duas macromoléculas presentes na composição do amido variam conforme a origem botânica, a amilose possui propriedades para formação de géis e filmes mais resistentes e firmes, porém favoráveis a retrogradação. A molécula de amilopectina produz géis e filmes mais suaves e flexíveis, apresentando-se mais estável em dispersões aquosas (PÉREZ e BERTOFT, 2010).

As organizações das cadeias de amilopectina presentes no amido são avaliadas por meio de difratometria de raios-X. Esta avaliação revela o grau de cristalinidade dos grânulos. Os grânulos de amido apresentam três tipos de padrões de difração, tipos A, B e C. Os tipos A e B representam formas predominantemente cristalinas. O padrão B é observado com frequência em amidos oriundos de tubérculos e raízes, enquanto A aparece para amidos de cereais. Amidos do tipo C correspondem a uma combinação dos outros dois tipos (HOOVER, 2001). Na figura 5 estão representados difratogramas com padrões A e B para duas amostras de amido de origens distintas.

Figura 5 – Difratogramas padrões de amidos tipo A e B.



Fonte: Le Corre e Angellier-Coussy, 2014.

Pérez e Berfort (2010) inferem que 70% dos amidos apresentam-se no estado amorfo, o que leva a produção de difração de raios-X com baixa qualidade. Segundo Srichuwong e colaboradores (2005) a cristalinidade apresentada por amidos tipo A varia de 31 a 37,1 %, sendo superior às de amidos tipo B que exibem entre 27,2 a 29,8 %. A cristalinidade para o tipo C em média 27,8 %. O índice de cristalinidade pode ser reduzido quando se gelatiniza o amido. Quando os grânulos se expandem com a hidratação a conformação cristalina se perde (KRAMER, 2009). Faz-se também necessário o estudo de fenômenos relativos aos amidos como gelatinização e retrogradação. Propriedades que estão diretamente relacionadas com a formação de bioplásticos.

### 3.2.1.3.1 Propriedades de gelatinização e retrogradação



Segundo a Bello-Pérez, Montealvo e Acevedo (2006), quando o amido é adicionado à água fria os grânulos incham aproximadamente de 10 a 20 % devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas. Este processo de absorção é reversível empregando-se secagem a mistura. Quando aplicadas altas temperaturas, os grânulos incham irreversivelmente ocorrendo o fenômeno de gelatinização, conseqüentemente ocorre perda da organização estrutural (birrefringência) devido à fusão dos cristais.

A gelatinização inicia no hilum e expande-se para a periferia com rapidez, atingindo inicialmente as regiões amorfas devido à fragilidade de ligações de hidrogênio nestas áreas, divergindo do que ocorre nas regiões cristalinas (SINGH et al., 2003). Ao passo que os grânulos se expandem, ocorre a lixiviação da amilose da parte intergranular para a parte aquosa ocasionando o aumento das propriedades reológicas do sistema. O conjunto de modificações que envolvem a ruptura da estrutura granular, inchamento do grânulo, hidratação e solubilização das moléculas de amido, finalizam o fenômeno de gelatinização (THARANATHAN, 2002).

Após o processo de gelatinização e a pasta é armazenada e resfriada pode ocorrer o fenômeno intitulado de retrogradação. As moléculas de amido, ao passar do tempo perdem energia e as ligações de hidrogênio se tornam mais fortes, conseqüentemente as cadeias reassociam-se para um estado mais ordenado. Com isso ocorre a formação de simples e duplas hélices, ocasionando o enredamento ou zonas de junção entre as moléculas e resultando em zonas cristalinas.

O aumento das áreas cristalizadas interfere diretamente no índice de refração, e o gel se torna mais opaco ao passo que a retrogradação avança (ELIASSON, 1996). A amilose em comparação com a amilopectina possui tendência mais forte em retrogradar-se, por meio da formação de pontes de hidrogênio com outras moléculas de amilose próximas formando as estruturas cristalinas de duplas hélices quando ocorre o resfriamento da solução, esta formação mante-se por longos períodos. A amilopectina retrograda mais lentamente por longos períodos, devido a sua endoterma de fusão estar no intervalo de 45 a 60 °C, enquanto pra amilose a faixa é de 140 a 180 °C (PARKER e RING, 2001; THARANATHAN, 2002).

A retrogradação torna-se um fenômeno complexo devido à diversidade de fatores que podem influenciar, como por exemplo, temperatura, pH, fonte do amido, presença de demais componentes e condições de processo. Este fenômeno se agrava quando o ciclo de congelamento e descongelamento ocorre diversas vezes, e ainda causa sinérese. Entretanto, a maior influência do fenômeno é observada na textura,

aceitabilidade e na digestibilidade de alimentos que contêm amido (ELIASSON, 1996; THARANATHAN, 2002; ELIASSON, 2004).

Essas propriedades são bem estudadas e definidas para amidos de fonte alimentar como de milho e trigo amplamente comercializados (LI et al., 2018; GUO et al., 2018; LI et al., 2015). Porém o intuito de pesquisas atuais e a do presente trabalho é a obtenção de amido de fontes alternativas. A adoção de fontes não alimentares para a obtenção desse material é mais racional e ambientalmente correta. Nesse contexto a obtenção de amido da amêndoa de manga é mais vantajosa, já que poderia evitar a competição com amidos de fonte alimentar.

#### 3.2.1.3.2 Amidos de fonte alternativa

Amidos de fonte alimentar como trigo e milho apresentam boas características nutricionais e são destinados majoritariamente para fins alimentares. Devido a sua abundancia e baixo preço a procura pelo material por indústrias alimentares e não alimentares tem aumentado. Isto pode se tornar um problema, pois o uso maciço de amido alimentar para fins como produção de plásticos pode afetar a disponibilidade do material para alimentação (NAWAB et al., 2017). A exploração de amido de fontes alternativas tem aumentado e o amido de manga tem sido considerado como uma fonte interessante para utilização (NAWAB et al., 2016).

Estudos inferem boas características para utilização do amido como base para material de embalagens de alimentos (CAETANO et al., 2018; GHASEMLOU et al., 2013; BERTUZZI et al., 2007; LUCHESE et al., 2018). Estudos tem mostrado que a amêndoa de manga pode ser fonte alternativa de amido e este possui boas propriedades para elaboração de embalagens (OLIVEIRA, et al., 2018; NAWAB et al., 2018; NAWAB et al., 2017; NAWAB et al., 2016). A destinação do amido de manga para elaboração de embalagens visa a não utilização de amido de fonte alimentar para produção de biopolímeros. E também para substituição de materiais oriundos de fonte não renováveis já utilizados para este fim.

### 3.3 Embalagens

Os plásticos são produtos provenientes de polímeros sintéticos derivados do petróleo e tem diversas e amplas aplicações para embalagens de alimentos. São

amplamente utilizados por apresentar vantagens como menor custo, boa processabilidade, boas propriedades de barreira e mecânica e alto desempenho. Por outro lado, esses materiais apresentam desvantagens, como acúmulo no meio ambiente devido a seu longo período para total decomposição, a não renovabilidade e elevados custos e dificuldades técnicas para reciclagem. A produção mundial de materiais plásticos exibiu um crescimento contínuo nos últimos 50 anos. Aplicações em embalagens demandaram aproximadamente 39,6% da produção da indústria de plásticos (PLASTIC EUROPE, 2015). No Brasil o consumo de plásticos sintéticos consumiu 19% da produção em 2016 ficando atrás do setor de construção civil (ABIPLAST, 2016).

Segundo Sutherland e colaboradores (2011) a elevada produção de resinas plásticas ocasionou um rápido acúmulo, enquanto a quantidade de material recuperado foi inferior a 5 %, corroborando com o que foi supracitado. Uma solução parcial para este problema é a redução da utilização de compostos não biodegradáveis, além da reutilização e reciclagem destes materiais. De acordo com Helmut (2012) a reciclagem mundial de plásticos está em torno de 3%, a nível nacional a reciclagem em 2008 chegou a 13% (FIGUEIREDO, 2012).

Embora as embalagens sejam elaboradas majoritariamente com polímeros sintéticos derivados do petróleo, a tendência atual é elaborar embalagens com polímeros naturais e biodegradáveis, devido à requerida responsabilidade com o meio ambiente. Os biopolímeros como a quitosana (DUTTA et al., 2009), amido (PELLISSARI et al., 2009) e hemicelulose (HANSEN e PLACKETT, 2008) são exemplos de substituintes de polímeros sintéticos em embalagens. Estes materiais apresentam susceptibilidade à degradação por processos enzimáticos ou microbiológicos. Contudo o amido apresenta-se promissor, pois tem vantagens como abundância no meio, boa disponibilidade, baixo custo de processo, possibilidade de modificações e biodegradabilidade (GARCÍA et al., 2009; LÓPEZ, GARCÍA e ZARITZKY 2008; FECHINE, 2013).

A substituição da matriz sintética das embalagens por polímeros naturais visa a obtenção de embalagens biodegradáveis. Essas que por definição são aquelas que ao serem expostas a determinadas condições ambientais serão decompostas em curto período de tempo por microrganismos presentes no meio (YATES e BARLO, 2013). Essas embalagens apresentam baixa produção devido à necessidade de diversas análises e validações em suas aplicações. Atualmente uma grande barreira para a elaboração em

escala industrial é o valor de investimento para produção que chega ao dobro do valor do plástico sintético (SILVA et al., 2013).

Além de tornar as embalagens para alimentos menos prejudiciais ao meio ambiente pesquisas na área vem incorporando aditivos naturais às formulações de filmes flexíveis. Embalagens essas que vão envolver o alimento e permanecer em contato direto durante toda sua vida útil. Estes aditivos promovem melhorias para o produto e podem até melhorar a composição nutricional, ocorrendo principalmente para revestimentos comestíveis. Com essa modificação na composição da formulação da embalagem ela torna-se uma embalagem ativa. Com essas modificações espera-se a melhoria nas propriedades de barreira (ao vapor de água e ao oxigênio) e mecânicas dos filmes e aumentar a qualidade dos produtos alimentícios aos quais serão aplicadas.

### ***3.3.1 Embalagens Ativas***

Estas embalagens podem proporcionar um potencial para prolongamento da vida de prateleira dos alimentos, além de controlar propriedades que podem causar deterioração ou danos indesejados como, transferência de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, sabor e aroma entre os componentes do alimento e atmosfera que os envolve (BALDWIN, HAGENMAIER e BAI, 2012). As interações com o alimento são intencionais e desejadas, visando o aumento da estabilidade dos alimentos e/ou melhoria na qualidade do produto. Dentre as ações que este tipo de embalagem possui, destaca-se ação antioxidante, sendo alternativa para o aumento da vida de prateleira dos produtos (SOARES et al., 2015).

Por definição embalagem ativa é aquela que apresenta tecnologia onde aditivos conhecidos como “compostos ativos” são incrementados no material de embalagem ou acondicionados juntos ao produto, com o objetivo de interação direta com o produto e/ou seu ambiente, para aumentar sua qualidade e/ou segurança (ALMENAR, 2018).

Além de possuir atividades durante o tempo de armazenamento dos alimentos, filmes ativos também podem ser comestíveis, diferenciando-se dos revestimentos. Filme comestível (ou não) é pré-formada anteriormente a sua aplicação ao produto, podendo ser aplicada entre componentes de um produto ou apenas recobrando o alimento, enquanto o revestimento comestível é formado diretamente na superfície do alimento, assim fazendo parte integrante dele (PAN e CABALLERO, 2011).

Núñez-Flores e colaboradores (2013) incorporaram lignina em filmes de gelatina, obtendo resultados positivos quanto a barreira de luz e possíveis aplicações para prevenção de oxidação lipídica. Moraes e colaboradores (2011) elaboraram filmes ativos com a incorporação de ácido sórbico e de aroma de pizza (IFF), para utilização em massas de pastel, seus resultados revelaram que os compostos adicionados tiveram ação antimicrobiana quando a embalagem permaneceu em contato direto com o produto.

Por fim, o composto ativo pode ser apenas uma substância individual ativa com sua função tecnológica específica ou então uma combinação de substâncias que vão desempenhar função tecnológica para a qual foram combinadas (REGULAMENTO EU nº 450/2009), sendo a embalagem ativa adequada para substituição da embalagem convencional plástica, visto que ela não está exposta a problemas como lixiviação de compostos prejudiciais (WENG e ZHENG, 2015).

#### *3.3.1.1 Filmes com ação antioxidante*

Dentre os diversos tipos de embalagens para alimento, os filmes flexíveis apresentam boa aplicabilidade de antioxidantes por estarem em contato direto com o alimento. A indústria de alimentos tem desenvolvido pesquisas voltadas para a redução de perdas de produtos a fim de evitar perdas econômicas. E também visando a oferta de produtos mais nutritivos, naturais e com elevada qualidade e segurança (TÜRE, GÄLLSTEDT e HEDENQVIST 2012). Desta forma, uma grande variedade de compostos ativos naturais tem sido obtida de fontes vegetais, para que sejam incorporados em filmes e exerçam atividade antioxidante a fim de reduzir processos oxidativos em alimentos.

Porém nem sempre a adição desses agentes nas formulações dos filmes é eficiente, pois problemas como neutralização, evaporação ou difusão excessiva das substâncias podem afetar seu desempenho (PRANOTO, RAKSHI e SALOKHE, 2005; QUATTARA, et al., 2000). A substituição dos agentes antioxidantes sintéticos mais utilizados na indústria de alimentos como BHT, BHA, PG (galato de propila) e TBHQ (terc- Butilhidroquinona) tem como principal objetivo evitar danos à saúde dos consumidores (MORENO et al., 2015).

Estudos já elaboraram filmes com ação antioxidante comprovada utilizando diversos componentes naturais, tais como óleos essenciais, ácido cítrico, ácido

ascórbico, a-tocoferol, extrato de alecrim e extrato de amêndoa de manga (ATARÉS, PÉREZ-MAIS e CHIRALT, 2011; BONILLA et al., 2013; PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017; ADILAH, JAMILAH, e HANANI, 2018).

Devido à recuperação dos compostos ativos de alto valor serem provenientes de resíduos eles podem ser uma fonte mais econômica para produção de embalagens (BAIANO, 2014; WANG et al., 2016). A elaboração de filmes com essas propriedades é um ramo promissor na pesquisa, pois além de proporcionar características funcionais a filmes, ela promove um maior aproveitamento de resíduos e subprodutos, reduzindo assim a poluição. O presente trabalho visou a aplicação de compostos ativos de amêndoa em filmes para avaliação de tais propriedades.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

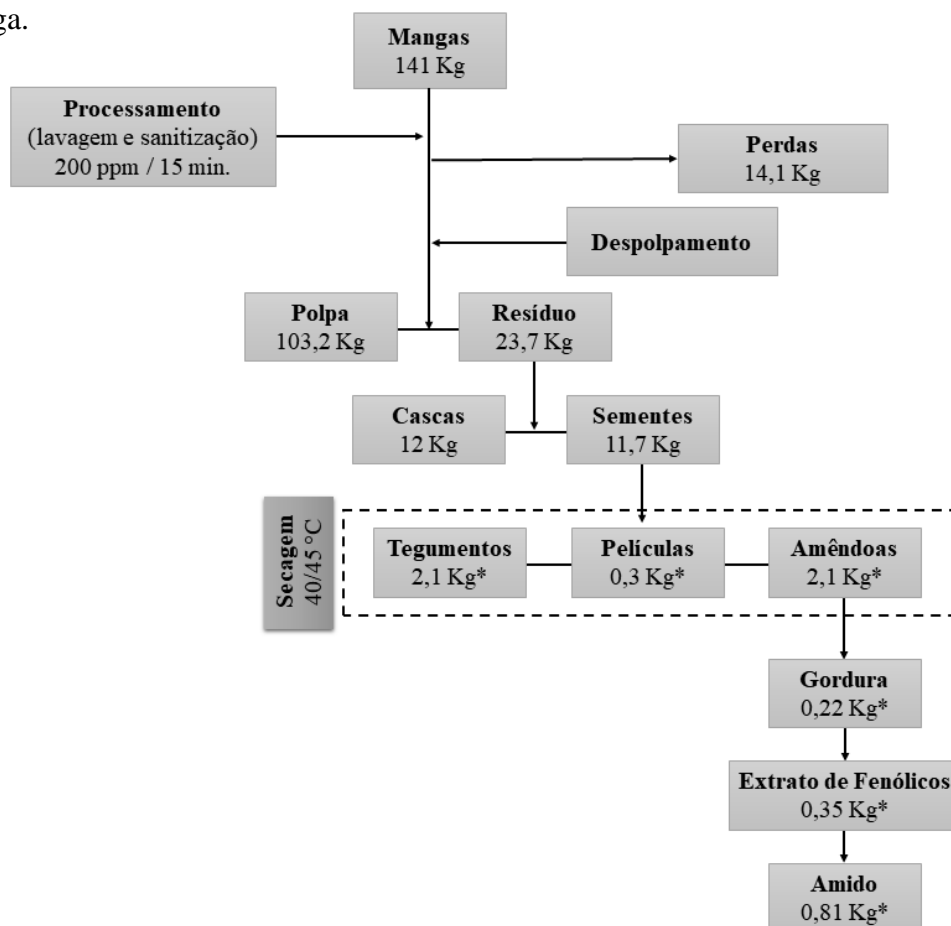
### 4.1 Obtenção da matéria prima

As mangas da cultivar Tommy Atkins foram adquiridas na Central de Abastecimento do Ceará (CEASA). Estas foram divididas em dois lotes, levando em consideração o estágio de maturação das frutas. Os dois lotes passaram por processos de limpeza com água corrente e sanitização com solução clorada (200 ppm) por 15 minutos em tanques de aço inoxidável. Em seguida os frutos foram cortados e separados mecanicamente a polpa dos resíduos (cascas e sementes) em despulpadora (Itametal - 025 DFA8).

As amêndoas foram removidas das sementes com o auxílio de morsa de bancada aplicando-se força mecânica até o rompimento. No momento da separação, as amêndoas foram imediatamente imersas em água para evitar escurecimento oxidativo. Em seguida as amêndoas foram trituradas em processador de alimentos a 1500 rpm (Robot coupe - R 201 Ultra E) para acelerar o processo de secagem com aumento da superfície de contato da amêndoa, que foi realizado por 48 horas (40/45 °C) em estufa de circulação de ar (Nova Ética - NE 5043). Após a secagem, foi realizada moagem de todo o material em moinho analítico (Fritsch - pulverisette 19) para redução da granulometria e obtenção da farinha da amêndoa de manga.

Posteriormente, a partir da farinha de amêndoa foi extraída a gordura, extrato de fenólicos e amido adotando-se processo sequencial de extrações. Foi iniciado com a remoção da gordura, em seguida o extrato de fenólicos e finalizado com a extração de amido. A figura 6 mostra o fluxograma geral com as etapas e balanço de massa de cada etapa, partindo da fruta *in natura*.

Figura 6 – Fluxograma geral e balanço de massa do processo de obtenção dos compostos (gordura, extrato de fenólicos e amido) a partir da farinha de amêndoa de manga.



\*Pesos em base seca.

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1.1 Obtenção da gordura de manga

O processo de obtenção da gordura foi realizado em equipamento extrator tipo Soxhlet utilizando hexano. Foram medidos 350 mL de hexano para cada 50 g de amostra de farinha de amêndoa pesadas em balança semi-analítica (Marte - AY220). O tempo de extração foi de 16 horas em ciclo contínuo e fechado. Depois de decorrido o tempo, a mistura de gordura e solvente passou por evaporador rotativo da marca (Büch - R-215) com aplicação de pressão oscilando entre 500/450 mbar e temperatura de 65 °C para recuperação de parte do hexano.

O restante da mistura (óleo + hexano residual) foi levada para estufa de circulação de ar (ACB Labor - JP 101) em tubos de ensaio previamente pesados, a 65 °C por 48 horas para remoção do solvente. Finalizou-se o processo com a pesagem do composto e cálculo de rendimento da extração.



O resíduo desengordurado remanescente de seis repetições do processo foi deixado em estufa de circulação de ar (ACB Labor - JP 101) a 45 °C por 24 horas para remoção do solvente residual da farinha de amêndoa de manga para posterior extração do extrato de fenólicos. A figura 7 mostra o processo esquematizado das etapas de obtenção da gordura de amêndoa de manga.

Figura 7 – Esquema do processo de extração da gordura de amêndoa de manga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Obtenção do extrato de fenólicos de manga

Após remoção do solvente residual das amostras de farinha de amêndoa de manga desengordurada, estas foram agregadas formando um novo lote para obtenção do extrato de fenólicos. A farinha foi fracionada em amostras de 50 g, pesadas em balança semi-analítica (Marte - AY220) para extração em equipamento extrator tipo Soxhlet. Foram medidos 350 mL do solvente orgânico metanol para cada repetição. Permaneceram em contato com o solvente durante 24 horas em ciclo contínuo e fechado para remoção do composto.

O extrato metanólico bruto foi concentrado em evaporador rotativo (Büch - R-215) com aplicação de pressão oscilando entre 200/150 mbar a 50 °C para recuperação de parte do solvente. Em seguida foi filtrado em papel de filtro de 0,28 µm (J. Prolab - quantitativo) para retenção de sujidades presentes. O filtrado então seguiu para secagem

do solvente residual a 65 °C por 50 horas em estufa estática (Quimis - Q31614) até que o extrato apresentasse características como alta viscosidade e cor escura intensa.

Após a finalização da extração de fenólicos, o resíduo de farinha de amêndoa de manga remanescente passou por secagem em estufa de circulação de ar (ACB Labor - JP 101) para remoção do solvente residual por 24 horas a 45 °C. Após a secagem, as seis amostras de farinha de amêndoa de manga foram unificadas em único lote para a extração de amido. A figura 8 mostra o processo de extração esquematizado de obtenção de extrato de fenólicos de amêndoa de manga.

Figura 8 – Esquema do processo de extração do extrato de fenólicos de amêndoa de manga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 Obtenção de amido de manga

A metodologia utilizada para obtenção do amido foi baseada no processo executado por Oliveira (2016) com adaptações. Resumidamente, após a secagem das amostras de farinha de amêndoa de manga oriundas da extração de fenólicos, estas foram agregadas em lote único para extração de amido.

A amostra remanescente da extração de fenólicos foi fracionada em partes de 60 g e adicionada de 500 mL de água destilada com homogeneização em Ultra-Turrax (IKA® - T50) por 15 minutos a 4000 rpm. Em seguida, a mistura foi peneirada em rede de poliamida de 60 mesh para separação da porção sólida, lavando sempre até que o filtrado apresentasse cor mais clara.

Ao volume de filtrado obtido (aproximadamente 1500 mL) foi adicionado o dobro do seu volume em solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,2% (m/v). A mistura permaneceu sob agitação magnética por 2 horas a 500 rpm (em temperatura ambiente 25 °C) em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS10).

Após a agitação, a mistura foi deixada em repouso por 15 minutos a temperatura ambiente (25 °C) para que o amido bruto decantasse e houvesse remoção de 75% do volume da solução, que em seguida foi neutralizado e descartado. O amido bruto decantado foi centrifugado em ultracentrífuga (Hitache - CR22III) a uma rotação de 24430 G a 4 °C por 20 minutos, seguido de consecutivas remoções de sujidades formadas sob o composto e lavagens até pH neutro.

O amido bruto foi filtrado em papel de filtro de 0,28 µm (J. Prolab - quantitativo) e seco em estufa de circulação de ar (ACB Labor - JP 101) a 40 °C por 24 horas. Após a secagem o amido bruto foi triturado em moinho analítico (IKA<sup>®</sup> - A11 basic). Foi pesado para posterior branqueamento seguindo metodologia de Souza e colaboradores (2016) com adaptações.

Em resumo para cada grama de amido bruto foram medidos 20 mL de NaOH 0,2% (m/v) e 12 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 35% (v/v). Inicialmente a solução de NaOH 0,2% foi aquecida até 40 °C sob agitação constante (250 rpm) em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS10), em seguida foi adicionado o amido bruto lentamente e logo em seguida a primeira metade do volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% iniciando o branqueamento.

Depois de decorrida 1 h, a segunda metade da solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% foi adicionada e a reação permaneceu sob agitação mais 30 minutos. Em seguida, a solução foi centrifugada sob as mesmas condições da etapa anterior e lavadas até pH neutro.

O amido branqueado foi filtrado em papel de filtro de 0,28 µm (J. Prolab - quantitativo) e desumidificado em estufa de circulação de ar (ACB Labor - JP 101) a 40 °C por 24 horas. Por fim, o amido seco foi triturado em moinho analítico (IKA<sup>®</sup> - A11 basic) pesado e calculado seu rendimento para seis repetições realizadas. A figura 9 mostra o esquema do processo de extração do amido de amêndoa de manga.

Figura 9 – Esquema do processo de extração de amido de amêndoa de manga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 Rendimentos

Os rendimentos dos processos de obtenção da gordura, extrato de fenólicos e amido de manga, foram calculados em base seca, em relação à massa inicial da farinha de amêndoa de manga, a fim de avaliar a eficiência da metodologia de extração sequencial para obtenção de cada fração, bem como realizar comparação com valores obtidos em estudos na literatura. Para a gordura da manga, o rendimento foi calculado utilizando a equação 1.

$$R_G(\%) = \frac{(100 \times P_G)}{A_I} \quad (1)$$

Onde  $R_G$  é o rendimento em porcentagem de gordura de manga,  $P_G$  é o peso de gordura ao final do processo e  $A_I$  é a amostra inicial de farinha de amêndoa de manga. O rendimento do extrato de fenólicos de manga foi calculado para o extrato filtrado, desconsiderando as quantidades de extrato bruto inicialmente obtido. A equação 2 foi utilizada para o cálculo do rendimento dos fenólicos.

$$R_{Fft} = \frac{(100 \times P_{Fft})}{A_I} \quad (2)$$

Onde  $R_{Fft}$  é o rendimento em porcentagem para o extrato filtrado,  $P_{Fft}$  é o peso do extrato filtrado e o  $A_I$  é o peso da amostra inicial de farinha de amêndoa de manga. Por fim, para o amido de manga o rendimento foi calculado utilizando a equação 3, desconsiderando-se as quantidades de amido bruto inicialmente obtido.

$$R_{Abr} = \frac{(100 \times P_{Abr})}{A_I} \quad (3)$$

Onde  $R_{Abr}$  é a porcentagem de rendimento obtido para o amido de manga branqueado ao final da segunda etapa de extração,  $P_{Abr}$  é o peso de amido branqueado e  $A_I$  é a massa inicial de farinha de amêndoa de manga.

### 4.3 Elaboração dos filmes de amido de manga

Após a obtenção dos compostos da amêndoa de manga, testes preliminares para avaliação da formação de filmes foram executados. O volume de água inicialmente calculado para a formação dos filmes (300 mL) foi inviável. A emulsão filmogênica mostrou-se muito líquida e o processo de secagem durou mais de 72 horas para ser finalizado.

Com isso, o volume de água foi recalculado e definido para 214 mL que proporcionou emulsão mais viscosa e com tempo de secagem reduzido para 48 horas. Após a determinação do volume de água para a emulsão filmogênica, foram testadas aplicações de tensoativos Tween®80 e Span®80 em uma proporção de 20% (m/m) em fase aquosa com a gordura da manga. As quantidades testadas foram, HLB 7 (25% de Tween®80 e 75% de Span®80) e HLB 8 (35% de Tween 80 e 65% de Span 80).

Foram adicionadas às amostras em teste 214 mL de água e homogeneizadas em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS 7) em temperatura ambiente (25 °C) e 500 rpm. Em seguida, sonicadas em sonicador de ponteira (Unique - DES500) com micro ponta de 4 mm, por 5 minutos a 90 W. As emulsões foram submetidas à análise de potencial zeta e tamanho de partícula após 24 horas de repouso para avaliação da estabilidade. A melhor estabilidade da emulsão foi apresentada pela proporção em HLB 7.

#### 4.3.1 Delineamento estatístico para elaboração de filmes ativos de amido

Foi utilizado um delineamento estatístico de misturas simplex centroide constituído de 10 tratamentos (Tabela 4) para investigar os efeitos de variações das misturas de amido ( $X_1$ ), gordura ( $X_2$ ) e extrato de fenólicos ( $X_3$ ) nas propriedades térmicas, morfológicas, ópticas e de barreira e ação antioxidante dos filmes. A gordura e o extrato variaram de 0 - 20% e o amido de 80 - 100%.

Tabela 4 – Composições das misturas de gordura, extrato de fenólicos e amido de manga (em componentes originais e pseudocomponentes).

Tratamentos	Pseudocomponentes			Proporções dos componentes		
	$X'_1$	$X'_2$	$X'_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	Amido	Gordura	Ext. de Fenólicos	Amido	Gordura	Ext. de Fenólicos
<b>1</b>	1	0	0	1	0	0
<b>2</b>	0	1	0	0,8	0,2	0
<b>3</b>	0	0	1	0,8	0	0,2
<b>4</b>	0,5	0,5	0	0,9	0,1	0
<b>5</b>	0,5	0	0,5	0,9	0	0,1
<b>6</b>	0	0,5	0,5	0,8	0,1	0,1
<b>7</b>	0,33	0,33	0,33	0,867	0,067	0,067
<b>8</b>	0,67	0,17	0,17	0,933	0,033	0,033
<b>9</b>	0,17	0,67	0,17	0,833	0,133	0,033
<b>10</b>	0,17	0,17	0,67	0,833	0,033	0,133

Pseudocomponentes são uma forma de representar as proporções dos componentes de forma que sempre assumam os valores de 0 a 1, sendo 0 e 1 os limites inferior e superior (respectivamente) das faixas estudadas. Por exemplo, a gordura foi usada entre os limites de 0 e 0,2 (0-20% da mistura), que equivalem respectivamente a pseudocomponentes de 0 e 1; portanto, o uso de 10% de gordura (0,1) equivale a um pseudocomponente de 0,5.

O experimento foi analisado usando o software Minitab versão 16, para construção e análise dos modelos e das curvas de contorno. Gráficos em forma de

triângulo (curvas de contorno) foram utilizados para demonstrar os resultados para cada variável dependente. Modelos quadráticos (equação 4) foram usados para ajuste dos dados, devido reprodução satisfatória dos valores de respostas dos vértices e arestas do gráfico de concentrações (componentes puros e misturas binárias). Foi utilizado o modelo linear para respostas que não se adequassem ao modelo anterior na tentativa de torná-lo significativo (equação 5).

$$y = \beta_1 \cdot X'_1 + \beta_2 \cdot X'_2 + \beta_3 \cdot X'_3 + \beta_{12} \cdot X'_1 \cdot X'_2 + \beta_{13} \cdot X''_1 \cdot X'_3 + \beta_{23} \cdot X''_2 \cdot X'_3 \quad (4)$$

$$y = \beta_1 \cdot X'_1 + \beta_2 \cdot X'_2 + \beta_3 \cdot X'_3 \quad (5)$$

Onde  $y$  é a variável dependente (resposta),  $\beta$  o coeficiente de regressão para cada componente (ou interação entre componentes),  $X'_1$  o amido,  $X'_2$  a gordura e  $X'_3$  o extrato de fenólicos (todos expressos como pseudocomponentes). Na tabela 5 encontram-se as quantidades em massa para cada componente da formulação das emulsões filmogênicas.

Tabela 5 – Quantidades em massa dos componentes das emulsões filmogênicas.

Tratamentos	Amido (g)	Gordura (g)	Tween 80 (g)	Span 80 (g)	Ext. de Fenólicos (g)	Glicerol (g)
<b>1</b>	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75
<b>2</b>	12,00	3,00	0,15	0,45	0,00	3,00
<b>3</b>	12,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00
<b>4</b>	13,50	1,50	0,08	0,23	0,00	3,38
<b>5</b>	13,50	0,00	0,00	0,00	1,50	3,38
<b>6</b>	12,00	1,50	0,08	0,23	1,50	3,00
<b>7</b>	13,00	1,00	0,05	0,15	1,00	3,25
<b>8</b>	14,00	0,50	0,03	0,08	0,50	3,50
<b>9</b>	12,50	2,00	0,10	0,30	0,50	3,13
<b>10</b>	12,50	0,50	0,03	0,08	2,00	3,13

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os modelos matemáticos obtidos foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) com intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Também foram calculados os valores de regressão ( $R^2$ ) para cada modelo, valores de F e p (testes de probabilidade).

### 4.3.2 Metodologia de elaboração dos filmes ativos de amido

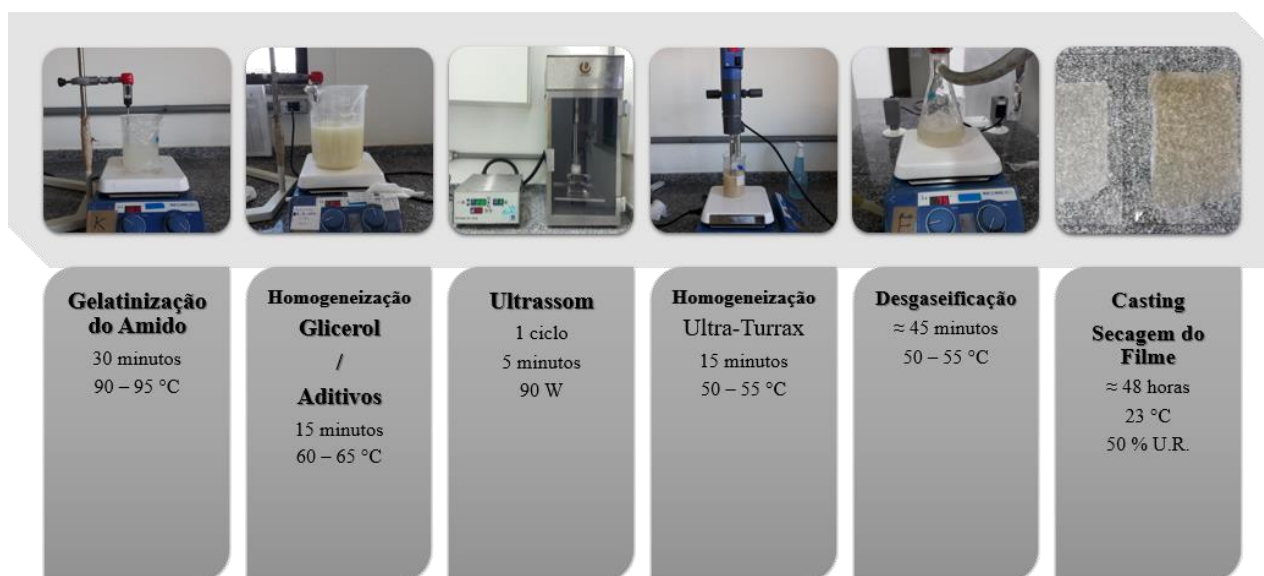
A metodologia adotada para elaborar os filmes foi de Le Corre e colaboradores (2014) com adaptações. Em resumo o amido de manga foi inicialmente diluído em 214 mL de água em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS7). A mistura foi então aquecida sob constante agitação magnética até 90/95 °C por 30 minutos para completa gelatinização do amido. Posteriormente foi realizada a homogeneização com o glicerol, gordura, extrato de fenólicos e tensoativos referentes a cada tratamento (tabela 5) em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS7). Esta etapa foi realizada sob agitação magnética constante e temperatura controlada em 60/65°C por 15 minutos.

A emulsão então foi sonicada em desruptor de célula ultrassônico (Unique - DES500) com micro ponta de 4 mm, por 5 minutos a 90 W de potência. Logo após seguiu para o homogeneizador Ultra-Turrax (IKA<sup>®</sup> - T25) com rotação de 10000 rpm por 15 minutos. Foi mantido aquecimento constante com temperatura entre 50/55 °C a fim de evitar resfriamento da emulsão. A emulsão foi transferida para um kitassato que foi vedado e acoplado a uma bomba de vácuo, para remoção do ar que foi incorporado nos processos de homogeneização. O processo durou em média 45 minutos com aquecimento constante e temperatura entre 50/55 °C em chapa de aquecimento e agitação (IKA<sup>®</sup> - C-MAG HS7) a fim de evitar resfriamento com a formação de vácuo no sistema.

Por fim, após a desgaseificação, o volume de emulsão foi dividido para duas placas de vidro previamente revestidas com uma película de poliéster (Mylar<sup>®</sup>) fixadas com fita. O *casting*, técnica de obtenção do filme, foi realizado com o auxílio de uma barra de metal que proporciona melhor espalhamento e uniformidade da emulsão, com espessura inicial de 1,5 mm. As placas foram deixadas em sala climatizada com temperatura e umidade relativa controladas, respectivamente  $23 \pm 2$  °C e  $50 \pm 3\%$ . A secagem dos filmes durou 48 horas. As etapas do processo de elaboração do filme de amido de manga estão descritos na figura 10.



Figura 10 – Esquema das etapas do processo de obtenção do filme de amido obtido a partir de compostos da farinha de amêndoa de manga.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4.4 Caracterizações

### 4.4.1 Parâmetros físico-químicos

Foram realizadas análises dos parâmetros físico-químicos para a farinha de amêndoa de manga e para o amido de manga. A umidade foi determinada utilizando uma balança de infravermelho (Marte<sup>®</sup> - ID50). A avaliação das cinzas foi realizada por meio de incineração em forno mufla a 600 °C (Quimis - Q318M24). Para proteínas foi utilizada a metodologia de Kjeldahl (LUTZ, 2008). O amido total foi determinado com metodologia descrita pela AOAC (2004).

A fração lipídica (LUTZ, 2008) e a quantidade de carboidrato por diferença da composição centesimal (equação 6) da farinha de amêndoa também foram avaliadas.

$$\%C = (100 - [\%Proteínas + \%Lipídeos + \%Cinzas + \%Umidade]) \quad (6)$$

Para o amido de manga foi determinado o teor de amilose com o método colorimétrico, o qual é definido pela norma ISSO 6647 da *International Organization for Standardization* (1987). As análises de composição centesimal foram realizadas na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NuteC). A análise de teor de

amilose foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical.

#### ***4.4.2 Determinação da composição em ácidos graxos em gordura de manga***

Os ésteres metílicos foram obtidos de acordo com Hartman e Lago (1973) e determinados em cromatógrafo gasoso Varian GC CP3380, com detector de ionização de chama, coluna SP2560 (100% bis-cianopropil polisiloxano; Supelco, Bellefonte, USA) com dimensões de 100 m x 0,25 mm x 0,20  $\mu\text{m}$ , detector a 230 °C, temperatura do injetor de 220 °C. O gás de arraste foi o  $\text{H}_2$  a 1,5  $\text{mL min}^{-1}$ , com programação de temperatura da coluna: inicial 80 °C, 11 °C  $\text{min}^{-1}$  até 180 °C, 5 °C  $\text{min}^{-1}$  até 220 °C, 9 min a 220 °C. A identificação dos ácidos graxos foi realizada por comparação dos tempos de retenção de padrões dos ésteres metílicos (Supelco, Bellefonte, USA) e a quantificação por normalização de áreas.

#### ***4.4.3 Polifenóis totais em extrato de fenólicos***

Utilizou-se a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965), com adaptações. O extrato foi diluído previamente em solução de etanol 10% em água, e fracionadas alíquotas variando de 0,1 a 0,5 mL. Estas foram adicionadas em tubos de ensaios sendo aferidas para 0,5 mL com solução de etanol 10%. Em cada tubo adicionou-se 0,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu e após 3 minutos foi adicionado 0,5 mL de carbonato de sódio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (20%). Por fim os volumes foram completados para 5 mL e agitados em vortex (Norte científica - NA 3600). Passados 90 minutos de repouso as absorvâncias foram lidas em espectrofotômetro UV-vis (Varian Cary 50) em comprimento de onda de 725 nm. Como solução padrão utilizou-se ácido gálico nas concentrações de 0,001 a 0,012 mg/mL em etanol 10%. Foi gerada uma curva padrão a partir dos valores de absorvância e concentrações da solução padrão. Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico por 100g de amostra (mg GAE/100mg).

#### ***4.4.4 Confirmação estrutural via UPLC-QToF-MS<sup>E</sup> do extrato de fenólicos***

O extrato de fenólicos foi avaliado via UPLC-QToF-MS<sup>E</sup> para identificação de moléculas presentes no material. Inicialmente foi pesado 20 mg de extrato e diluído em 400 µL de solução de água e metanol (1:1) (v/v). Foi utilizado cartucho de SPE C18 previamente condicionado com 3 mL de Metanol (MeOH) e em seguida 3 mL de água. A solução foi submetida ao cartucho SPE C18 para uma prévia separação de compostos indesejáveis, eluindo inicialmente com 3 mL de água para remoção de açúcares e aminoácidos. Por fim, os compostos de interesse retidos no cartucho foram eluídos com 6 mL de solução de 90% de MeOH e 10% de água (v/v). A segunda fração contendo os compostos de interesse foi filtrada em filtros de disco (22 µm PTFE) e injetada em UPLC-QToF-MS<sup>E</sup>.

A análise foi realizada em um sistema Acquity UPLC (Waters), acoplado a um sistema de Quadrupolo / Tempo de Voo (QToF, Waters) pertencente a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. As corridas cromatográficas foram realizadas em uma coluna Waters Acquity UPLC BEH (150 x 2,1 mm, 1,7 µm), temperatura fixa de 40 °C, fases móveis água com 0,1% de ácido fórmico (A) e acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico (B), gradiente variando de 2% a 95% B (15 min), fluxo de 0,4 mL/min e volume de injeção de 5 µL.

O modo ESI- foi adquirido na faixa de 100 - 1200 Da, temperatura da fonte fixa a 120 °C, temperatura de dessolvatação 350 °C, fluxo do gás dessolvatação de 500 L/h, cone de extração de 0,5 V, voltagem capilar de 2,6 kV. O modo ESI+ foi adquirido na faixa de 100 - 1200 Da, temperatura da fonte fixa de 120 °C, temperatura de dessolvatação 350 °C, fluxo do gás dessolvatação de 500 L/h e voltagem do capilar de 3,2 kV. Leucina encefalina foi utilizada como *lock mass*. O modo de aquisição foi MSE. O instrumento foi controlado pelo software Masslynx 4.1 (Waters Corporation).

A análise foi realizada no Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais da Embrapa Agroindústria Tropical.

#### **4.4.5 Difração de raios-X (DRX)**

O padrão de difração de raios-X (DRX) para o amido de manga foi obtido utilizando difratômetro de raios-X da marca Rigaku DMAXB, aplicando radiação CoK $\alpha$  40 kV e 40 mA, sob velocidade de 1° (2 $\theta$ ) min<sup>-1</sup>. O intervalo de ângulo utilizado foi de

2 $\theta$  de 5 a 50° com um passo de 0,01°. A análise foi realizada no Laboratório de Raios-X, no departamento de Física da Universidade Federal do Ceará.

#### ***4.4.6 Propriedades mecânicas***

As propriedades mecânicas foram avaliadas no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical seguindo o método padrão D882-01 (ASTM, 2001). Foram cortados 10 corpos de prova para cada tratamento em prensa estampadora (Ceast - versão pneumática), com dimensões de 125 mm x 12,5 mm. Antes dos ensaios as amostras foram armazenadas por 48 horas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa, respectivamente  $23 \pm 2$  °C e  $45 \pm 5\%$ . A média de 10 medidas de espessura nos corpos de prova foi obtida utilizando micrometro digital (Mitutoyo - quantumike IP65). O ensaio foi realizado em equipamento Emic DL-300 Universal Testing Machine utilizando célula de carga de 100 N, velocidade de deformação de 50 mm/min e distância inicial entre as garras de 100 mm. Os resultados foram expressos em relação à medida de 6 corpos de prova analisados.

#### ***4.4.7 Permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ )***

A permeabilidade ao vapor foi avaliada em conformidade com o método gravimétrico E96-00 (ASTM, 2000). Foram montadas 8 células com dimensões de 2 cm de diâmetro e 5 cm de altura, cada uma com um disco de filme de 2 cm de diâmetro fixado com graxa de silicone sob compartimento contendo água destilada. Estas foram acondicionadas em dessecador vertical (Arsec - DCV040), contendo sílica gel como material dessecante e em ambiente com condições de temperatura e umidade relativa controlados, com  $23 \pm 3$  °C e  $45 \pm 5\%$ .

Realizou-se oito pesagens de cada célula ao longo de 24 horas em balança semi-analítica (Tecnal - Btec 210A). Entre as pesagens foi realizado um intervalo de uma hora e pesando-se as primeiras seis vezes no primeiro dia e as duas últimas no dia seguinte. A análise foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical.

#### ***4.4.8 Atividade antioxidante (AA)***

A atividade antioxidante dos filmes foi avaliada utilizando-se o método de redução do 2,2-difenil-1-picrilidrazil (DPPH) por agente antioxidante com adaptações (MARINS et al., 2012). Primeiramente foram pesados 900 mg de cada tratamento e a eles adicionado 18 mL de metanol. Em seguida foram deixados sob agitação em shaker orbital (Marconi - MA-410) a 150 rpm por 3 horas, temperatura ambiente (25 °C) e com ausência de luminosidade no ambiente. Previamente todas as vidrarias foram cobertas com papel alumínio para proteção de qualquer interferência de luminosidade. A análise foi executada integralmente em ambiente com ausência de luz.

Após a agitação os extratos metanólicos de filmes foram fracionados em 1000 µL nos tubos de ensaio em triplicata e em seguida foi adicionado 2 mL de solução metanólica de DPPH 0,06 mM. Esta mistura foi agitada em vórtice e deixada em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente. Utilizando o espectrofotômetro UV-vis (Varian Cary 50), determinou-se por absorbância a 517 nm o DPPH remanescente da reação.

Para o controle foi utilizado metanol e a solução metanólica de DPPH e o branco utilizado para calibrar o equipamento foi apenas metanol. A atividade antioxidante dos filmes foi mensurada utilizando a equação 7 e expressa em porcentagem (%AA).

$$\%AA = 100 \times \left( 1 - \frac{ABS_{amostra}}{ABS_{controle}} \right) \quad (7)$$

Onde, %AA: porcentagem de atividade antioxidante do filme de amido;  $ABS_{amostra}$ : absorbância da amostra;  $ABS_{controle}$ : absorbância do controle. A análise foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical.

#### **4.4.9 Opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $ABS_{UV}$ )**

A determinação da opacidade dos tratamentos foi definida segundo metodologia descrita por Irissin-Mangata e colaboradores (2001). Para cada tratamento foram cortados quatro corpos de prova retangulares (1 x 5 cm) e para cada um foram realizadas quatro medidas de espessura. Em seguida, cuidadosamente cada amostra foi disposta no compartimento de leitura do módulo de amostras sólidas, do espectrofotômetro UV-vis (Varian Cary 50), permanecendo perpendicular à luz. A

calibração do equipamento foi realizada utilizando pastilhas de sulfato de bário como 100 % de absorvância.

A varredura foi realizada em quadruplicada no intervalo de 220 a 800 nm, onde é possível avaliar a absorção de luz UV na faixa de espectro de 220 a 400 nm e opacidade de 400 a 800 nm. Os cálculos da opacidade e absorção de luz UV foram realizados como sendo área sob a curva da absorvância versus comprimento de onda (estimada pelo método trapezoidal) e expressa como unidade de absorvância x nanômetro (comprimento de onda) /milímetros (espessura do filme ( $A.nm.mm^{-1}$ )). A análise foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical.

#### ***4.4.10 Espectrofotometria no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)***

Os espectros vibracionais no infravermelho para a gordura, amido e para os filmes T1, T2, T3 e T6 foram avaliados no Laboratório de produtos e tecnologia em processos da Universidade Federal do Ceará. Foram obtidos em um espectrofotômetro Frontier FT-IR/NIR, medidos quanto à transmitância (%), em módulo de ATR com cristal de seleneto de zinco, na faixa de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $550\text{ cm}^{-1}$  com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Realizou-se 4 varreduras para cada amostra.

#### ***4.4.11 Análise termogravimétrica (TGA)***

Para avaliação da estabilidade térmica do amido e dos filmes de amido de manga T1, T2, T3 e T6 foram realizadas avaliações por meio de termogravimetria em equipamento Perkin Elmer (STA 6000). Para o amido foram utilizadas condições de atmosfera de ar sintético, vazão do gás de  $10\text{ mL.min}^{-1}$ , taxa de aquecimento de  $15\text{ °C.min}^{-1}$  e temperatura variando de 25 - 650 °C. Para os filmes as condições foram, atmosfera de ar sintético com vazão de  $20\text{ mL.min}^{-1}$ , com rampa de aquecimento de 20 - 600 °C e taxa de aquecimento de  $10\text{ °C.min}^{-1}$ .

O peso médio utilizado para a análise foi de 10 mg de cada amostra. As curvas de termogravimetria foram geradas utilizando o programa OriginPro 9.1 com dados obtidos no software Pyris Manager STA 6000.

#### ***4.4.12 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)***

A análise de DSC para os filmes de amido de manga T1, T2, T3 e T6 foi realizada em equipamento Instron, modelo Q20 sob condições pré-definidas. Atmosfera de nitrogênio com vazão de  $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , rampa de aquecimento de  $15 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$  e taxa de aquecimento de  $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . O peso das amostras foi em média de 5 mg e os resultados expressos em termogramas gerados e tratados pelo software Universal Analysis 2000 ©, versão 4.7A.

#### ***4.4.13 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)***

A morfologia dos grânulos de amido de manga e dos filmes de amido de manga T1, T2, T3 e T6 foi avaliada por microscopia eletrônica na Central Analítica da Universidade Federal do Ceará. A análise foi executada em microscópio eletrônico de varredura modelo Quanta 450 FEG-FEI. Frações dos filmes foram colocadas sobre suportes de alumínio (stubs), em seguida foram cobertos com uma camada de ouro de 20 nm em metalizador QT150ES. A observação dos grânulos e das superfícies dos filmes no equipamento foi realizada com voltagem de 15 KV e 5 KV de aceleração, respectivamente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Rendimentos

A tabela 6 mostra os resultados dos rendimentos obtidos com o processo de extração sequencial dos compostos da gordura, extrato de fenólicos e amido provenientes da farinha de amêndoa de manga.

Tabela 6 – Rendimentos dos compostos da farinha de amêndoa de manga cv. Tommy.

<b>Composto</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Gordura	11
Extrato de Fenólicos	17
Amido	39

O rendimento da gordura de manga foi de 11%, corroborado por estudo realizado por Torres-León e colaboradores (2016) onde relatam variação da fração lipídica da amêndoa de manga de 8,1 a 13,2%. Dentre as variedades estudadas estão frutos originários do Egito, Nigéria e Congo. Diferentes solventes foram testados por Kittiphoom e Sutasinee (2013) para extração de lipídeos de amêndoas de manga, com hexano obtiveram 8,4% de rendimento máximo. O rendimento obtido neste estudo se mostrou regular comparado aos demais estudos, visto que a variação da fração lipídica da amêndoa de manga oscila entre variedades do fruto. A eficiência da extração pode ser atribuída à seletividade do hexano em remover moléculas apolares, como as de óleos e gorduras. Embora as quantidades de gordura sejam variáveis, os estudos denotam que a amêndoa não pode ser considerada um produto rico em lipídeos.

Para o extrato de fenólicos o rendimento foi de 17% (tabela 6), sendo significativamente superior aos resultados encontrados por Dorta, Lobo e González (2012) que avaliaram os efeitos de solventes e temperaturas, incluindo metanol, na extração de sementes de manga obtendo rendimentos de 12%. Torres-León e colaboradores (2017) obtiveram rendimento de extrato de fenólicos muito acima dos resultados apresentados neste trabalho, sendo de 28,5% utilizando extração por micro-ondas. Rendimento atribuído à radiação não ionizante que promove o movimento molecular por migração iônica, melhorando a penetração do solvente (MARAN et al., 2015). Além de propiciar maiores recuperações do composto e menor tempo de



operação. Temos que o processo para extração de fenólicos mostrou-se significativo, obtendo um rendimento mediano para o tipo de extração aplicado.

A extração de amido de manga obteve rendimento de 39% (tabela 6) apresentando-se semelhante aos obtidos por Monteiro (2017) e Oliveira (2016), respectivamente 38,5% e 38,8%, respectivamente, utilizando amêndoa de manga da cultivar Tommy Atkins. A apresentação da matéria prima (*in natura*) e a não utilização de soluções para extração (metabissulfito de sódio e ácido clorídrico), não afetaram o rendimento do amido para o presente trabalho. As alterações adotadas para a extração do presente trabalho reduziu o tempo de processo para obtenção do amido.

## 5.2 Caracterização dos materiais

### 5.2.1 Parâmetros físico-químicos

Na tabela 7 seguem os dados dos parâmetros físico-químicos avaliados para a farinha de amêndoa de manga (matéria prima) e o amido de manga obtido.

Tabela 7 – Resultados das porcentagens (m/m) dos parâmetros físico-químicos avaliados para farinha de amêndoa e amido de manga.

<b>Material</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Amido total (%)</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Amilose (%)</b>	<b>Carboidrato (%)</b>
<b>Farinha da amêndoa</b>	5,1	2,4	5,3	61,5	10,6	-	76,6
<b>Amido</b>	11,5	0,24	0,7	85,5	-	30,5	-

A quantidade de amido identificada na farinha de amêndoa da cultivar Tommy Atkins foi de 61,5%, estando em concordância com Kaur e colaboradores (2004), que afirmam que a farinha de amêndoa de manga possui quantidade de amido superior a 50%. Tendo em vista que o rendimento de amido foi de 39% (tabela 6), podemos afirmar que a extração foi eficaz mostrando que a amêndoa pode ser utilizada como fonte alternativa de amido frente às fontes convencionais.

A porcentagem encontrada para a fração lipídica (10,6%) foi semelhante a valores encontrados na literatura (ABDALLA et al., 2007; JAHURUL et al., 2013; GUNSTONE, 2011). Estudos relatam que a fração lipídica varia conforme a cultivar avaliada. Por exemplo, cultivares do tipo Zebda (8,1%), Kibangou (13,3%) e Maçã

(11,3%), possuem valores distintos de composição (ASHOUSH e GADALLAH, 2011; NZIKOU et al., 2010; JAHURUL et al., 2015).

O teor de umidade encontrado no amido de manga foi de 11%. Esse valor é considerado alto quando comparado a outros compostos como quitosana (6,9%), pectina (8,3%) ou galactomanano (7,5%) (MOURA et al., 2006; YANG, TAI-HUA E MENG-MEI, 2018; RASHID, HUSSAIN e AHMED, 2018). Essa alta pode ser explicada devido à característica hidrofílica do amido que está diretamente relacionada à quantidade de grupamentos hidroxilas livre na molécula (KOCH, 2018). Valor semelhante de umidade foi encontrado por Mendes, Bora e Ribeiro (2012) para amido de amêndoa de manga.

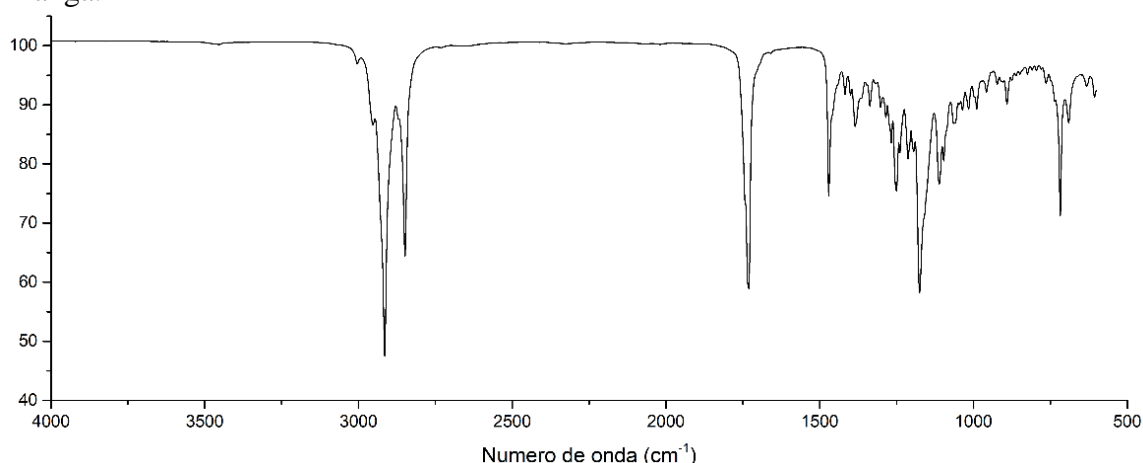
A elevada pureza do amido (85,5%) em relação ao obtido por Cordeiro (2013), que foi de 72,7% pode estar associada às distintas etapas do processo de obtenção do amido. No presente estudo anteriormente a extração do amido foram extraídos compostos que poderiam ser possíveis contaminantes no amido. A elevada pureza está associada também a baixos valores de proteínas e cinzas que, para o amido de manga do presente trabalho encontram-se baixos (MAARAN et al., 2014; PIECYK et al., 2013).

O teor de amilose encontrado para o amido de manga foi de 30,5%, sendo superior ao encontrado para amidos de fontes convencionais como milho, batata e trigo, respectivamente 27%, 20% e 25% (BASIAK, LENART e DEBEAUFORT, 2017). A identificação do teor de amilose é importante, pois altas concentrações favorecem a formação de gel após a gelatinização. Em amidos nativos (que não passam por alterações) a concentração de amilose varia de 15 a 30% (WONG et al., 2007), estando em conformidade com o amido de manga obtido no presente trabalho.

### ***5.2.2 Gordura de amêndoa de manga***

Na figura 11 está apresentado o espectro de FT-IR obtido para a gordura obtida a partir da farinha da amêndoa de manga.

Figura 11 – Espectro de FT-IR da gordura obtida a partir da farinha de amêndoa de manga.



Fonte: Laboratório de produtos e tecnologia em processos – LPT/UFC.

A absorção de CH, CH<sub>2</sub> e CH<sub>3</sub> alifáticos foram identificadas nas bandas, 2800 - 3000 cm<sup>-1</sup>, 1470 cm<sup>-1</sup>. As bandas em 1050 - 1100 cm<sup>-1</sup> indicam a presença de alcanos ou cadeias de hidrocarbonetos alifáticos em compostos heteroatômicos. As bandas entre 1650 - 1750 cm<sup>-1</sup> sugerem presença de ácidos carboxílicos e aldeídos, sendo o primeiro representado por uma banda de absorção a 1700 cm<sup>-1</sup> e o segundo pelas vibrações de C = O a 1740 cm<sup>-1</sup> (DEMIRAL e AYAN, 2011). A tabela 8 mostra a composição majoritária correspondente a 94,8% dos ácidos graxos presentes na gordura obtida a partir da farinha de amêndoa de manga.

Tabela 8 – Ácidos graxos identificados na gordura obtida a partir da farinha de amêndoa de manga da cultivar Tommy Atkins.

Ácido graxo	Nome sistemático	Proporção (%)
Palmítico (C16:0)	Palmitato de metila	6,6
Esteárico (C18:0)	Octadecanoato de metila	36,3
Oleico (C18:1 n9)	Cis 9 oleato de metila	41,5
Linoleico (C18:2 n6)	Linoleato de metila	6,2
Araquídico (C20:0)	Aracdato de metila	1,8
cis-13-16-Docosadienóico (C22:2)	cis 13,16 Docosadienoato de metila	2,4

Fonte: Laboratório de processos agroindustriais – LPA/Embrapa.

Avaliando a composição de ácidos graxos identificados para a cultivar Tommy Atkins, temos que mais de 50% é composto de ácidos esteárico e oleico. Assim como para cultivares como, Zebda (ABDEL et al., 2012), Kaew (SONWAI e KAPHUEAKNGAM, 2014), Miyazaki (WU et al., 2015) e Nenúfar (JAHURUL et al.,

2014b) em que estes ácidos graxos são predominantes. Estudo realizado por Akanda e colaboradores (2015) inferiu que a composição dessa gordura é semelhante à de manteiga de cacau. O que é reafirmado pelo estudo de Muchiri e colaboradores (2012) onde, afirmam que as propriedades físico-químicas das gorduras são equivalentes. Os autores ainda sugerem que a gordura da amêndoa pode ser um potencial substituto para a manteiga de cacau na indústria de alimentos.

### 5.2.3 Extrato de fenólicos de amêndoa de manga

A tabela 9 mostra o resultado da identificação dos compostos via UPLC-QTOF-MS e suas respectivas massas e fragmentos obtidos no cromatograma (figura 12) do extrato de fenólicos obtido da farinha de amêndoa de manga.

Tabela 9 – Moléculas identificadas via UPLC-QTOF-MS presentes no extrato de fenólicos da amêndoa.

Nº	RT (min)	[M-H] Experimental	[M-H] Calculado	[M-H] Fragmentos	Fórmula molecular	Nome dos metabólitos	Referência
1	3.29	183,0285	183,0293	124,0164; 78,0112	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>5</sub>	Galato de Metila	
2	3.67	787,0986	787,0994	635,0906; 617,0861; 465,0763;	C <sub>34</sub> H <sub>28</sub> O <sub>22</sub>	<i>Tetra-O-galloyl-glucoside</i>	
3	4.00	169,0137	169,0134	125,0213;	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	Ácido Gálico	DORTA et al., 2014
4	4.02	300,9990	300,9984	247,0223;	C <sub>14</sub> H <sub>6</sub> O <sub>8</sub>	Ácido Elágico	
5	5.33	939,1109	939,1104	787,1072; 737,1063; 663,1379;	C <sub>41</sub> H <sub>32</sub> O <sub>26</sub>	<i>Penta-O-galloyl-glucoside</i>	

\*Compostos já identificados em literatura para distintas cultivares de *Mangifera indica* L.  
Fonte: Laboratório multiusuário de química de produtos naturais – LMPQN/Embrapa.

Analisando o cromatograma (figura 12) foi possível identificar os compostos bioativos presentes no extrato, por meio dos dados de massas moleculares e respectivos fragmentos. Dorta e colaboradores (2014) identificaram os mesmos compostos em extratos obtidos de amêndoas de diferentes cultivares de manga, apresentando massas moleculares e fragmentos semelhantes aos obtidos no presente trabalho. Ao analisar o extrato da amêndoa da cultivar Ataulfo Torres-León e colaboradores (2017) identificaram o composto n° 5 como predominante na composição.

Na tabela 10 está a quantidade de polifenóis totais quantificado para a farinha de amêndoa e extrato de fenólicos de manga.

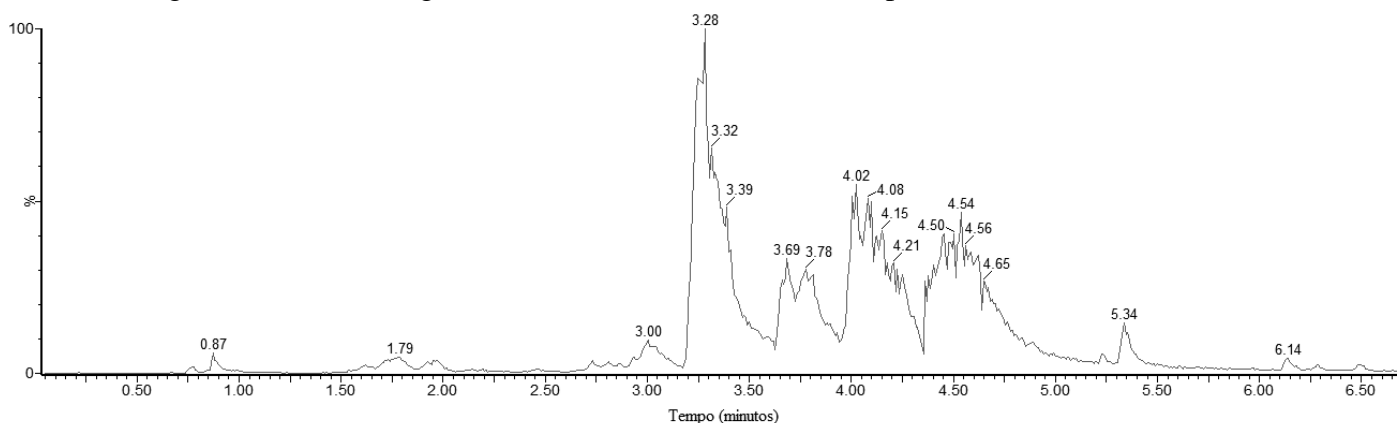
Tabela 10 – Teor de polifenóis totais quantificado em farinha de amêndoa e extrato de fenólicos de manga.

<b>Material</b>	<b>Resultado (mg GAE / 100g)</b>
Farinha de amêndoa	57,8
Extrato de fenólicos	340

Fonte: Laboratório multiusuário de química de produtos naturais – LMPQN/Embrapa.

Em estudo realizado por Sogi e colaboradores (2013) avaliando a influencia de processos de secagem sobre o teor de fenólicos de amêndoa de manga encontrou para a cultivar Tommy Atkins 20 mg GAE / 100 g de amêndoa. O alto teor de fenólicos para ambos os materiais do presente trabalho mostram que o processo de obtenção tanto da matéria prima quanto do extrato não degradou os compostos fenólicos. A alta concentração de fenólicos infere uma elevada atividade antioxidante, efeito desejado para o filme elaborado com o extrato de fenólicos da manga.

Figura 12 – Cromatograma obtido via UPLC-QTOF-MS para o extrato de fenólicos.

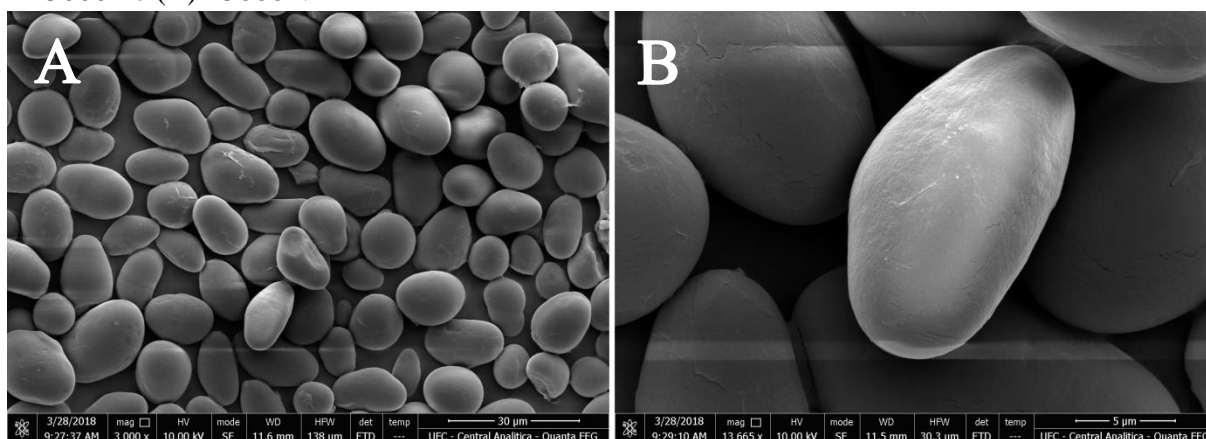


Fonte: Laboratório multiusuário de química de produtos naturais – LMPQN/Embrapa.

#### **5.2.4 Amido de amêndoa de manga**

Na figura 13 estão apresentadas fotomicrografias dos grânulos de amido de manga da cultivar Tommy Atkins. As metodologias de extração e branqueamento não influenciaram na apresentação do amido, resultando em um produto com aspectos visuais semelhantes aos de amidos comerciais de fontes alimentares.

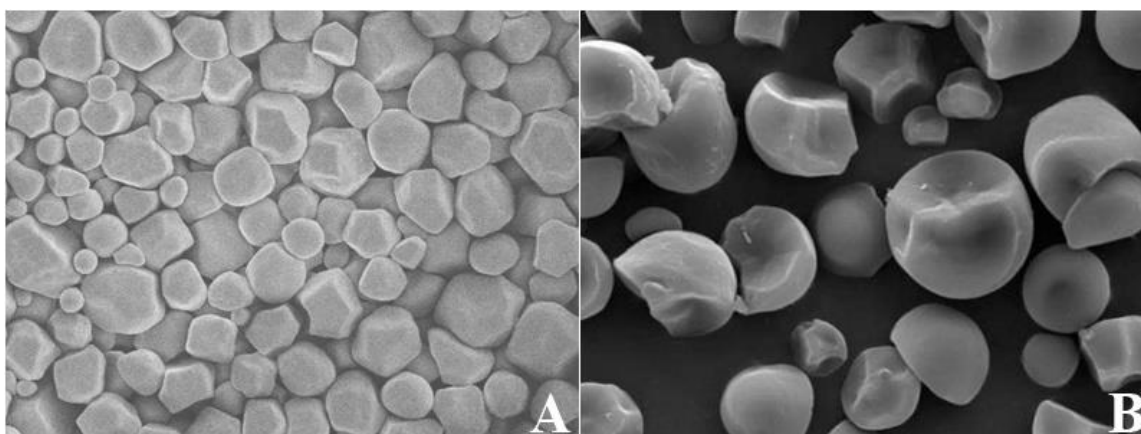
Figura 13 – Foto micrografias de varredura do amido de manga com aumento de (A) 3000x e (B) 13000x.



Fonte: Central analítica – UFC.

Foi possível, a partir das micrografias obtidas, avaliar a morfologia dos grânulos de amido. Os grânulos apresentaram-se íntegros e com poucas áreas de aglomeração, diferente dos grânulos do amido de tamarindo obtido por Sudharsan e colaboradores (2016), que apresentaram superfície áspera, forma irregular e múltiplas camadas. Nota-se que foram obtidos grânulos com aspecto visual semelhante aos de amidos de fontes comerciais (figura 14), indicando que o processo de branqueamento aplicado não foi agressivo a ponto de danificar a estrutura dos grânulos, viabilizando a aplicabilidade em baixas concentrações e consequentemente uma boa eficiência da metodologia.

Figura 14 – Fotomicrografias de amidos de (A) milho aumentado em 800x e (B) mandioca aumentado em 5000x.



Fonte: Li e colaboradores (2018) e Monroy, Rivero e García (2018).

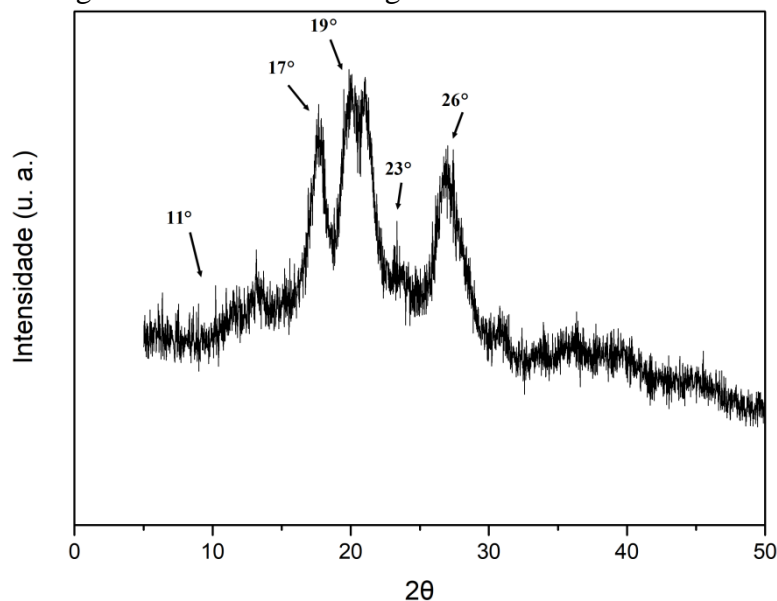
As dimensões dos grânulos do amido obtido (9 - 11  $\mu\text{m}$ ) foram semelhantes à de fontes convencionais como batata (15 - 75  $\mu\text{m}$ ), arroz (3 - 8  $\mu\text{m}$ ) e milho (5 - 20  $\mu\text{m}$ ).

Devido às dimensões apresentadas pelo amido de manga ele torna-se mais semelhante ao amido de milho, dentre as variedades alimentares. Fatores como a capacidade de absorção de água e digestibilidade do amido, estão associados diretamente ao tamanho do grânulo. Esse fator determina a digestibilidade do amido e classifica-o como amido de rápida, lenta e resistente digestão (HOOVER et al., 2010; ENGLYST, KINGMAN e CUMMINGS, 1992; OYEYINKA e OYEYINKA, 2018).

Os formatos dos grânulos apresentaram-se majoritariamente ovóides e elípticos, corroborado pelas características do amido de manga Tommy Atkins encontrado por Oliveira (2016). Superfícies lisas e sem fissuras indicam alta pureza do composto provenientes de uma extração com parâmetros bem controlados. As características morfológicas dos amidos variam de acordo com a cultivar, condições ambientais e métodos de extração e purificação (OYEYINKA e OYEYINKA, 2018).

O difratograma do amido de manga está representado na figura 15. A presença do pico em  $19^\circ$  e a ausência do pico em  $23^\circ$  são características de amido com alta concentração de amilose (LONDOÑO-RESTREPO et al., 2014), comprovado pela quantidade de amilose obtida na análise de composição química do amido (30,5%) mencionado anteriormente. Ao estudar amido de manga Cordeiro (2013) identificou picos em  $11^\circ$  e  $17^\circ$  característicos de amido do tipo A, comumente obtidos de cereais. Ao avaliar amido de amendoin Oyeyinka e colaboradores (2015) encontraram picos fracos em  $6^\circ$ ,  $23^\circ$  e  $31^\circ$ , sugerindo amido do tipo C. Os picos evidenciados pelos autores assemelham-se aos encontrados para o presente estudo, corroborando para classificação do amido como tipo C. Esse tipo de amido apresenta mistura de polimorfos dos tipos A e B, característicos de raízes ou leguminosas (PÉREZ et al., 2010).

Figura 15 – Difratoograma do amido de manga.



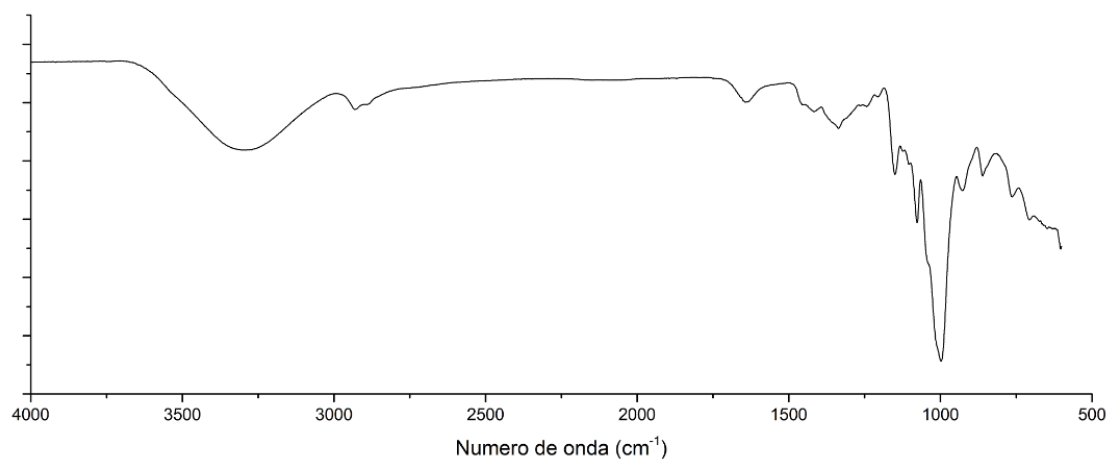
Fonte: Laboratório de raios-X – LRX/UFC.

Estudos anteriores realizados por Oliveira (2016) e Monteiro (2017) relataram padrão para o amido de manga do tipo A. As diferenças de padrão cristalino dos amidos podem ser atribuídas a condições de crescimento, diferenças genéticas e locais de crescimento (AGAMA-ACEVEDO et al., 2015; KAPTSO et al., 2014).

A figura 16 apresenta o espectro de FT-IR obtido a partir da análise do amido da farinha de amêndoa de manga. As bandas encontradas para o amido mostraram-se semelhantes às bandas obtidas para o amido de trigo estudado por Sivam e colaboradores (2013), foram relatadas bandas entre  $800$  e  $1200\text{ cm}^{-1}$  características de polissacarídeos, sendo  $995$  e  $1147\text{ cm}^{-1}$  estando associadas a vibrações de alongamento C – O e C – C. Também foram identificadas bandas em  $3294\text{ cm}^{-1}$  referentes ao estiramento OH, bandas em  $2930\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento de ligação O – H, bandas em  $1629 - 1641\text{ cm}^{-1}$  relativas à água adsorvida na região amorfa dos grânulos e banda em  $924\text{ cm}^{-1}$  para estiramento C – O – C de ligações glicosídicas (ZENG et al., 2011).



Figura 16 – Espectro de FT-IR do amido de manga.

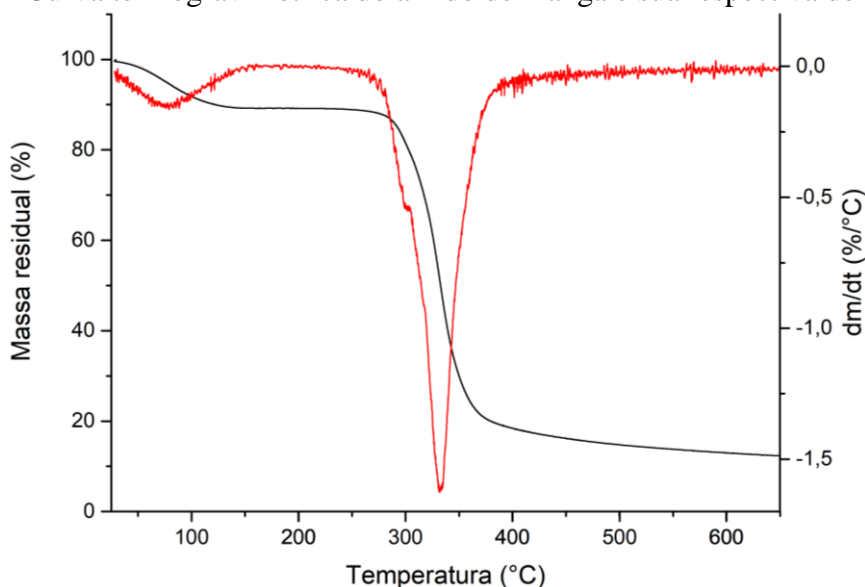


Fonte: Laboratório de produtos e tecnologia em processos – LPT/UFC.

As bandas na faixa de  $864 - 925 \text{ cm}^{-1}$  podem ser atribuídos ao estiramento de ligações C — O. No intervalo de bandas em  $3000 - 2800 \text{ cm}^{-1}$  foi identificada uma banda em  $2931 \text{ cm}^{-1}$  relativa ao alongamento C — H. Segundo Oyeyink e colaboradores (2015) a relação amilose/amilopectina pode influenciar na absorbância do amido nessa região.

A estabilidade térmica e avaliação da perda de massa do amido da amêndoa de manga foram avaliadas através de análise termogravimétrica (TGA/DTA). A figura 17 apresenta a curva termogravimétrica juntamente com sua derivada.

Figura 17 – Curva termogravimétrica do amido de manga e sua respectiva derivada.



Fonte: Laboratório de tecnologia da biomassa – LTB/Embrapa.

Observam-se dois grandes eventos de perda de massa. O primeiro evento ocorreu com uma temperatura de  $76,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  com uma perda de massa de

aproximadamente 11%, atribuída à volatilização da água presente no filme. Para o segundo evento, a degradação inicia em temperatura ( $T_{\text{onset}}$ ) de aproximadamente 305,6 °C. Onde os compostos em maiores quantidades no amido, tais como amilose e amilopectina juntamente com os demais, proteínas e lipídeos, degradam-se com temperatura máxima de 330,3 °C (CORDEIRO, 2013). O pico bem definido observado na figura 17 permitiu a identificação do início e do fim do evento correspondente à degradação térmica. Em temperaturas superiores a 400 °C a perda de massa se estabiliza com resíduo final de 12,3% a 650 °C.

### ***5.2.5 Filmes de amido de manga***

Nas figuras 18 a 21 estão expostas as curvas de contorno para todos os modelos significativos no intervalo de confiança de 95% das propriedades estudadas para os filmes de amido. As curvas de contorno em forma de triângulo apresentam em cada vértice um componente variável (amido, gordura e extrato) em sua máxima concentração. A variação do amido ( $X_1$  - 80 a 100%) inicia em seu vértice e vai até a aresta oposta a ele, relativa à sua menor concentração. Os demais compostos (gordura e extrato) apresentam-se da mesma forma, variando de 0 a 20%.

#### ***5.2.5.1 Propriedades mecânicas***

As propriedades de resistência à tração, alongação na ruptura e módulo de elasticidade dos filmes de amido foram avaliadas e na tabela 11 estão apresentadas as médias e desvios-padrões para cada propriedade. E na tabela 12 encontram-se os coeficientes de regressão e análise de variância dos modelos de delineamento de misturas para propriedades mecânicas. A melhoria mais acentuada pode ser observada para o módulo de elasticidade, com redução de 29,3% em relação ao padrão. Esta propriedade foi reduzida com a incorporação da gordura e extrato de fenólicos, reduzindo a rigidez do filme. Estatisticamente os modelos quadráticos de resistência à tração e módulo de elasticidade foram significativos ( $p < 0,05$ ). Com valores de  $R^2$  maiores a 90% indicando bom ajuste dos modelos aos dados experimentais.

Tabela 11 – Respostas e desvios-padrões das propriedades mecânicas resistência à tração, alongação na ruptura e módulo de elasticidade dos filmes de amido.

Filmes	Proporção dos componentes (%)			Respostas (médias $\pm$ desvio-padrão)		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\sigma$	$\epsilon$	E
1	1	0	0	14,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,71	15,9 <sup>bc</sup> $\pm$ 5,42	839,1 <sup>a</sup> $\pm$ 137,01
2	0,8	0,2	0	4,0 <sup>ef</sup> $\pm$ 0,51	9,3 <sup>c</sup> $\pm$ 3,60	308,6 <sup>def</sup> $\pm$ 38,15
3	0,8	0	0,2	4,0 <sup>ef</sup> $\pm$ 0,64	48,6 <sup>a</sup> $\pm$ 14,57	252,5 <sup>ef</sup> $\pm$ 22,61
4	0,9	0,1	0	5,0 <sup>de</sup> $\pm$ 0,49	49,4 <sup>a</sup> $\pm$ 7,47	390,0 <sup>cd</sup> $\pm$ 9,35
5	0,9	0	0,1	5,8 <sup>d</sup> $\pm$ 1,17	45,6 <sup>a</sup> $\pm$ 13,36	361,0 <sup>cedf</sup> $\pm$ 57,07
6	0,8	0,1	0,1	3,6 <sup>f</sup> $\pm$ 0,30	56,6 <sup>a</sup> $\pm$ 13,42	246,9 <sup>f</sup> $\pm$ 21,18
7	0,87	0,067	0,067	6,9 <sup>c</sup> $\pm$ 0,38	42,2 <sup>a</sup> $\pm$ 6,30	430,9 <sup>c</sup> $\pm$ 27,29
8	0,93	0,033	0,033	10,1 <sup>b</sup> $\pm$ 0,46	26,9 <sup>b</sup> $\pm$ 3,32	657,5 <sup>b</sup> $\pm$ 31,68
9	0,83	0,133	0,033	5,8 <sup>d</sup> $\pm$ 0,37	17,1 <sup>bc</sup> $\pm$ 2,98	389,8 <sup>cde</sup> $\pm$ 39,04
10	0,83	0,333	0,133	5,6 <sup>d</sup> $\pm$ 0,31	55,9 <sup>a</sup> $\pm$ 10,57	322,0 <sup>cedf</sup> $\pm$ 18,48

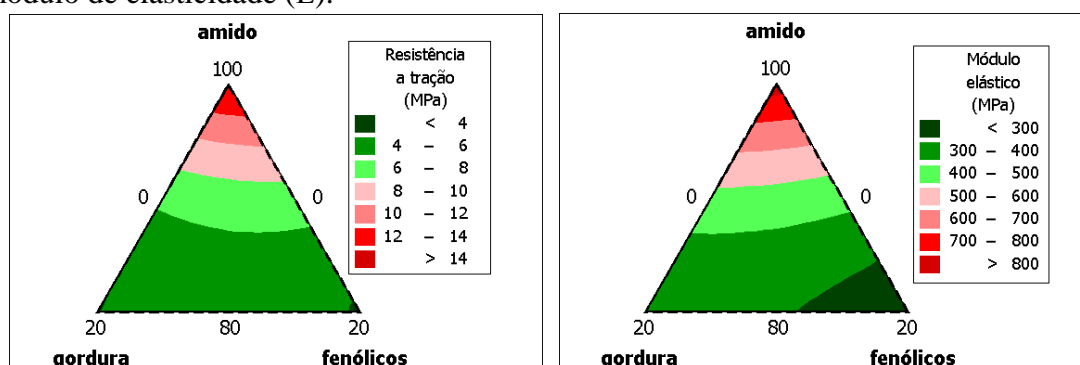
X<sub>1</sub>: amido; X<sub>2</sub>: gordura; X<sub>3</sub>: fenólicos.  $\sigma$ : resistência à tração (MPa);  $\epsilon$ : alongação na ruptura (%); E: módulo de elasticidade (MPa). Valores na mesma coluna acompanhados de pelo menos uma letra em comum não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ). Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 12 – Coeficientes de regressão e análise de variância dos modelos de delineamento de misturas para propriedades mecânicas.

Coeficientes	Respostas		
	$\sigma$	$\epsilon$	E
$\beta_1$	14,41	15,97	847,2
$\beta_2$	3,95	6,28	302,3
$\beta_3$	3,8	52,91	235,5
$\beta_{12}$	-10,82	99,34	-402,8
$\beta_{13}$	-7,72	20,45	-428,4
$\beta_{23}$	4,56	71,63	144,9
R <sup>2</sup> (%)	90,05	72,97	90,78
F	7,24	2,16	7,87
p	0,039	0,238	0,034

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ : coeficientes de regressão para amido, gordura e fenólicos, respectivamente;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$ : coeficientes de regressão interações amido x gordura, amido x fenólicos e gordura x fenólicos, respectivamente.  $\sigma$ : resistência à tração (MPa);  $\epsilon$ : alongação na ruptura (%); E: módulo elasticidade (MPa). Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Curvas de contorno para as propriedades de resistência à tração ( $\sigma$ ) e módulo de elasticidade (E).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Observando os resultados na tabela 11, verifica-se que a resistência à tração apresentou efeito negativo com a incorporação dos compostos (individuais ou combinados). O aumento da incorporação conjunta de gordura e extrato comprometeu a resistência, reduzindo seu valor. Esse comportamento é expresso pelos filmes T8, T7 e T6 com valores respectivos de resistência de 10,1, 6,9 e 3,6 MPa. A adição de lipídeos em filmes a base de polissacarídeos induz o desenvolvimento de estruturas heterogêneas, formando descontinuidades na rede polimérica (BRAVIN, PERESSINI e SENSIDONI, 2004). Este efeito pode ser verificado com dados experimentais como, redução na resistência e no módulo de elasticidade e aumento da elongação, proporcionando uma maior flexibilidade. Essa estrutura heterogênea foi evidenciada com as fotomicrografias de microscópio eletrônico de varredura (figura 24) dos filmes T2 e T6. Ambos apresentaram características supracitadas em sua estrutura e possuem gordura na composição. Isso mostra que possivelmente não houve compatibilidade entre a fração hidrofóbica incorporada e a matriz hidrofílica do filme. Ainda segundo Tapiá-Blácido e colaboradores (2007) filmes com lipídeos apresentam características como as observadas no presente estudo, como maior elongação e baixa resistência, o que foi evidenciado com os dados experimentais e estatísticos.

Para a incorporação isolada de ambos os compostos nos filmes T2/T3 e T4/T5, vemos o mesmo comportamento. Dentre estes, os que apresentaram 90% de amido exibiram maior resistência em relação aos que possuem 80% do polissacarídeo. A influência da concentração do amido é evidenciada na figura 18 com a curva de contorno para a resistência. Maizura e colaboradores (2007) observaram em seus filmes de amido-alginato com de óleo da erva capim-limão que, tratamentos com altas concentrações de amido apresentavam alta resistência. Na presença de altas

concentrações de polissacarídeos as quantidades de ligações intermoleculares aumentam, resultando em uma matriz firme. O módulo de elasticidade e a resistência à tração reduziram com a incorporação de gordura e extrato de fenólicos. Os coeficientes de interação amido x gordura ( $\beta_{12}$ ) e amido x extrato ( $\beta_{13}$ ) (tabela 12) exibem valores negativos corroborando com as curvas de contorno (figura 18) e dados experimentais (tabela 11). As reduções destas propriedades sugerem efeito plastificante de ambos os compostos incorporados. Reafirmando o que foi exposto por outros estudos com incorporação de lipídeos e extratos em filmes a base de polissacarídeos (BRAVIN, PERESSINI e SENSIDONI, 2004; SHOJAEI-ALIABADI et al., 2013; PELISSARI et al., 2009). O modelo de alongação na ruptura não obteve significância ( $p > 0,05$ ).

A menor resistência e maior alongação foram obtidas pelo filme T6, com valores respectivos de 3,65 MPa e 56,61%. Experimentalmente a alongação na ruptura apresentou aumento com a incorporação dos compostos. Para esta propriedade todos os filmes que apresentaram concentrações de extrato a cima de 6,7% apresentaram valores altos de alongação, sem diferença significativa. A adição de 10% de gordura (T4) exibiu o mesmo efeito, elevando a alongação, porém 20% (T2) reduziu a alongação e exibiu diferença significativa. Possivelmente a alta concentração de gordura na composição provocou diversos pontos de instabilidade estrutural favorecendo a ruptura do filme.

Os valores de módulo de elasticidade de polímeros definem o quão rígido o material se apresenta. Devido à incorporação dos compostos foi observada uma redução no valor do módulo, elevando sua flexibilidade. Pelissari e colaboradores (2009) ao elaborar filmes de amido de mandioca com glicerol obtiveram altos valores para o módulo de elasticidade, assim como pode ser observado para o filme T1 com adição apenas de glicerol na composição. Os valores de módulo de elasticidade para o aumento da incorporação conjunta dos compostos apresentaram-se decrescentes e significativamente distintos ( $p < 0,05$ ), respectivamente 657,5, 430,9 e 246,2 MPa. Para a adição individual de cada componente em suas concentrações de 20 e 10% os filmes T2/T3 e T4/T5 exibiram valores reduzidos em relação ao filme T1, mas sem diferença significativa entre si. Shojaei-Aliabadi e colaboradores (2013) relatam que impactos negativos em filmes a base de polissacarídeos com incorporação de gorduras possuem vários fatores como, por exemplo, a fraqueza das interações moleculares na matriz, a descontinuidade na estrutura e efeito plastificante do lipídeo.

### 5.2.5.2 Permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ )

Na tabela 13 encontram-se as médias e desvios-padrões relativos à permeabilidade ao vapor de água para os filmes de amido. Observa-se melhoria significativa para a permeabilidade com a incorporação do extrato de fenólicos. Valores baixos de permeabilidade melhoram a propriedade de barreira em filmes destinados às embalagens de alimentos diminuindo assim os danos causados pela umidade. Na tabela 14 estão os coeficientes de regressão e análise de variância para a permeabilidade ao vapor e na figura 19 está exibida curva de contorno para a propriedade. Estatisticamente o modelo quadrático aplicado para a permeabilidade obteve modelo significativo ( $p < 0,05$ ) com  $R^2$  superior a 90%, inferindo bom ajuste.

Tabela 13 – Respostas e desvios-padrões para a permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ).

Filmes	Proporção dos componentes (%)			Respostas (médias $\pm$ desvio-padrão)
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	
1	1	0	0	$3,0^a \pm 0,13$
2	0,8	0,2	0	$2,6^{ab} \pm 0,13$
3	0,8	0	0,2	$1,8^c \pm 0,12$
4	0,9	0,1	0	$2,9^a \pm 0,07$
5	0,9	0	0,1	$2,6^{ab} \pm 0,26$
6	0,8	0,1	0,1	$2,9^a \pm 0,24$
7	0,87	0,067	0,067	$2,9^a \pm 0,32$
8	0,93	0,033	0,033	$2,7^{ab} \pm 0,08$
9	0,83	0,133	0,033	$2,7^a \pm 0,21$
10	0,83	0,333	0,133	$2,2^{bc} \pm 0,56$

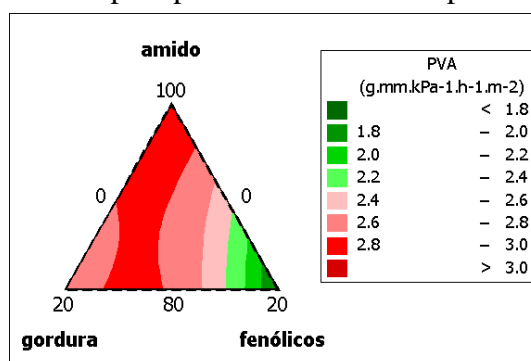
$X_1$ : amido;  $X_2$ : gordura;  $X_3$ : fenólicos.  $P_{VA}$ : permeabilidade ao vapor de água ( $\text{g.mm.kPa}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{m}^2$ ). Valores na mesma coluna acompanhados de pelo menos uma letra em comum não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ). Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 14 – Coeficientes de regressão e análise de variância do modelo de delineamento de misturas para permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ).

Coeficientes	Resposta
	$P_{VA}$
$\beta_1$	3,003
$\beta_2$	2,601
$\beta_3$	1,742
$\beta_{12}$	0,022
$\beta_{13}$	0,461
$\beta_{23}$	2,391
$R^2$ (%)	91,24
F	8,33
p	0,031

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ : coeficientes de regressão para amido, gordura e fenólicos, respectivamente;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$ : coeficientes de regressão interações amido x gordura, amido x fenólicos e gordura x fenólicos, respectivamente.  $P_{VA}$ : permeabilidade a vapor de água ( $\text{g.mm.kPa}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ). Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Curva de contorno para permeabilidade ao vapor de água ( $P_{VA}$ ).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados de permeabilidade apresentaram baixa diferença significativa ( $p < 0,05$ ), os valores obtidos pelos filmes T2, T4, T5, T6, T7, T8 e T9 são indesejáveis para filmes. Estes valores altos podem ser justificados pela plastificação com glicerol devido ao aumento do espaço entre as moléculas. Em filmes de amido de manga Nawab e colaboradores (2016) relataram que a penetração do glicerol na rede de amido rompe a interação intermolecular entre as cadeias aumentando o volume livre. Efeito que pode ser potencializado com a higroscopicidade do amido. Este efeito pode ser observado na curva de contorno de permeabilidade (figura 19), com o aumento da concentração de amido a permeabilidade tende a ser maior.

Os filmes com menores permeabilidades foram o T3 e T10 com valores de 1,8 e 2,2  $\text{g.mm.kPa}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$  respectivamente. Segundo Bordenave, Hamaker e Ferruzzi (2014) as interações não covalentes entre amido e compostos fenólicos envolvem

ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e eletrostáticas e iônicas. As moléculas identificadas no extrato, assim como o amido após gelatinização e plastificação com glicerol, apresentam muitos grupamentos hidroxila livres. A redução na permeabilidade possivelmente ocorreu devido à formação de ligações de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila de ambos os compostos, resultando na redução da disponibilidade desses grupos para interação com vapores de água.

Os valores obtidos por filmes com incorporação de gordura exibiram valores de 2,6 e 2,9  $\text{g.mm.kPa}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , respectivamente T2 e T4, considerados altos quando comparados com os filmes com extrato de fenólicos, uma vez que a gordura é um componente de natureza hidrofóbica. Comportamento evidenciado com a análise da curva de contorno (figura 19). Apesar da incorporação individual da gordura (conteúdo de natureza hidrofóbica), os filmes não apresentaram redução significativa da permeabilidade. Visto também que não apresentaram diferenças significativas entre si. A transmissão dos vapores está relacionada à tortuosidade da via, presença de imperfeições superficiais ou estruturais dos filmes (LUDUEÑA, VÁZQUEZ e ALVAREZ, 2012; VERSINO e GARCIA, 2014). Foram evidenciadas deformidades na superfície do filme T2 por meio de fotomicrografia (figura 24). As deformidades causadas pela incorporação da gordura ocasionaram espaços vazios na estrutura do filme e com isso desenvolvendo canais de fácil permeabilidade. Essas deformidades também afetaram as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade e resistência à tração. Monteiro (2017) reduziu a permeabilidade em filme de amido de manga ao incorporar nanoreforço em sua composição, obtendo menos espaços livres na estrutura. O nanoreforço ocupou os espaços vazios na estrutura fazendo com que a tortuosidade aumentasse, reduzindo a passagem de vapores.

Avaliando o coeficiente individual de amido ( $\beta_1$ ) para permeabilidade observa-se aumento da transmissão de vapores com a sua incorporação. O que é confirmado pelo teste de média (tabela 13) e nas curvas de contorno (figura 19) correlacionado ao fato do amido ser um componente higroscópico. Os coeficientes de interação amido x gordura ( $\beta_{12}$ ) e amido x extrato ( $\beta_{13}$ ) (tabela 14) apresentaram redução dos valores de permeabilidade, porém a maior redução está associada ao extrato de fenólicos.

#### 5.2.5.3 Opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $ABS_{UV}$ )



As propriedades ópticas dos filmes são importantes devido à capacidade de reduzir processos de oxidação causados pela luz ultravioleta (UV) e à transparência do filme facilitando ou não a visualização do produto. Na tabela 15 estão expostas as médias e desvios-padrões para as propriedades de opacidade e absorção de luz ultravioleta dos filmes. O filme T10 exibiu maior opacidade com  $459,3 \text{ A.nm.mm}^{-1}$ . A concentração máxima do extrato exibiu maior potencial de bloqueio de raios ultravioleta ( $3850 \text{ A.nm.mm}^{-1}$ ) para o filme T3. Na tabela 16 estão os coeficientes de regressão e análise de variância das propriedades ópticas dos filmes de amido e na figura 20 estão às curvas de contorno relativas a estas propriedades. Para a propriedade opacidade foi utilizado o modelo linear, pois este mostrou ser significativo ( $p < 0,05$ ).

Tabela 15 – Respostas e desvios-padrões para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta ( $\text{ABS}_{\text{UV}}$ ).

Filmes	Proporção dos componentes (%)			Respostas (médias $\pm$ desvio-padrão)	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	OP	$\text{ABS}_{\text{UV}}$
1	1	0	0	$248,7^e \pm 20,75$	$381,8^d \pm 36,95$
2	0,8	0,2	0	$371,8^{bc} \pm 40,13$	$826,7^{cd} \pm 26,37$
3	0,8	0	0,2	$443,4^a \pm 4,85$	$3850,0^a \pm 80,70$
4	0,9	0,1	0	$272,9^{de} \pm 10,92$	$459,3^d \pm 9,07$
5	0,9	0	0,1	$341,6^{bc} \pm 36,96$	$3277,4^{ab} \pm 485,32$
6	0,8	0,1	0,1	$409,4^{ab} \pm 16,47$	$2890,5^b \pm 265,76$
7	0,87	0,067	0,067	$400,0^{ab} \pm 43,50$	$2836,4^b \pm 498,56$
8	0,93	0,033	0,033	$342,1^{bc} \pm 33,40$	$1405,5^c \pm 120,73$
9	0,83	0,133	0,033	$320,6^{cd} \pm 38,15$	$320,6^d \pm 38,15$
10	0,83	0,333	0,133	$459,3^a \pm 9,07$	$2993,7^b \pm 306,88$

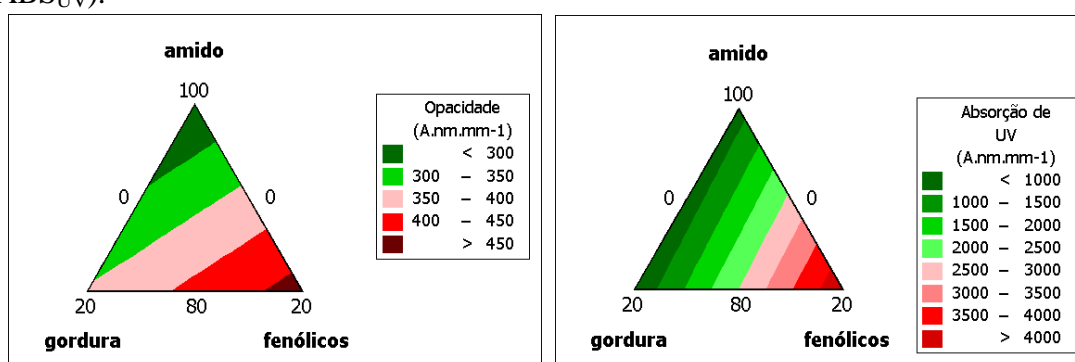
X<sub>1</sub>: amido; X<sub>2</sub>: gordura; X<sub>3</sub>: fenólicos. OP: opacidade ( $\text{A.nm.mm}^{-1}$ );  $\text{ABS}_{\text{UV}}$ : absorção de luz ultravioleta ( $\text{A.nm.mm}^{-1}$ ). Valores na mesma coluna acompanhados de pelo menos uma letra em comum não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ). Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 16 – Coeficientes de regressão e análise de variância dos modelos de delineamento de misturas para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta (ABS<sub>UV</sub>).

Coeficientes	Respostas	
	OP	ABS <sub>UV</sub>
$\beta_1$	257	444
$\beta_2$	354,5	587
$\beta_3$	471,4	3808
$\beta_{12}$	-	-1038
$\beta_{13}$	-	4585
$\beta_{23}$	-	1545
$R^2$ (%)	80,02	90,02
F	14,03	7,22
p	0,004	0,039

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ : coeficientes de regressão para amido, gordura e fenólicos, respectivamente;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$ : coeficientes de regressão interações amido x gordura, amido x fenólicos e gordura x fenólicos, respectivamente. OP: opacidade (A.nm.mm<sup>-1</sup>); ABS<sub>UV</sub>: absorção de luz ultravioleta (A.nm.mm<sup>-1</sup>). Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Curvas de contorno para opacidade (OP) e absorção de luz ultravioleta (ABS<sub>UV</sub>).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O modelo linear aplicado para a opacidade (tabela 16) apresentou melhor significância em relação ao quadrático com ( $p < 0,05$ ). Devido à aplicação deste modelo não foi possível gerar coeficientes de interação para os compostos ( $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$ ). A incorporação individual de gordura e do extrato de fenólicos elevou o valor de opacidade dos filmes. Podendo ser observado com aumento das concentrações de ambos em T2/T4 e T3/T5 (tabela 15). O filme com maior concentração de extrato apresentou diferença significativa para os demais ( $p < 0,05$ ). O aumento da opacidade para filmes com gordura foi causado possivelmente pelo estado físico (sólido) em que o composto se apresenta em temperatura ambiente (25 °C). Partículas que possuem grandes dimensões tendem a refletir mais luz, o que pode explicar a redução da transparência dos filmes com gordura. Caetano e colaboradores (2018) relataram que

em filmes ativos de amido de mandioca a alta concentração de óleo essencial de orégano a opacidade foi elevada em relação ao padrão.

A incorporação conjunta dos compostos nos filmes T8, T7 e T6 não exibiu diferença significativa. Batista e colaboradores (2005) e Tapia-Blácido e colaboradores (2007) relataram que filmes com lipídeos apresentam alta opacidade, o que no presente trabalho a propriedade mostrou-se maior com adição de extrato. A pigmentação conferida pela incorporação do extrato pode ter reduzido a transmissão de luz pelo filme. Esse fenômeno é evidente na figura 20 quando se aumenta a concentração de extrato a opacidade tende a aumentar. O coeficiente individual do extrato ( $\beta_3$ ) (tabela 16) infere que há tendência de aumento na opacidade, porém sem comprometer a transparência do filme. Filmes a base de farinha de chia tiveram maior opacidade atribuída a presença de lipídeos, compostos fenólicos, fibras e proteínas (DICK et al., 2016), composição semelhante à do filme elaborado. O coeficiente individual do amido ( $\beta_1$ ) apresentou-se reduzido em relação ao do extrato ( $\beta_3$ ) para a opacidade, inferindo um filme com alta transparência.

A absorção de luz UV apresentou altos valores, principalmente para os filmes que possuem extrato de fenólicos na composição. Esta propriedade eleva a qualidade dos produtos devido à redução da incidência de raios UV responsáveis por processos oxidativos. O filme com maior absorção foi o T3 com  $3850 \text{ A.nm.mm}^{-1}$  que possui 20% de extrato em sua composição, sendo significativamente igual ao T5. O efeito relativo à potencialização do bloqueio de raios UV é visto na figura 20, no vértice de maior concentração do extrato de fenólicos. Kowalczyk e Biendl (2017) elaboraram filmes com distintas matrizes e variação da concentração de extrato de lúpulo. Os autores relataram alta eficiência para o bloqueio de UV para filmes de amido de batata, atribuindo o efeito a presença de compostos fenólicos absorventes de UV. Para a absorção de luz ultravioleta o coeficiente de interação amido x extrato ( $\beta_{13}$ ) exibiu maior efeito para esta propriedade inferindo maior bloqueio de raios UV (tabela 16). Assim como o exibido na figura 20 com a curva de contorno.

Filmes de quitosana combinado com ácido elágico revelaram alto bloqueio para raios UV com o aumento do componente ativo avaliado em regiões UVA (400-320 nm) e UVB (320-280 nm) (VILELA et al., 2018). Podendo ser inferido ao filme do presente trabalho pelos altos valores de absorbância na região de 220 a 400 nm que engloba regiões de alto e baixo comprimento de onda. É devido à presença do ácido elágico identificado no cromatograma do espectro de massa do extrato (tabela 9). O mesmo

comportamento foi relatado por Kanatt e colaboradores (2012) para filmes de quitosana com extrato natural rico em compostos fenólicos. Em filmes de amido incorporado com extrato de alecrim a eficiência do bloqueio de luz UV foi atribuída aos compostos aromáticos disponíveis no extrato (PIÑEROS-HERNANDEZ et. al., 2017).

#### 5.2.5.4 Atividade antioxidante (AA)

Na tabela 17 estão apresentadas as respostas médias e desvios-padrões para a atividade antioxidante dos filmes de amido. Foi observada alta atividade antioxidante em todos os filmes que contêm extrato de fenólicos em sua composição. A maior atividade foi exibida pelos filmes T5 e T7, respectivamente com concentrações de 10% e 6,7% de extrato. Na tabela 17 estão os coeficientes de regressão de análise do modelo quadrático da resposta para a propriedade. E na figura 21 está a curva de contorno para a atividade antioxidante.

Tabela 17 – Respostas e desvios-padrões para a atividade antioxidante (AA).

Filmes	Proporção dos componentes (%)			Respostas (médias $\pm$ desvio padrão)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	AA
<b>1</b>	1	0	0	2,5 <sup>c</sup> $\pm$ 1,01
<b>2</b>	0,8	0,2	0	3,8 <sup>c</sup> $\pm$ 2,56
<b>3</b>	0,8	0	0,2	92,1 <sup>b</sup> $\pm$ 3,09
<b>4</b>	0,9	0,1	0	4,7 <sup>c</sup> $\pm$ 2,25
<b>5</b>	0,9	0	0,1	98,0 <sup>a</sup> $\pm$ 0,54
<b>6</b>	0,8	0,1	0,1	95,1 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,72
<b>7</b>	0,87	0,067	0,067	97,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,36
<b>8</b>	0,93	0,033	0,033	96,7 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,66
<b>9</b>	0,83	0,133	0,033	94,9 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,08
<b>10</b>	0,83	0,333	0,133	96,5 <sup>ab</sup> $\pm$ 1,49

X<sub>1</sub>: amido; X<sub>2</sub>: gordura; X<sub>3</sub>: fenólicos. AA: atividade antioxidante (%). Valores na mesma coluna acompanhados de pelo menos uma letra em comum não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ). Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 18 – Coeficientes de regressão e análise de variância do modelo de delineamento de misturas para atividade antioxidante (AA).

Coeficientes	Resposta
	AA
$\beta_1$	8,11
$\beta_2$	9,02
$\beta_3$	81,24
$\beta_{12}$	88,24
$\beta_{13}$	252,55
$\beta_{23}$	238,02
$R^2$ (%)	81,55
F	3,54
p	0,122

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ : coeficientes de regressão para amido, gordura e fenólicos, respectivamente;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$ : coeficientes de regressão interações amido x gordura, amido x fenólicos e gordura x fenólicos, respectivamente. AA: atividade antioxidante (%). Fonte: Elaborada pelo autor.

Piñeros-Hernandez e colaboradores (2017) estudaram filmes de amido de mandioca com incorporação de concentração variada de polifenóis. A capacidade de redução do DPPH do composto aumentou linearmente, chegando a 81,9% para 20% de concentração de polifenóis. A adição de extrato de fenólicos de manga mostrou-se mais eficiente, pois a atividade expressa não foi dependente da concentração. Vargas e colaboradores (2017) ao estudarem filmes ativos de amido de arroz vermelho verificaram atividade antioxidante com valores maiores que 90%. Valores estes semelhantes aos obtidos para o extrato de fenólicos do presente trabalho. Esses altos níveis de atividade antioxidante indicam altas concentrações de compostos fenólicos presentes no extrato, nos polifenóis e no amido de arroz vermelho.

Segundo Asif e colaboradores (2016) o extrato de fenólicos de manga é uma fonte rica em compostos fenólicos, principalmente na forma de ácido gálico. Molécula que foi identificada no extrato, além de outras derivadas desse mesmo ácido fenólico e presença de ácido elágico (tabela 9). O alto teor de polifenóis, fitoesteróis e sesquiterpenóides reforçam o potencial antioxidante exibido pelo extrato (BERARDINI et al., 2004, KITTIPHOOM, 2012; SCHIEBER et al., 2003).

Dey e colaboradores (2016) inferem que a atividade antioxidante dos grupos fenólicos do extrato ocorre pelo anel fenólico que desloca o elétron desemparelhado e doa o hidrogênio dos grupos hidroxila. Foi evidenciada que pequena concentração foi suficiente para obtenção de resultados superiores a 90% como, por exemplo, o filme T9 exibiu 94,92% de atividade antioxidante. É possível que a incorporação em baixas

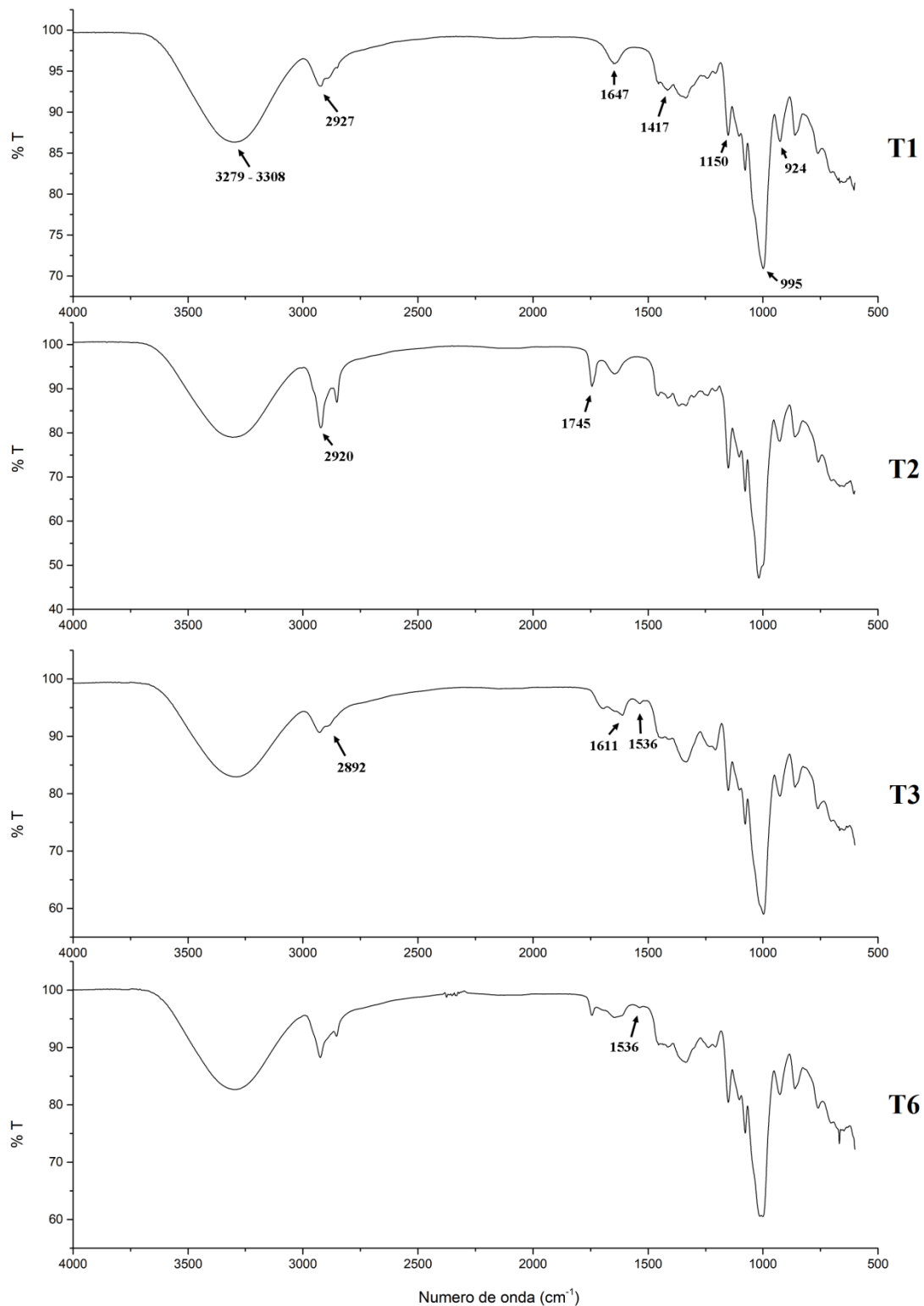
concentrações seja suficiente para exibir a ação necessária. Porém, altas concentrações apresentaram melhorias globais para permeabilidade ao vapor de água e tendencial aumento da elongação, características desejáveis para filmes. Os filmes T1, T2 e T4, com baixa atividade antioxidante, não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). A quantificação de polifenóis no extrato (tabela 10) também corrobora com os resultados obtidos de atividade antioxidante, mostrando elevada concentração de compostos fenólicos.

Visando o estudo da influência da concentração máxima de cada composto individual e da incorporação combinada na composição dos filmes de amido. Os resultados de FT-IR, térmicos e de morfologia foram obtidos para os filmes T1 (100% de amido), T2 (20% de gordura), T3 (20% de extrato de fenólicos) e T6 (10% de gordura e fenólicos).

#### *5.2.5.5 Espectrofotometria no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)*

Na figura 21 encontram-se os espectros de FT-IR para os filmes T1, T2, T3 e T6. Estes espectros permitem a identificação de grupos funcionais presentes na estrutura polimérica, por meio das vibrações moleculares. Avaliando os espectros foi observado que os filmes de amido de manga apresentaram bandas semelhantes às exibidas pelo filme padrão de amido (T1).

Figura 21 – Espectros de FT-IR para os filmes ativos de manga T1, T2, T3 e T6.



Fonte: Laboratório de produtos e tecnologia em processos – LPT/UFC.

Observando as bandas do espectro para os filmes T2, T3 e T6, infere-se que a semelhança com o filme T1 é alta, possivelmente devido a elevada concentração de amido que encobriu as bandas dos demais compostos presentes. Para o filme T1 foram

evidenciadas as bandas em 924, 995 e 1150  $\text{cm}^{-1}$  representando o alongamento C – O no anel da unidade de anidroglicose (AGU) (VU e LUMDUBWONG, 2016). A banda correspondente a água fortemente ligada ao amido está em 1648  $\text{cm}^{-1}$ . Em filmes de amido com farinha foi identificada em 1417  $\text{cm}^{-1}$  um estiramento simétrico relativo ao grupo carboxila – COOH (KIZIL et al., 2002). Em 2927  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída a vibração de alongamento do C – H (GHOSH, DASTIDAR e NETRAVALI, 2013). Para o filme em estudo foi visto entre 3279 - 3308  $\text{cm}^{-1}$  atribuída ao alongamento de grupos – OH. Silverstein, Webster e J-Kiemle (2007) inferem que grupos hidroxila livres absorvem energia nas bandas entre 3650 - 3584  $\text{cm}^{-1}$ , formando pontes de hidrogênio.

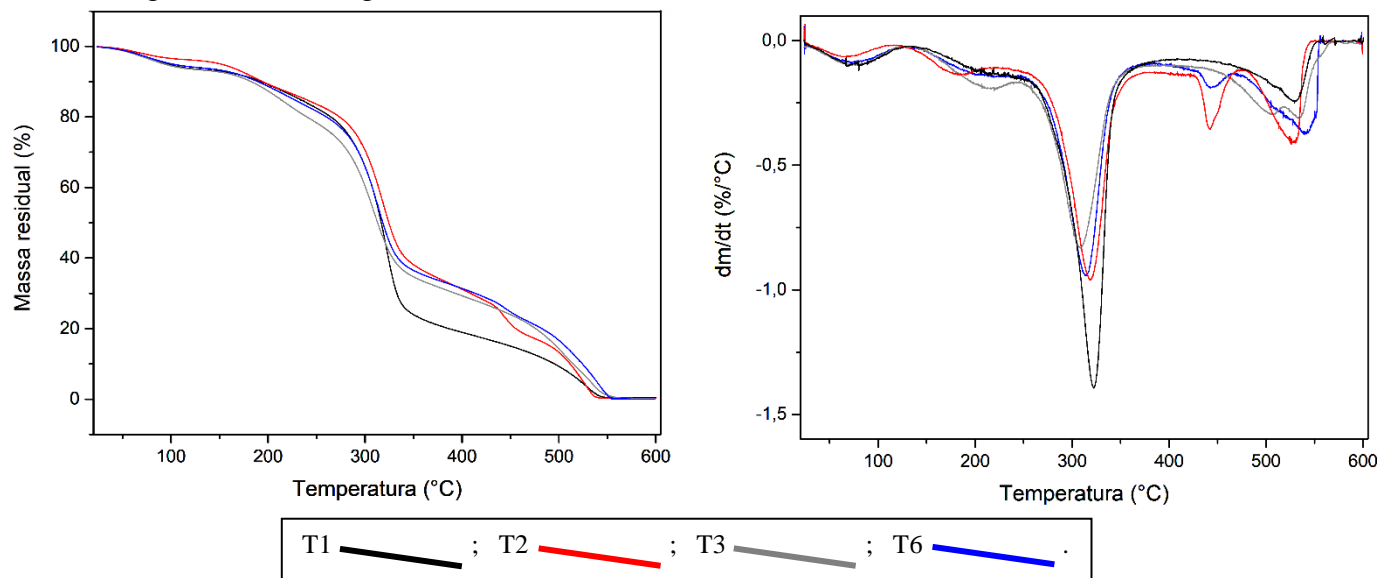
Além das bandas características de amido, para o filme T2 são evidenciadas bandas em 2920  $\text{cm}^{-1}$  relativa a grupos alquila C – H e em 1745  $\text{cm}^{-1}$  banda atribuída à presença de grupos C = O, relativos a ácidos carboxílicos (PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017). No filme T3 as bandas 2892 e 1611  $\text{cm}^{-1}$  são características de ácidos fenólicos (SUN-WATERHOUSE et al., 2009). Segundo Piñeros-Hernandez e colaboradores (2017) a banda em 1536  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a estiramento de anéis aromáticos devido à presença de compostos fenólicos. Para o filme T6 esta banda também foi evidenciada em 1536  $\text{cm}^{-1}$ , em ambas com baixa intensidade possivelmente devido à baixa concentração do composto. Os espectros exibiram pouca interação entre os componentes, mesmo para os que se apresentaram incorporação individual na composição.

#### 5.2.5.6 Análise termogravimétrica (TGA)

A estabilidade térmica e perda de massa dos filmes T1, T2, T3 e T6, foram analisadas através de análise termogravimétrica cujo seus termogramas estão representados na figura 22. A maior estabilidade foi exibida pelo filme de amido T1 com temperatura ( $T_{\text{onset}}$ ) de 296,8 °C.



Figura 22 – Termogramas dos filmes de amido T1, T2, T3 e T6.



Fonte: Laboratório de tecnologia da biomassa – LTB/Embrapa.

A degradação para o filme de amido puro apresentou-se semelhante ao descrito na literatura. Iniciando com pequena perda de massa (10%) no intervalo de temperatura de 50 a 100 °C atribuído à perda de água (PELLISSARI et al., 2009). Seguido de um segundo evento entre 180 e 230 °C, que pode ser atribuído à degradação da fase rica em glicerol e decomposição das ligações glicosídicas. Segundo Pica, Donnadio e Casciola (2012) a presença de glicerol pode acelerar o processo de degradação do amido. E finalizando a degradação total em temperaturas acima de 300 °C ocorrendo a oxidação do amido parcialmente degradado (GARCIA, et al., 2009). Os demais filmes degradaram antes do filme de amido visto as temperaturas ( $T_{\text{onset}}$ ) relativas a eles 293,2 °C (T2), 285,2 °C (T3) e 289,1 °C (T6). O filme T2 apresenta um terceiro evento em temperatura superior a 400 °C, podendo ser relacionado à oxidação lipídica, assim como apresentado pelo filme T6 com menor intensidade devido a redução na concentração de gordura.

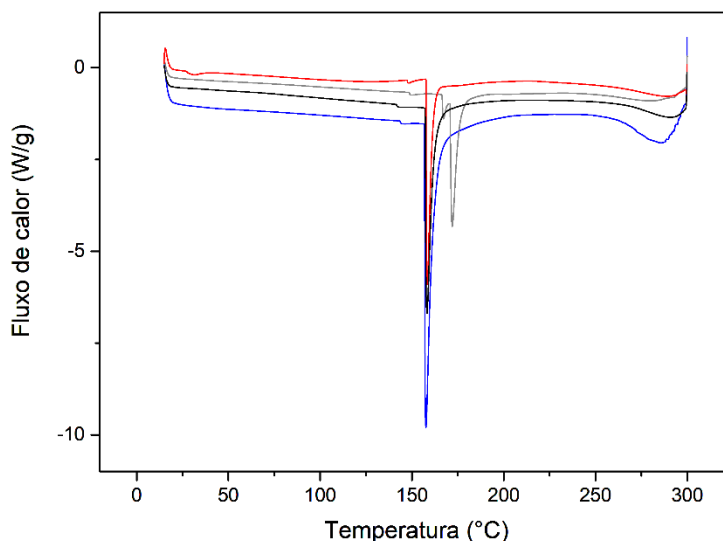
Segundo Pelissari e colaboradores (2012) a estabilidade do óleo de orégano é atribuída à ressonância do anel de benzeno. A estabilidade do filme de gordura se mostrou mais alta possivelmente devido à molécula de gordura necessitar de maior energia para ser degradada. As massas residuais de filmes a base de amido são relativas a componentes inorgânicos e impurezas presentes no material (MARQUES et al., 2006). O teor de massa residual encontrado para o T1 foi de 0,45% a 560 °C o que sugere alta pureza corroborando com a análise química do amido. Os demais filmes

exibiram massa residual abaixo de 0,5% de massa residual. Pode-se concluir que a incorporação dos compostos (individuais ou em conjunto) não afetou a estabilidade térmica dos filmes.

#### 5.2.5.7 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

Na figura 23 estão expostas as curvas de DSC para os filmes T1, T2, T3 e T6. Os filmes analisados apresentaram semelhanças no comportamento térmico e suas temperaturas de transição vítrea mantiveram-se próximas, na faixa de temperatura de 140 a 150 °C.

Figura 23 – Curvas de DSC de filmes de amido T1, T2, T3 e T6.



Fonte: Laboratório de tecnologia da biomassa – LTB/Embrapa.

Ao analisar a figura 23, percebe-se que todos os filmes tiveram um pico endotérmico por volta de 160 °C, exceto para o filme T3. As temperaturas de transição vítrea sofreram leve aumento com a incorporação dos compostos, porém a alteração não foi significativa a ponto de se diferenciar do filme de amido. As entalpias de gelatinização dos filmes T1 e T6 foram semelhantes, mas a do T6 foi maior possivelmente devido a sua composição. Oliveira (2016) ao adicionar nanoreforço em filmes de amido de milho também obteve um significativo aumento da entalpia de gelatinização em relação ao padrão de amido. Segundo Mali e colaboradores (2002) plastificantes tendem a enfraquecer as forças intermoleculares entre cadeias de polímeros, reduzindo a coesão geral e resultando em baixas temperaturas de transição

vítrea. As quantidades de glicerol variaram, mas esse fenômeno supracitado não foi observado para os filmes em estudo. Na tabela 19 estão os valores das temperaturas de transição vítrea e fusão juntamente com as entalpias de gelatinização.

Tabela 19 – Temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), fusão ( $T_m$ ) e entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos filmes ativos de amido.

<b>Tratamento</b>	<b><math>T_g</math> (°C)</b>	<b><math>T_m</math> (°C)</b>	<b><math>\Delta H</math> (J/g)</b>
T1	141,7	158,1	95,8
T2	147,4	158,3	53,19
T3	148,6	172,0	58,39
T6	143,6	157,6	99,6

Fonte: Laboratório de tecnologia da biomassa – LTB/Embrapa.

Em filmes de amido de distintas cultivares de mandioca Londoño-Restrepo e colaboradores (2018) relataram uma temperatura de transição vítrea para os filmes em torno de 60 °C, enquanto para os filmes de amido de manga foram bem superiores, variando entre 141 - 150 °C. Esta temperatura elevada do amido de manga em relação ao amido de mandioca pode ser explicada levando em consideração a menor ordem interna do amido de mandioca o que exige menos energia para a transição. Santacruz e colaboradores (2002) relatam os mesmos valores de temperatura e entalpias de gelatinização encontrados para o amido de mandioca. A evidência de uma elevada energia para os filmes de amido indica que a organização do amido de manga do presente trabalho é alta.

#### 5.2.5.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

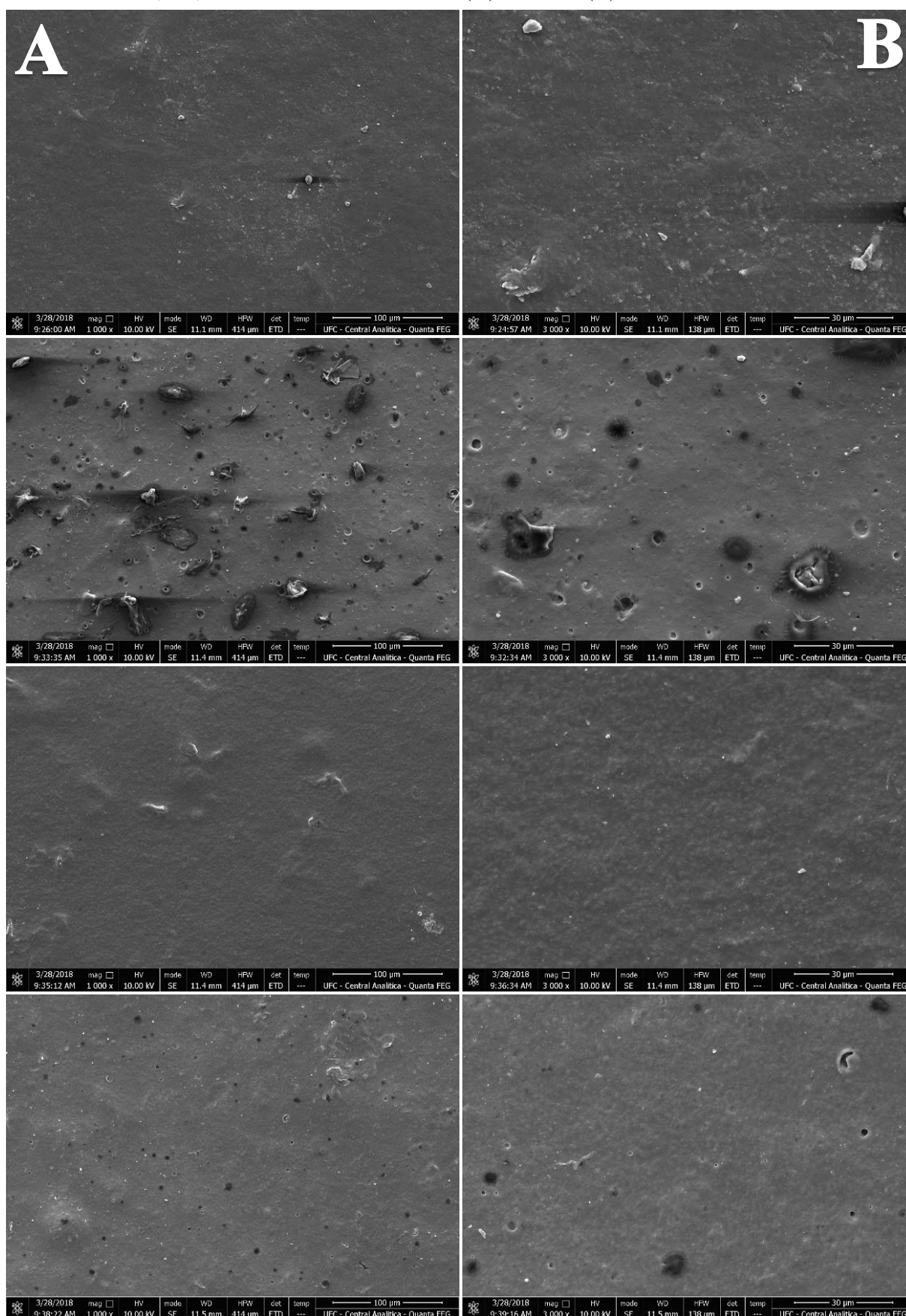
As fotomicrografias das superfícies dos filmes, que permaneceram em contato com o ar atmosférico, encontram-se na figura 24. Os filmes T1, T3 e T6 apresentaram superfície predominantemente lisa e homogênea em comparação com o filme incorporado com 20% de gordura (T2), o qual apresentou superfície irregular, com orifícios e materiais estranhos na superfície.

Os filmes avaliados apresentaram aspecto visual homogêneo, liso e com variação de cor entre levemente branco (para filmes com gordura) e amarelado (para filmes com extrato). Nas fotomicrografias foram observados pontos de aglomeração nas superfícies, podendo ser atribuído ao acúmulo de amido não gelatinizado. Os filmes T2

e T6 apresentaram cavidades na estrutura, sendo mais frequente no filme T2 com 20% de gordura em sua composição. Estas cavidades podem ter colaborado para maior transmissão de vapores de água e pontos de instabilidade estrutural do filme. Também corroborando com valores reduzidos para as propriedades mecânicas resistência à tração e alongação (tabela 11).

Jiménez e colaboradores (2010) relataram que propriedades mecânicas são afetadas quando lipídios são incorporados devido à promoção de descontinuidades na matriz do filme. Estes orifícios podem remeter a ineficiência da desgaseificação da emulsão filmogênica ou a característica do efeito plastificante da gordura. A incorporação do extrato de fenólicos pouco influenciou a estrutura do filme, a qual se manteve lisa e majoritariamente homogênea. Microfissuras são observadas em pontos de possível acúmulo de amido não gelatinizado. Não foram observadas fissuras para os filmes em estudo.

Figura 24 – Fotomicrografias da superfície em contato com o ar atmosférico dos filmes de amido T1, T2, T3 e T6 com aumentos de (A) 1000x e (B) 3000x.



Fonte: Central analítica – UFC.

## 6 CONCLUSÕES

Foi viável a realização da extração sequencial para obtenção de gordura, extrato de fenólicos e amido provenientes de amêndoa de manga cv. Tommy Atkins, e apresentando bons rendimentos em comparação com dados da literatura. Os filmes a base de amido com gordura e extrato de fenólicos apresentaram aspecto visual homogêneo, porém não foi possível definir formulação com incorporação conjunta da gordura e do extrato que apresentasse boas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água.

Foi observado que o extrato de fenólicos quando incorporado individualmente proporcionou melhorias significativas para as propriedades de permeabilidade ao vapor de água, opacidade, absorção de luz ultravioleta e atividade antioxidante, propriedades importantes para filmes com objetivo de retardar processos oxidativos em alimentos, além de apresentar tendência positiva para a alongação na ruptura. Sua aplicação foi mais eficiente quando incorporado individualmente na formulação dos filmes.

A gordura de manga incorporada individualmente no filme apresentou tendência para elevar a alongação na ruptura, porém comprometeu a resistência à tração e módulo de elasticidade. As propriedades de barreira ao vapor de água e opacidade foram afetadas negativamente pela incorporação de gordura de manga. Nas fotomicrografias foi evidenciado que a incorporação da gordura é inviável, pois foram observados diversos pontos de instabilidade estrutural na superfície.

As propriedades térmicas dos filmes de amido não foram afetadas pela incorporação (individual ou conjunta) dos compostos fenólicos e gordura. Infere-se ainda que o filme ativo elaborado tenha potencial de ser classificado como renovável e biodegradável, visto que seus componentes possuem essas propriedades. Avaliando as propriedades obtidas para o filme elaborado, seu uso é indicado para produtos susceptíveis a processos oxidativos causados pela incidência de luz UV. Em estudos futuros faz-se necessário o reforço da estrutura do filme para melhorias mecânicas e de barreira ao vapor de água, além de avaliações de biodegradabilidade do polímero.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. E. M., DARWISH, S. M., AYAD, E. H. E., EL-HAMAHMY, R. M. Egyptian mango by-product 1: Compositional quality of mango seeds kernel. **Food Chemistry**, v. 103, p. 1134 - 1140, 2007.
- ABDEL-RAZIK, M. M.; ASHOUSH, I. S.; YASSIN, N. M. N. Characteristics of mango seed kernel butter and its effects on quality attributes of muffins. **Journal Food Science Technology**, v. 9, n. 2, p. 1 - 9, 2012.
- ABDULLAH, A. S. H., MOHAMMED, A. S., ABDULLAH, R., MIRGHANI, M. E. S., AL-QUBAISI, M. Cytotoxic effects of *Mangifera indica L.* kernel extract on human breast cancer (MCF-7 and MDA-MB-231 cell lines) and bioactive constituents in the crude extract. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 14, n. 1, p. 199, 2014.
- ADILAH, Z. A. M., JAMILAH, B., HANANI Z. A. N. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 207 - 218, 2018.
- AGAMA-ACEVEDO, E., NUÑEZ-SANTIAGO, M. C., ALVAREZ-RAMIREZ, J., BELLO-PÉREZ, L. A. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 124, p. 17 - 24, 2015.
- AKANDA, M. J. H., SARKER, M. Z. I., NORULAINI, N., FERDOSH, S., RAHMAN, M. M., OMAR, A. M. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction parameters of cocoa butter analogy fat from mango seed kernel oil using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 319 - 326, 2015.
- AKYUZ, L., KAYA, M., ILK, S., CAKMAK, Y. S., SALABERRIA, A. M., LABIDI, J., ... SARGIN, I. Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 111, p. 475 - 484, 2018.
- ALMENAR, E. **Innovations in packaging technologies for produce. Part 1: Basic principles of CA/MA and future trends** R.M. Beaudry, M.I. Gil (Eds.), Controlled and

modified atmosphere for fresh-cut produce, Elsevier, Philadelphia (2018)

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2017. **Editores** Gazeta, Santa Cruz do Sul/ RS. 2017, 92p.

AOAC. Official Methods of Analysis. **Association of Official Analytical Chemists**. EUA; 2004.

AROGBA, S. S. Physical, chemical and functional properties of Nigerian mango (*Mangifera indica* L.) kernel and its processed flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 3, p. 321 - 328, 1997.

ASHOUSH, I. S., GADALLAH, M. G. E. Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in biscuit. **World J. Dairy Food Science**, v. 6, n. 1, p. 35 - 42, 2011.

ASIF, A., FAROOQ, U., AKRAM, K., HAYAT, Z., SHAFI, A., SARFRAZ, F., ... AFTAB, S. Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 53, p. 102 - 112, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO, ABIPLAST. Preview - **Perfil 2016: Indústria brasileira de transformação e reciclagem de material plástico**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>> Acesso em: 14 de dezembro de 2017.

ASTM. **Standard test method for water vapor transmission of materials**. E96-00. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. p. 907 - 914, 2000.

ASTM. **Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**. D882-01. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. p. 162 - 170, 2001.

ATARÉS, L., PÉREZ-MASI, R., CHIRALT, A. The role of some antioxidants in the HPMC film properties and lipid protection in coated toasted almonds. **Journal of Food**



**Engineering**, v. 104 (4), p. 649 - 656, 2011.

BAIANO, A. Recovery of biomolecules from food wastes: A review **Molecules**, v. 19 (9), p. 14821 - 14842, 2014.

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., HAGENMAIER, R., BAI, J. (Ed.). Edible coatings and films to improve food quality. 2 ed. **Boca Raton, CRC Press**, p. 448, 2012.

BANERJEE, J., PATTI, A. F., MACFARLANE, D., VIJAYARAGHAVAN, R., SINGH, R. Effect of Drying Methods and Extraction Time-Temperature Regime on Mango Kernel Lipids. **International Journal Food Nutr. Science**, v. 3, n. 2, p. 1 - 10, 2016.

BANERJEE, J., SINGH, R., VIJAYARAGHAVAN, R., MACFARLANE, D., PATTI, A. F., ARORA, A. Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. **Food Chemistry**, v. 225, p. 10 - 22, 2017.

BASIAK, E., LENART, A., DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348 - 356, 2017.

BATISTA, JULIANA A., TANADA-PALMU, PATRÍCIA S., GROSSO, CARLOS R. F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes à base de pectina. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 781 - 788, 2005.

BEEMLER, J., WISTLER, R. Starch: Chemistry and Technology. 3 ed. **Academic Press: USA**, 2009.

BELITZ, H.-D., GROSCH, W. SCHIEBERLE, P. Fruits and fruit products. **Food Chemistry**, p. 807 - 861, 2009.

BELLO-PÉREZ, L. A., MONTEALVO, M. G. M., ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F. M., MENEZES, E. W.

**Carboidratos em Alimentos Regionales Iberoamericano.** São Paulo: Edusp, cap. 1, p. 17 - 46, 2006.

BERARDINI, N., CARLE, R., SCHIEBER, A. Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tommy Atkins') peels, pulp and kernels by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 18, n. 19, p. 2208 - 2216, 2004.

BERTOLINI A. C. Starches: Characterization, Properties, and Applications. **New York: CRC Press**, 2010.

BERTUZZI, M. A., VIDAURRE, E. C., ARMADA, M., GOTTIFREDI, J. C. Water vapor permeability of edible starch based films. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 972 - 978, 2007.

BONILLA, J., TALÓN, E., ATARÉS, L., VARGAS, M., CHIRALT, A. Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films **Journal of Food Engineering**, v. 118 (3), p. 271 - 278, 2013.

BORDENAVE, N., HAMAKER, B. R., & FERRUZZI, M. G. Nature and consequences of non-covalent interactions between flavonoids and macronutrients in foods. **Food & Function**, v. 5, n. 1, p. 18 - 34, 2014.

BRASIL. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BRAVIN, B., PERESSINI, D., SENSIDONI, A. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52 (21), p. 6448 - 6455, 2004.

CAETANO, K. S., LOPES, N. A., COSTA, T. M. H., BRANDELLI, A., RODRIGUES, E., FLÔRES, S. H., CLADERA-OLIVERA, F. Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. **Food Packaging and Shelf Life**, v.

16, p. 138 - 147, 2018.

CARMONA-CABELLO, M., GARCIA, I. L., LEIVA-CANDIA, D., DORADO, M. P. Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, 2018.

CEREDA, M. P. Propriedades gerais do amido. **São Paulo: Fundação Cargill**, 2001.

COMISSÃO EUROPEIA: Health and Consumers Directorate-General, Directorate E6: Safety of the Food chain: Innovation and sustainability - **EU guidance to the Commission regulation** (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. Versão 1.0. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009R0450>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

CORDEIRO, E. M. S. **Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (*Mangifera indica L.*)**, Tommy Atkins. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

CORDEIRO, E. M., NUNES, Y. L., MATTOS, A. L., ROSA, M. F., DE SÁ M. SOUSA FILHO, M., ITO, E. N. Polymer biocomposites and nanobiocomposites obtained from mango seeds. In: **Macromolecular Symposia**, p. 39 - 54, 2014.

DA SILVA, A. C., JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v. 66, p. 493 - 500, 2014.

DEMIRAL, I., AYAN, E. A. Pyrolysis of grape bagasse: effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product. **Bioresour. Technol.**, v. 102, p. 3946 - 3951, 2011.

DEY, T. B., CHAKRABORTY, S., JAIN, K. K., SHARMA, A., KUHAD, R. C. Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 53, p. 60 - 74, 2016.

DICK, M., HENRIQUE PAGNO, C., HAAS COSTA, T. M., GOMAA, A., SUBIRADE, M., DE OLIVEIRA RIOS, A., HICKMANN FLÔRES, S. Edible films based on chia flour: development and characterization. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 2, 2016.

DORTA, E., GONZÁLEZ, M., LOBO, M. G., SÁNCHEZ-MORENO, C., DE ANCOS, B. Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica L.*) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. **Food Research International**, v. 57, p. 51 - 60, 2014.

DORTA, E., LOBO G., GONZÁLEZ, M. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45 (2), p. 261 - 268, 2012.

DUTTA, P. K., TRIPATHI, S., MEHROTRA, G. K., DUTTA, J. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. **Food Chemistry**, v. 114 (4), p. 1173 - 1182, 2009.

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

ELIASSON, A. C. Starch in food – Structure, function and applications. **New York: Boca Raton, CRC**, p. 605, 2004.

ENGLYST, H. N., KINGMAN, S., CUMMINGS, J. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. S33 - S50, 1992.

ESKILSSON, C.S., BJÖRKLUND, E. Analytical-scale microwave-assisted extraction. **Journal of Chromatography A**, v. 902, 227 - 250, 2000.

FAOSTAT, 2017. **FAO statistics, food and agriculture organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 20 de mar. 2017.

FAVERO, L. A. A cultura da manga no São Francisco: posicionamento, limites,

oportunidades e ações estratégicas. Fortaleza: **Banco do Nordeste do Brasil**, 2008.

FECHINE, G. J. M. Polímeros Biodegradáveis: Tipos, mecanismos, normas e mercado mundial. São Paulo-SP: **Editora Mackenzie**, 2013.

FIGUEIREDO, F. F. O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade? **Revista Electrónica De Geografía Y Ciencias Sociales**. Barcelona: Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 v. XVI, n. 387, 2012.

FRANCO, C. M. L., DAIUTO, E. R., DEMIATE, I. M., CARVALHO, L. J. C. B., LEONEL, M., CEREDA, M. P., VILPOUX, O. F., SARMENTO, S. B. S. Propriedades gerais do amido. **São Paulo: Fundação Cargil**, v 1, p. 224, 2001.

GARCIA, L. C., PEREIRA, L. M. R., SARANTÓPOULOS, C. I. G. L., HUBINGER, M. D. Selection of an edible starch coating for minimally processed strawberry. **Food Bioprocess and Technology**, v.3, p. 834 - 842, 2010.

GARCÍA, N. L., FAMÁ, L., DUFRESNE, A., ARANGUREN, M., GOYANES, S. A comparison between the physico-chemical properties of tuber and cereal starches. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 976 - 982, 2009.

GHASEMLOU, M., ALIHEIDARI, N., FAHMI, R., SHOJAEI-ALIABADI, S., KESHAVARZ, B., CRAN, M. J., KHAKSAR, R. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 1117 - 1126, 2013.

GHOSH DASTIDAR, T., NETRAVALI, A. Cross-linked waxy maize starch-based “green” composites. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 1, n. 12, p. 1537 - 1544, 2013.

GUNSTONE, F. (Ed.). Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. **John Wiley & Sons**, 2011.

GUO, P., YU, J., COPELAND, L., WANG, S., WANG, S. Mechanisms of starch

gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 370 - 378, 2018.

HANSEN, N. M. L., PLACKETT, D. Sustainable films and coatings from hemicelluloses: a review. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 6, p. 1493 - 1505, 2008.

HARTMANN, L., LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practices**, v. 22, p.475 - 477, 1973.

HELMUT K. C. (2012), 'Mercado de bioplásticos mundial 2010 / 11-20152020-2025', Disponível em: <<http://www.hkc22.com/bioplastics.html>. Hernandez-Izquierdo>. Acesso em: 14 abr. 2018.

HOOVER, R. Composition molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A Review. **Carbohydrate Polymers**. v. 45, n. 3, p. 253 - 267, 2001.

HUANG, J., ZHANG, Z. Microwave-assisted extraction of quercetin and acid degradation of its glycosides in Psidium guajava leaves. **Analytical Sciences**, v. 20, 395 - 397, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Sistema IBGE de Recuperação Automática - **SIDRA** - 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos: normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo; 2008. (versão eletrônica).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norme internationale: Riz – Détermination de la teneur em amylose. (**ISO 6647**), p. 5, 1987.

IRISSIN-MANGATA, J., BAUDUIN, G., BOUTEVIN, B., GONTARD, N. New plasticizers for wheat gluten films. **European Polymer Journal**, v. 37, p. 1533 - 1541, 2001.

JAHURUL, M. H. A., ZAIDUL, I. S. M., GHAFOOR, K., AL-JUHAIMI, F. Y., NYAM, K. L., NORULAINI, N. A. N., SAHENA, F., OMAR, A. M. Mango (*Mangifera indica L.*) by-products and their valuable components: A review. **Food Chemistry**, Malásia, v. 183,

p. 173 - 180, 2015.

JAHURUL, M. H. A., ZAIDUL, I. S. M., NORULAINI, N. A. N., SAHENA, F., JINAP, S., AZMIR, J., ... OMAR, A. M. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 467 - 476, 2013.

JAHURUL, M. H. A., ZAIDUL, I. S. M., NORULAINI, N. N. A., SAHENA, F., JAFFRI, J. M., OMAR, A. K. M. Supercritical carbon dioxide extraction and studies of mango seed kernel for cocoa butter analogy fats. **CyTA - Journal of Food**, v. 12, n. 1, p. 97 - 103, 2014a.

JAHURUL, M. H. A., ZAIDUL, I. S. M., NORULAINI, N. N., SAHENA, F., KAMARUZZAMAN, B. Y., GHAFUOR, K., OMAR, A. K. M. Cocoa butter replacers from blends of mango seed fat extracted by supercritical carbon dioxide and palm stearin. **Food Research International**, v. 65, p. 401 - 406, 2014b.

JIMÉNEZ, A., FABRA, M. J., TALENS, P., CHIRALT, A. Effect of lipid self-association on the microstructure and physical properties of hydroxypropyl-methylcellulose edible films containing fatty acids. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 3, p. 585 - 593, 2010.

JOSHI, V. K., ATTRI, D. Solid state fermentation of apple pomace for the production of value added products. **Natural Product Radiance**, v. 5(4), p. 289 - 296, 2006.

KANATT, S. R., RAO, M. S., CHAWLA, S. P., SHARMA, A. Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290 - 297, 2012.

KAPTSO, K., NJINTANG, Y., NGUEMTCHOUIN, M., SCHER, J., HOUNHOUIGAN, J., MBOFUNG, C. Physicochemical and micro-structural properties of flours, starch and proteins from two varieties of legumes: Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 4915 - 4924, 2014.

KAUR, M., SINGH, N., SANDHU, K. S., GURAYA, H. S. Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica L.*). **Food Chemistry**, v. 85, n. 1, p. 131 -

140, 2004.

KIM, H. Y., LEE, J. H., KIM, J. Y., LIM, W. J., LIM, S. T. Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. **Starch-Stärke**, v. 64, n. 5, p. 367 - 373, 2012.

KITTIPHOOM, S. Utilization of mango seed. **International Food Research Journal**, v. 19, Issue 4, p. 1325 - 1335, 2012.

KITTIPHOOM, S., SUTASINEE, S. Mango seed kernel oil and its physicochemical properties. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 3, p. 1145 - 1149, 2013.

KIZIL, R., IRUDAYARAJ, J., SEETHARAMAN, K. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50 (14), p. 3912 - 3918, 2002.

KOCH K. Starch in Food (Second Edition) Structure, Function and Applications A Volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, **Technology and Nutrition**, p. 747 - 767, 2018.

KOWALCZYK, D., BIENDL, M. Physicochemical and antioxidant properties of biopolymer/candelilla wax emulsion films containing hop extract – A comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 384 - 392, 2016.

KRAMER, M. E. Structure and function of starch-based edible films and coatings. In M.E. Embuscado & K.C. Huber (Eds.), **Edible Films and Coatings for Food Applications**, Philadelphia, USA: Springer, p. 113 - 114, 2009.

LAUFENBERG, G., KUNZ, B., NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 167 - 198, 2003.

LE CORRE, D., ANGELLIER-COUSSY, H. Preparation and application of starch nanoparticles for nanocomposites: A review. **Reactive and Functional Polymers**, v. 85, p. 97 - 120, 2014.



LI, L., CHEN, H., WANG, M., LV, X., ZHAO, Y., XIA, L. Development and characterization of irradiated-corn-starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 194, p. 395 - 400, 2018.

LI, Z., LIU, W., GU, Z., LI, C., HONG, Y., CHENG, L. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch.. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 189 - 196, 2015.

LONDOÑO-RESTREPO, S. M., RINCÓN-LONDOÑO, N., CONTRERAS-PADILLA, M., ACOSTA-OSORIO, A. A., BELLO-PÉREZ, L. A., LUCAS-AGUIRRE, J. C., ... RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Physicochemical, morphological, and rheological characterization of Xanthosoma robustum Lego-like starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 65, p. 222 - 228, 2014.

LÓPEZ, O. V.; GARCÍA, M. A.; ZARITZKY, N. E. Film forming capacity of chemically modified corn starches. **Carbohydrate polymers**, v. 73, n. 4, p. 573 - 581, 2008.

LORENZO J., GONZÁLEZ, R., SÁNCHEZ, M., AMADO, I., FRANCO D., Effects of natural (grape seed and chestnut extract) and synthetic antioxidants (butylatedhydroxytoluene, BHT) on the physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of dry cured sausage chorizo. **Food Res. Int.**, v. 54, p. 611 - 620, 2013.

LUCHESE, C. L., GARRIDO, T., SPADA, J. C., TESSARO, I. C., DE LA CABA, K. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834 - 839, 2018.

LUDUEÑA, L., VÁZQUEZ, A., & ALVAREZ, V. Effect of lignocellulosic filler type and content on the behavior of polycaprolactone based eco-composites for packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 1, p. 411 - 421, 2012.

MAARAN, S., HOOVER, R., DONNER, E., & LIU, Q. Composition, structure, morphology and physicochemical properties of lablab bean, navy bean, rice bean, tepary bean and velvet bean starches. **Food Chemistry**, v. 152, p. 491 - 499, 2014.

- MAIZURA, M., FAZILAH, A., NORZIAH, M. H., KARIM, A. A. Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. **Journal of Food Science**, v. 72 (6), p. C324 - C330, 2007.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCIA, M. A., MARTINO, M. N., ZARITZKY, N. E. Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 4, p. 379 - 386, 2002.
- MARAN, J. P., SWATHI, K., JEEVITHA, P., JAYALAKSHMI, J., ASHVINI, G. Microwave-assisted extraction of pectic polysaccharide from waste mango peel. **Carbohydrate Polymers**, v. 123, p. 67 - 71, 2015.
- MARINS, J. T., CERQUEIRA, M. A., VICENTE, A. A. Influence of  $\alpha$ -tocopherol on physicochemical properties of chitosan – based films. **Food Hydrocolloids**, n.27 p. 220 - 227, 2012.
- MENDES, M. L. M., BORA, P. S., RIBEIRO, A. P. L. Propriedades morfológicas e funcionais e outras características da pasta do amido nativo e oxidado da amêndoa do caroço de manga (*Mangifera indica L.*), variedade Tommy Atkins. **Revista do Instituto Adolfo Lutz** (Impresso), v. 71, n. 1, p. 76 - 84, 2012.
- MIRABELLA, N., CASTELLANI, V., SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 28 - 41, 2014.
- MONROY, Y., RIVERO, S., GARCÍA, M. A. Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 42, p. 795 - 804, 2018.
- MONTEIRO, A. P. S. **Filmes de amido de amêndoa de manga: influência de nanocristais de amido e celulose**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2017.
- MORAES, A. R. F., VIDIGAL, M. C. T. R., SOARES, N. F. F., MORAES, L. P., MELO, N. R., GONÇALVES, M. P. J. Desenvolvimento e avaliação de filme antimicrobiano

aromatizado para aplicação em massa de pastel. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 537 - 543, 2011.

MORENO, O., ATARÉS, L., CHIRALT, A. Effect of the incorporation of antimicrobial/antioxidant proteins on the properties of potato starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 133, p. 353 - 364, 2015.

MUCHIRI, D. R., MAHUNGU, S. M., GITUANJA, S. N. Studies on mango (*Mangifera indica*, L.) kernel fat of some Kenyan varieties in Meru. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 89, n. 9, p. 1567 - 1575, 2012.

MURALIKRISHNA, G., NIRMALA, M. Cereal amylases – a overview. **Carbohydrate Polymers**. v. 60, p. 163 - 173, 2005.

NAWAB, A., ALAM, F., HAQ, M. A., HAIDER, M. S., LUTFI, Z., KAMALUDDIN, S., HASNAIN, A. Innovative edible packaging from mango kernel starch for the shelf life extension of red chili powder. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, p. 626 - 631, 2018.

NAWAB, A., ALAM, F., HAQ, M. A., HASNAIN, A. Biodegradable film from mango kernel starch: Effect of plasticizers on physical, barrier, and mechanical properties. **Starch-Stärke**, v. 68, n. 9 - 10, p. 919 - 928, 2016.

NAWAB, A., ALAM, F., HASNAIN, A., Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 581 - 586, 2017.

NITHITANAKOOL, S., PITHAYANUKUL, P., BAVOVADA, R. Antioxidant and Hepatoprotective activities of thai mango seed kernel extract. **Planta Médica**, v. 75 (10), p. 1118 - 1123, 2009.

NÚÑEZ-FLORES, R., GIMÉNEZ, B., FERNÁNDEZ-MARTÍN, F., LÓPEZ-CABALLERO, M. E., MONTERO, M. P., GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 163 - 172, 2013.

NUNEZ-SANTIAGO, M. C., BELLO-PEREZ, L. A., TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiacal*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 65 - 75, 2004.

NZIKOU, J. M., KIMBONGUILA, A., MATOS, L., LOUMOUAMOU, B., PAMBOU-TOBI, N. P. G., NDANGUI, C. B., ... DESOBRY, S. Extraction and characteristics of seed kernel oil from mango (*Mangifera indica*). **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 2, n. 1, p. 31 - 35, 2010.

OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations (OECD/FAO). (2015). OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. **OECD Publishing**, Paris. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2015-en](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en)>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

OLIVEIRA, A. V. **Filmes bionanocompósitos à base de amido e nanocristais de amido de amêndoa de manga**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

OLIVEIRA, A. V., SILVA, A. P. M., BARROS, M. O., DE SÁ M. S. F., M., ROSA, M. F., AZEREDO, H. M. Nanocomposite Films from Mango Kernel or Corn Starch with Starch Nanocrystals. **Starch-Stärke**, p. 1800028, 2018.

OLIVEIRA, A., VALENTIM, I. B., SILVA, C. A., BECHARA, E. J. H., BARROS, M. P., MANO, C. M., GOULART., M. O. F. Total phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruit residues. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 469 - 475, 2009.

OYEYINKA, S. A., SINGH, S., ADEBOLA, P. O., GERRANO, A. S., AMONSOU, E. O. Physicochemical properties of starches with variable amylose contents extracted from bambara groundnut genotypes. **Carbohydrate Polymers**, v. 133, p. 171 - 178, 2015.

OYEYINKA, S. A.; OYEYINKA, A. T. A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 62 - 71, 2018.

- PAN, I. F., CABALLERO, J. I. M. Películas y recubrimientos comestibles como herramienta emergente para la industria alimentaria. In Los retos actuales de la industria alimentaria. Universidad de Burgos. **Instituto Tomás Pascual Sanz**, p. 27 - 49, 2011.
- PARKER, R., RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 1 - 17, 2001.
- PELLISSARI, F. M., GROSSMANN, M. V. E., YAMASHITA, F., PINEDA, E. A. G. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch– chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7499 - 7504, 2009.
- PÉREZ, S., BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch-Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389 - 420, 2010.
- PERONI, F. H. G. **Características Estruturais e Físico-Químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 135p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, São Paulo, 2003.
- PICA, M., DONNADIO, A., CASCIOLA, M. Starch/zirconium phosphate composite films: Hydration, thermal stability, and mechanical properties. **Starch-Stärke**, v. 64, n. 3, p. 237 - 245, 2012.
- PIECYK, M., DRUŻYŃSKA, B., WOROBIJ, E., WOŁOSIAK, R., OSTROWSKA-LIGEŻA, E. Effect of hydrothermal treatment of runner bean (*Phaseolus coccineus*) seeds and starch isolation on starch digestibility. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 428 - 437, 2013.
- PIÑEROS-HERNANDEZ, D., MEDINA-JARAMILLO, C., LÓPEZ-CÓRDOBA, A., GOYANES, S. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 488 - 495, 2017.
- PLANTOGRAM. **Mango tree Tommy Atkins variety grafted**, 2015. Disponível em: <[https://plantogram.com/product/mango\\_tommy\\_atkins/](https://plantogram.com/product/mango_tommy_atkins/)>. Acesso em: 12 de agosto de

2018.

PLASTICS EUROPE PLASTICS – The facts 2015 - An analysis of European plastics production, demand and waste data. Disponível em:

<<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics—the-facts-2015.aspx?Page=DOCUMENT&FolID=2>>. Acesso em: 23 mai 2018.

PRANOTO, Y., RAKSHIT, S. K., SALOKHE, V. M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. **LWT-Food Science and Technology**, v. 38, n. 8, p. 859 - 865, 2005.

QUATTARA, B., SIMARD, R., PIETTE, G., BEGIN, A., HOLLEY, R. **Journal Food Science**, v. 65, p. 768-773, 2000.

RASHID, F., HUSSAIN, S., AHMED, Z. Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. **Carbohydrate polymers**, v. 180, p. 88 - 95, 2018.

RHIM, J. W., SHELLHAMMER, T. H. Lipid-based edible films and coatings. Innovations in food packaging. Amsterdam: **Elsevier Science & Technology Books**. In J. H. Han (Ed.), p. 362 - 483, 2005.

RIBEIRO, A. P. L. **Estudo dos amidos de mandioca nativo, modificados e modificados combinados por via química para utilização na indústria alimentícia**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado em Química e Bioquímica de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

RISPAIL, N., MORRIS, P., WEBB, K. Phenolic compounds: extraction and analysis. In: Lotus Japonicus Handbook (edited by A. Marquez). **Berlin: Springer**, p. 349 - 354, 2005.

SAITO, K., KOHNO, M., YOSHIKAWA, F., NIWANO, Y. Extensive screening for edible herbal extracts with potent scavenging activity against superoxide anions. **Plant foods for human nutrition**, v. 63, n. 2, p. 65 - 70, 2008.

SANDHU, K. S., LIM, S. T. Structural characteristics and in vitro digestibility of Mango

kernel starches (*Mangifera indica* L.). **Food Chemistry**, v. 107, Issue 1, p. 92 - 97, 2008.

SANTACRUZ, S., KOCH, K., SVENSSON, E., RUALES, J., ELIASSON, A. C. Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador Part I. Physico-chemical characterisation. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 1, p. 63 - 70, 2002.

SANTOS-SEREJO, J. A. Classificação e descrição botânica. In: PEREIRA, M. E. C., FONSECA, N., SOUZA, F. V. D. (Eds.). Manga: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 1. ed. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, cap. 1, p. 15-17, 2005.

SCHIEBER, A., BERARDINI, N., CARLE, R. Identification of flavonol and xanthone glycosides from mango (*Mangifera indica* L. Cv. "Tommy Atkins") peels by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 17, p. 5006 - 5011, 2003.

SHAH, A. A., HASAN, F., HAMEED, A., AHMED, S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. **Biotechnology advances**, v. 26, n. 3, p. 246 - 265, 2008.

SHOJAEI-ALIABADI, S., HOSSEINI, H., MOHAMMADIFAR, M. A., MOHAMMADI, A., GHASEMLOU, M., OJAGH, S. M., HOSSEINI, S. M., KHAKSAR, R. Characterization of antioxidant - antimicrobial k-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **Int. Journal Biol. Macromol.**, v. 52, p. 116 - 124, 2013.

SILVA, A. C., DE SOUZA, A. P., LEONEL, S., DE SOUZA, M. E., RAMOS, D. P., TANAKA, A. A. Growth and flowering of five mango cultivar under subtropics conditions of Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 03, p. 393, 2014.

SILVA, M. F. O., COSTA, L. M., PEREIRA, F. S., COSTA, M. A., A indústria de transformação de plásticos e seu desempenho recente. **BNDES Setorial** 38, p. 131 - 172, 2013.

SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X., J-KIEMLE, D. **Identificação espectrofotométrica de compostos orgânicos**. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2007.

- SIMÃO, R. A., SILVA, A. P. F. B., PERONI, F. H. G., DO NASCIMENTO, J. R. O., LOURO, R. P., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R. Mango starch degradation. I. A microscopic view of the granule during ripening. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 16, p. 7410 - 7415, 2008.
- SINGH, N., SINGH, J., KAUR, L., SODHI, N. S., GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219 - 231, 2003.
- SIVAKUMAR, D., JIANG, Y., YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica L.*) fruit quality during the export chain. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1254 - 1263, 2011.
- SOARES, N. F., SILVA, W. A., PIRES, A. C. S., CAMILLOTO, G. P., SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370 - 378, 2015.
- SOGI, D. S., SIDDIQ, M., GREIBY, I., DOLAN, K. D. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2649-2655, 2013.
- SOLÍS-FUENTES, J. A., DURÁN-DE-BAZÚA, M. C. Mango (*Mangifera indica L.*) seed and its fats. In V. Preedy, R. R. Watson, V. B. Patel (Eds.), *Nuts and Seeds in health and disease prevention*. **San Diego: Academic Press**. v. 88, p. 741 - 748, 2011.
- SONWAI, S., KAPHUEAKNGAM, P., FLOOD, A. Blending of mango kernel fat and palm oil mid-fraction to obtain cocoa butter equivalent. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2357 - 2369, 2014.
- SOONG, Y. Y., BARLOW, P. J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 88, p. 411 - 417, 2004.
- SOUZA, N. F., PINHEIRO, J. A., BRIGIDA, A. I. S., MORAIS, J. P. S., ROSA, M. F. Fibrous residues of palm oil as a source of green chemical building blocks. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 480 - 489, 2016.



SRICHUWONG, S., SUNARTI, T. C., MISHIMA, T., ISONO, N., HISAMATSU, M. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 4, p. 529 - 538, 2005.

SUDHARSAN, K., MOHAN, C. C., BABU, P. A. S., ARCHANA, G., SABINA, K., SIVARAJAN, M., SUKUMAR, M. Production and characterization of cellulose reinforced starch (CRT) films. **International journal of biological macromolecules**, v. 83, p. 385 - 395, 2016.

SUN-WATERHOUSE, D., CHEN, J., CHUAH, C., WIBISONO, R., MELTON, L. D., LAING, W., ... SKINNER, M. A. Kiwifruit-based polyphenols and related antioxidants for functional foods: kiwifruit extract-enhanced gluten-free bread. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 60, n. sup7, p. 251 - 264, 2009.

SUTHERLAND, W. J., BARDSLEY, S., BENNUN, L., CLOUT, M., CÔTÉ, I. M., DEPLEDGE, M. H., ... GIBBONS, D. W. Horizon scan of global conservation issues for 2011. **Trends in ecology & evolution**, v. 26, n. 1, p. 10 - 16, 2011.

TAPIA-BLÁCIDO, D., MAURI, A. N., MENEGALLI, F. C., SOBRAL, P. J. A., AÑÓN, M. C. Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 5, p. E293 - E300, 2007.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, p. 65 - 84, 2002.

TORRES-LEÓN, C., ROJAS, R., CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C., SERNA-COCK, L., BELMARES-CERDA, R. E., AGUILAR, C. N. Mango seed: functional and nutritional properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 55, p. 109 - 117, 2016.

TORRES-LEÓN, C., ROJAS, R., SERNA-COCK, L., BELMARES-CERDA, R., AGUILAR, C. N. Extraction of antioxidants from mango seed kernel: Optimization assisted by microwave. **Food and Bioproducts Processing**, v. 105, p. 188 - 196, 2017.

TÜRE, H., GÄLLSTEDT, M., HEDENQVIST, M. S. Antimicrobial compression-moulded wheat gluten films containing potassium sorbate. **Food research international**, v. 45, n. 1, p. 109 - 115, 2012.

VALDÉS, A.; MELLINAS, A. C.; RAMOS, M., GARRIGÓS, M. C.; JIMÉNEZ, A. Natural additives and agricultural wastes in biopolymer formulations for food packaging. **Frontiers in chemistry**, v. 2, 2014.

VAN DYK, J. S., GAMA, R., MORRISON, D., SWART, S., PLETSCHKE, B. I. Food processing waste: Problems, current management and prospects for utilisation of the lignocellulose component through enzyme synergistic degradation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 521 - 531, 2013.

VERSINO, F., GARCÍA, M. A. Cassava (*Manihot esculenta*) starch films reinforced with natural fibrous filler. **Industrial Crops and Products**, v. 58, p. 305 - 314, 2014.

VIEIRA, P. A. F., QUEIROZ, J. H., VIEIRA, B. C., MENDES, F. Q., BARBOSA, A. A., MULLER, E. S., SANT'ANA, R. C. O., MORAES, G. H. K. Caracterização química do resíduo do processamento agroindustrial da manga (*Mangifera indica L.*) var. Ubá. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, p. 617 - 623, 2009.

VILELA, C., PINTO, R. J., COELHO, J., DOMINGUES, M. R., DAINA, S., SADOCCO, P., ... FREIRE, C. S. Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 73, p. 120 - 128, 2017.

VU, H. P. N., LUMDUBWONG, N. Starch behaviors and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers. **Carbohydrate polymers**, v. 154, p. 112 - 120, 2016.

WANG, H., HU, D., MA, Q., WANG, L. Physical and antioxidant properties of flexible soy protein isolate films by incorporating chestnut (*Castanea mollissima*) bur extracts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 71, p. 33 - 39, 2016.

WENG, W., ZHENG, H. Effect of transglutaminase on properties of tilapia scale gelatin

films incorporated with soy protein isolate. **Food Chemistry**, v. 169, p. 255 - 260, 2015.

WITCZAK, M., ZIOBRO, R., JUSZCZAK, L., KORUS, J. Starch and starch derivatives in gluten-free systems—A review. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 46 - 57, 2016.

WONG, C. W., MUHAMMAD, S. K. S., DZULKIFLY, M. H., SAARI, N., GHAZALI, H. M. Enzymatic production of linear long-chain dextrin from sago (*Metroxylon sagu*) starch. **Food Chemistry**, v. 100, n. 2, p. 774 - 780, 2007.

WU, S., TOKUDA, M., KASHIWAGI, A., HENMI, A., OKADA, Y., TACHIBANA, S., NOMURA, M. Evaluation of the fatty acid composition of the seeds of *Mangifera indica* L. and their application. **Journal of Oleo Science**, v. 64, n. 5, p. 479 - 484, 2015.

YANG, JS., TAI-HUA, MU., MENG-MEI MA. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. **Food chemistry**, v. 244, p. 197 - 205, 2018.

YATES, M. R., BARLOW, C. Y., Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers - A critical review. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 78, p. 54 - 66, 2013.

ZENG, S., WANG, S., XIAO, M., HAN, D., MENG, Y. Preparation and properties of biodegradable blend containing poly (propylene carbonate) and starch acetate with different degrees of substitution. **Carbohydrate polymers**, v. 86, n. 3, p. 1260 - 1265, 2011.