



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS

MARIA NICHEILLY PONTES ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO  
DE MILHO ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CÚRCUMA (*Cúrcuma  
Longa L.*)**

Recife

2021

MARIA NICHEILLY PONTES ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO  
DE MILHO ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CÚRCUMA (*Cúrcuma  
Longa L.*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para a obtenção do título de Mestra em Ciência de Materiais.

Área de concentração: Materiais Não Metálicos

Orientadora: Profa. Dra. Glória Maria Vinhas

Coorientadora: Profa. Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida

Orientadora externa: Dra. Cristiani Viegas Brandão Grisi

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Fernanda Bernardo Ferreira, CRB4-2165

A663d Araújo, Maria Nicheilly Pontes  
Desenvolvimento e caracterização de filmes ativos de amido de milho aditivados com óleo essencial de Cúrcuma (Cúrcuma Longa L.) Maria Nicheilly Pontes Araújo– 2021.  
87 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Glória Maria Vinhas.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN, Ciência de Materiais, Recife, 2021.  
Inclui referências.

1. Materiais poliméricos. 2. Embalagens ativas. 3. Materiais biodegradáveis. 4. Amido de Milho. I. Vinhas, Glória Maria (orientadora). II. Título.

620.19                      CDD (23. ed.)                      UFPE- CCEN 2021 - 57

MARIA NICHEILLY PONTES ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ATIVOS DE AMIDO  
DE MILHO ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CÚRCUMA (*Cúrcuma  
Longa L.*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para a obtenção do título de Mestra em Ciência de Materiais.

Aprovada em: 16/03/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Glória Maria Vinhas (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro (Examinadora Externa)  
Universidade Federal da Paraíba

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Eduardo Padrón Hernández (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

*Ao meu amável Deus, meus pais, esposo, irmãos e sobrinha, pelo amor, apoio e incentivo que atuaram efetivamente na construção do meu desempenho pessoal e profissional.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por ser minha fonte de coragem e sabedoria, pela grandiosa essência de pai, por renovar diariamente as minhas forças e fornecer estímulo frequente para continuar. Gratidão Senhor por todas as maravilhas, pelo teu amor sincero e por ser tão presente em minha vida.

Aos meus pais, José Pontes Neto e Maria Milremar, pela confiança, amparo e apoio. Em especial, a minha mãe, pela educação, incentivo, atuação e exemplo.

Ao meu esposo, Lucas Gonçalves, pela compressão, paciência amor e apoio. És um grande incentivador dos meus sonhos, minha gratidão por tudo.

A minha sobrinha, Daphne Santana, por ser tão amável, compreensiva e uma das minhas fontes de incentivo.

Aos meus irmãos, Alex, Michelyne e Michelly, pelo amor e por torcerem fielmente pelas minhas conquistas. De igual modo, aos meus cunhados, Júlio César, Nicácia e Erasmo por serem família e apoiadores.

A minha orientadora, Glória Maria Vinhas, pela colaboração, paciência, dedicação, compromisso e atuação. Minha gratidão pela confiança e pela sabedoria compartilhada.

A minha coorientadora, Yêda Medeiros, pelo apoio, compromisso e todas as contribuições realizadas para elaboração desse trabalho.

A minha orientadora externa, Cristiani Viegas, pela dedicação, por todas as ideias trocadas e contribuições fornecidas.

Aos colegas de pesquisa, pelo apoio e colaboração na obtenção de muitas análises. De forma especial, Cybelle Duarte, José Augusto, Paulo, Ivo, Karina, Mariana, Felipe e todos os demais pesquisadores do LPQ que de alguma forma contribuíram.

Aos amigos e colegas do mestrado. Em destaque, Welly Evilly e Higor Diego, pela amizade, parceria e incentivo.

A todos os amigos por acreditarem e apoiarem, em especial a composição do meu quinteto da engenharia de materiais: Anderson, Caike, Fernando e Vanessa. E aos amigos que fazem parte desde sempre, Tecla, Layane, Amanda, Thiago, Maciel e Nikolas.

A Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Materiais pela instrução e formação.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa durante o Mestrado e a todos que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

*“Sei que aqueles que confiam no Senhor têm asas de águia, voam alto, correm sem se cansar, vão para frente sem se fatigar, com suas forças renovadas”.*

(BÍBLIA, Isaías, 40,31)

## RESUMO

A busca por materiais capazes de atender a demanda dos consumidores e da indústria alimentícia na preservação dos alimentos tem gerado grande interesse na área da pesquisa, em especial, no desenvolvimento de embalagens ativas. Diante da suscetibilidade dos alimentos à ação microbiana, oxidativa e perda de qualidade precoce, a proposta dessas embalagens agrega em si diversos valores associados à sustentabilidade e busca prolongar o prazo de validade dos alimentos, por meio da ação de um aditivo incorporado à matriz polimérica. A incorporação de aditivos naturais, como óleos essenciais, tem atraído a produção dessas embalagens no intuito de substituir os aditivos sintéticos, almejando assim, a produção com aditivos contendo compostos químicos inibidores de reações deteriorantes e que garante de igual forma a segurança do consumidor. Desse modo, o objetivo desse estudo foi desenvolver filmes poliméricos com amido de milho, extrato pectinoso obtido do albedo do maracujá, glicerol e óleo essencial de cúrcuma, capazes de promover atividade antimicrobiana e antioxidante para serem aplicados em embalagem de alimentos. Os filmes foram produzidos utilizando a técnica de evaporação do solvente (*solution casting*), variando as concentrações do óleo e avaliando seu efeito em diversas propriedades. Na análise de GC-MS e FTIR foi possível verificar que o óleo essencial de cúrcuma contém elementos químicos antimicrobianos e antioxidantes, como Turmerona,  $\alpha$  - Turmerona e  $\beta$  - Turmerona, sendo confirmada a atividade antimicrobiana no teste de disco-difusão em Ágar contra a bactéria *Staphylococcus Aureus*. Na determinação dos compostos fenólicos foi evidenciado um teor de 49,90 mg EAG/g e atividade antioxidante comprovada pelo método de DPPH e FRAP. Os filmes sintetizados apresentaram-se transparentes, com coloração amarela e espessura uniforme ao longo da variação de óleo, permanecendo também inalterada a solubilidade, permeabilidade e propriedade térmica dos filmes após aditivação. Mecanicamente, o óleo promoveu aumento na resistência mecânica e redução do alongamento, enquanto morfologicamente, promoveu uma região superficial contínua com a presença de heterogeneidades que não afetaram a constituição íntegra do filme. Ainda, pelo teste de aplicação direta do filme como embalagem para pão de forma foi visto que durante nove semanas de análise não foi detectada nenhum tipo de contaminação visível. Assim, os filmes sintetizados são promissores no desenvolvimento de embalagens ativas.

**Palavras-chave:** Embalagens ativas. Materiais biodegradáveis. Amido de Milho. Extrato pectinoso. Óleo essencial de cúrcuma.

## ABSTRACT

The search for materials capable of meeting the demand of consumers and the food industry in the preservation of food has generated great interest in the area of research, especially in the development of active packaging. Given the susceptibility of food to microbial action, oxidative and loss of early quality, the proposal of these packages adds several values associated with sustainability and seeks to extend the shelf life of food, through the action of an additive incorporated into the polymeric matrix. The incorporation of natural additives, like essential oils, has attracted the production of these packages in order to replace synthetic additives, aiming like that, production with additives containing chemical compounds that inhibit deteriorating reactions and which also guarantees consumer safety. Thus, the objective of this study was to develop polymeric films with corn starch, pectinous extract obtained from the passion fruit albedo, glycerol and turmeric essential oil, capable of promoting antimicrobial and antioxidant activity to be applied in food packaging. The films were produced using the solvent evaporation technique (solution casting), varying oil concentrations and evaluating its effect on several properties. In the analysis of GC-MS and FTIR it was possible to verify that the turmeric essential oil had antimicrobial and antioxidant chemical elements, such as Turmerona, Ar - Turmerona and  $\beta$  - Turmerona, the antimicrobial activity was confirmed in the agar disk-diffusion test against *Staphylococcus Aureus* bacteria. The determination of phenolic compounds showed a content of 49.90 mg EAG / g and antioxidant activity proven by the DPPH and FRAP method. The synthesized films were transparent, yellow in color and uniform thickness throughout the oil variation, the solubility also remains unchanged, permeability and thermal property of films after additives. Mechanically, the oil promoted an increase in mechanical strength and reduced elongation, while morphologically, promoted a continuous superficial region with the presence of heterogeneities that did not affect the complete constitution of the film. Also, by the test of direct application of the film as packaging for bread it was seen that during nine weeks of analysis no visible contamination was detected. Thus, synthesized films are promising in the development of active packaging.

**Keywords:** Active packaging. Biodegradable materials. Maize starch. Pectinous extract. Turmeric essential oil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Estrutura química da amilose e amilopectina	25
Figura 2 –	Principais atividades in vitro exibidas pela <i>Cúrcuma longa L</i> e seus derivados	32
Figura 3 –	Mecanismo antioxidante da curcumina	33
Figura 4 –	<i>Cúrcuma longa L.</i> : planta (A); rizoma (B)	33
Figura 5 –	Principais componentes do OEC: ar-turmerona (a), $\alpha$ -turmerona (b) e $\beta$ -turmerona (c)	34
Figura 6 –	Imagem das embalagens confeccionadas com os filmes ativos para pães do tipo forma	46
Figura 7 –	Espectro de infravermelho do óleo essencial de cúrcuma.	49
Figura 8 –	Espectro de infravermelho do filme de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com óleo essencial de cúrcuma.	54
Figura 9 –	Análise das Componentes principais dos filmes de amido/extrato pectinoso e aditivado com 1, 2 e 3% do óleo essencial de cúrcuma.	56
Figura 10 –	Gráfico de loadings dos filmes de amido/extrato pectinoso e aditivado com 1, 2 e 3% do óleo essencial de cúrcuma. Sendo em a) PC1 e em b) PC2.	57
Figura 11 –	Imagens dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC	60
Figura 12 –	Curvas de TGA (a) e DTG (b) dos filmes de amido de milho e aditivados com 1%, 2% e 3% de óleo essencial de cúrcuma.	63
Figura 13 –	Microscopia Eletrônica de Varredura dos filmes (a) AM (amido/extrato pectinoso), (b) AM-C1(1% OEC), (c) AM-C2 (2% OEC) e (d) AM-C3 (3% OEC).	68
Figura 14 –	Análise semanal dos pães de forma embalados pelos filmes de controle, amido/extrato pectinoso e aditivados com óleo essencial de cúrcuma.	70
Figura 15 –	Pão embalado com o filme de controle. Área frontal (a) e área lateral inferior (b).	72

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classificação das embalagens

20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Produção de embalagens no Brasil (valor bruto em bilhões de reais)	20
Tabela 2 –	Composição dos filmes poliméricos ativos	40
Tabela 3 –	Composição do óleo essencial de cúrcuma obtida por GC-MS	47
Tabela 4 –	Teste de inibição microbiana do óleo essencial de cúrcuma	50
Tabela 5 –	Teor de Compostos Fenólicos e Atividade antioxidante do OEC	52
Tabela 6 –	Bandas características no espectro infravermelho para o amido	54
Tabela 7 –	Bandas características no espectro infravermelho para a pectina	55
Tabela 8 –	Transparência dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC	58
Tabela 9 –	Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes enriquecidos com OEC	59
Tabela 10 –	Teor de Compostos Fenólicos e Atividade antioxidante do OEC Espessura, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC	60
Tabela 11 –	Parâmetros mecânicos dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes enriquecidos com OEC	64

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
AM	Amido/extrato pectinoso
AM-C <sub>1</sub>	Amido/extrato pectinoso com 1% de óleo essencial de cúrcuma
AM-C <sub>2</sub>	Amido/extrato pectinoso com 2% de óleo essencial de cúrcuma
AM-C <sub>3</sub>	Amido/extrato pectinoso com 3% de óleo essencial de cúrcuma
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Reflectância Total Atenuada
CLSI	<i>National Committee for Clinical Laboratory Standards</i>
CMC	Carboximetilcelulose
DPPH	2,2-difenil-1-picrilidrazila
DTG	Derivada Termogravimétrica
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FRAP	<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier
GC-MS	Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas
GRAS	<i>Generally Regarded as Safe</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OEC	Óleo Essencial de Cúrcuma
AL	Alongamento Percentual
PBAT	Poli (adipato butileno co-tereftalato)
PCA	Análise de Componentes Principais
PEBDL	Polietileno Linear de Baixa Densidade

PET	Poli (tereftalato de etileno)
PP	Polipropileno
PVA	Permeabilidade ao Vapor de Água
RT	Resistência à Tração
TFT	Teor de Compostos Fenólicos
TGA	Análise Termogravimétrica
UR	Umidade Relativa
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
3.1	EMBALAGENS.....	19
3.2	EMBALAGENS ATIVAS .....	21
3.3	CARACTERÍSTICAS DO AMIDO E SEUS FILMES.....	24
<b>3.3.1</b>	<b>Gelatinização e retrogradação do amido.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Amido de Milho.....</b>	<b>28</b>
3.4	ÓLEOS ESSENCIAIS.....	29
<b>3.4.1</b>	<b>Óleo essencial de cúrcuma.....</b>	<b>31</b>
3.5	CONTAMINAÇÃO MICROBIANA DE PÃES .....	35
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	MATERIAIS.....	37
4.2	MÉTODOS.....	37
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização do óleo essencial de cúrcuma.....</b>	<b>37</b>
4.2.1.1	Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS).....	37
4.2.1.2	Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma (OEC) pelo método do disco-difusão em ágar.....	37
4.2.1.3	Teor de Composto Fenólicos Totais e atividade antioxidante do óleo essencial de cúrcuma.....	38
4.2.1.3.1	<i>Teor dos compostos fenólicos Totais.....</i>	<i>38</i>
4.2.1.3.2	<i>Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre DPPH.....</i>	<i>38</i>
4.2.1.3.3	<i>Determinação da atividade antioxidante pelo Método de Redução de Ferro – FRAP.....</i>	<i>39</i>
<b>4.2.2</b>	<b>Preparação dos filmes poliméricos ativos.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Caracterização dos filmes poliméricos ativos.....</b>	<b>41</b>
4.2.3.1	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	41
4.2.3.2	Análise de Componentes Principais (PCA).....	41

4.2.3.3	Propriedades ópticas.....	41
4.2.3.3.1	<i>Transparência</i> .....	41
4.2.3.3.2	<i>Colorimetria</i> .....	42
4.2.3.4	Análise Termogravimétrica.....	43
4.2.3.5	Teste de Solubilidade.....	43
4.2.3.6	Teste de Permeabilidade ao vapor de água.....	43
4.2.3.7	Análise das propriedades mecânicas .....	44
4.2.3.8	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	45
4.2.3.9	Avaliação da atividade antifúngica por meio da aplicação no alimento.....	45
4.2.3.10	Análise estatística.....	46
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CÚRCUMA.....	47
5.1.1	<b>Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS).....</b>	<b>47</b>
5.1.2	<b>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)...</b>	<b>49</b>
5.1.3	<b>Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma pelo método de disco difusão em meio ágar nutritivo.....</b>	<b>50</b>
5.1.4	<b>Teor de Compostos Fenólicos Totais e atividade antioxidante do óleo essencial de cúrcuma.....</b>	<b>51</b>
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS ATIVOS.....	53
5.2.1	<b>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)....</b>	<b>53</b>
5.2.2	<b>Análise de Componentes Principais (PCA).....</b>	<b>55</b>
5.2.3	<b>Propriedades Ópticas.....</b>	<b>57</b>
5.2.3.1	Transparência.....	57
5.2.3.2	Colorimetria.....	58
5.2.4	<b>Espessura, Solubilidade e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA).....</b>	<b>60</b>
5.2.5	<b>Análise Termogravimétrica.....</b>	<b>62</b>
5.2.6	<b>Análise das propriedades mecânicas.....</b>	<b>64</b>
5.2.7	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....</b>	<b>67</b>
5.2.8	<b>Aplicação do filme.....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em virtude das múltiplas funções desenvolvidas pelas embalagens e da necessidade que os alimentos industrializados possuem de um acondicionamento eficaz, estas tem exercido papel fundamental na indústria alimentícia. As embalagens atuam de modo especial na contenção, proteção e preservação dos alimentos, auxiliando também no fornecimento de informações ao consumidor (FONTOURA; CALIL; CALIL, 2016). Associado a isso, o aumento da segmentação do mercado e os diversos meios de fornecimento dos alimentos tem incentivado a adoção de sistemas de embalagens mais refinadas e eficientes (COLES, 2003).

Um dos mais recentes conceitos de embalagens, denominadas embalagens ativas, surge como alternativa promissora. Estas embalagens são constituídas de materiais poliméricos com substâncias ativas incorporadas em sua formulação ou em forma de sachês, as quais têm a habilidade de interagir com o alimento e com o ambiente, maximizando de forma eficiente a vida útil desses produtos, trazendo benefícios extras quando comparada as embalagens convencionais, ditas como passivas. (ROMANI; MARTINS; GODDARD, 2019).

O material polimérico que constitui as embalagens ativas é um tema de interesse, principalmente quando os polímeros utilizados são biodegradáveis. Assim, a escolha por matérias-primas naturais e biodegradáveis para a produção dessas embalagens tem sido estimulada de modo crescente, em consequência dos problemas socioeconômicos e ambientais gerados pela utilização da maioria dos polímeros convencionais de origem petroquímica e não biodegradável. As embalagens ativas, portanto, que são formuladas por matérias-primas naturais, seja o polímero ou os aditivos, são ótimas alternativas para superar as preocupações com a saúde e as questões ambientais (ADILAH et al., 2018).

Na seleção do material polimérico é importante manter o equilíbrio entre um produto de boa qualidade, com ótimas propriedades, mas que venha a reduzir os impactos ambientais possivelmente gerados, desde o processamento até a obtenção do produto final. Uma vez que o setor industrial tem implementado maiores exigências com as questões sustentáveis no material que está sendo processado, diante da grande quantidade de lixo plástico acumulado nos lixões e oceanos (LANDIM et al., 2016).

A utilização de um polímero biodegradável reduz de maneira considerável a geração de resíduos, pois a diferença existente entre o tempo de degradação de um material biodegradável em comparação a um material de origem petrolífera é muito relevante, estima-se um tempo de 6 a 12 meses para os biodegradáveis em comparação com 40, 50 ou até 200 anos de decomposição para os polímeros sintéticos de degradação abiótica (NAIME, 2010).

Em função do seu caráter biodegradável e das propriedades funcionais, físicas e químicas que apresentam os constituintes do amido, este tem sido um material sugerido na aplicação de embalagens ativas. Os constituintes principais do amido são a amilose e amilopectina, que podem se apresentar em diferentes concentrações no amido dependendo de sua fonte originária (MULLER, 2016). Dentre as fontes de amido, o milho tem sido um material indicado para a fabricação de embalagens por apresentar 28% de amilose conduzindo a uma boa formação do material, com grande aplicação nas indústrias têxteis, alimentícias e farmacêuticas, adicionalmente ao seu baixo custo, disponibilidade e desempenho durante o processamento (TABASSUM et al., 2019). Por outro lado, o amido tem propriedades mecânicas, térmicas e de barreira bem inferiores aos polímeros derivados de petróleo, limitando sua aplicação na área de embalagens (ISOTTON, 2013; GUIMARÃES, 2015).

Nesse contexto, a utilização de materiais aditivos para incorporar aos amidos, são ótimas alternativas empregadas na otimização dessas propriedades, tais como: os plastificantes, que interagem com o polímero aumentando o espaçamento intermolecular, promovendo uma maior mobilidade das cadeias poliméricas e diminuindo a sua temperatura de transição vítrea (CANEVAROLO JÚNIOR, 2002). A utilização de compostos pécticos no desenvolvimento de materiais tem sido outra alternativa promissora, pois além de garantir contribuições nas propriedades dos materiais, favorece a obtenção de produtos de menor custo e toxicidade (PAIVA, 2014). Esses compostos são bastante empregados na indústria de alimentos, devido seu poder gelificante e estabilizante (CANTERI; WOSIACKI; SCHEER, 2012).

Os óleos essenciais constituem outro componente atraente para ser utilizado como aditivo na fabricação dessas embalagens, em função da sua origem natural e às propriedades antioxidantes e antimicrobianas que são capazes de oferecer, possibilitando a introdução da funcionalidade ativa na embalagem, impedindo a deterioração dos alimentos pelo bloqueio de reações oxidativas e ataques dos microrganismos, produzindo embalagens antioxidantes e embalagens antimicrobianas, respectivamente (ATARÉS e CHIRALT, 2016).

Entre os óleos essenciais, o óleo essencial de cúrcuma (OEC), apresenta na sua constituição agentes químicos que inibem algumas bactérias e fungos indesejáveis nos alimentos (ALMEIDA et al., 2008), exibindo ainda boa atividade antioxidante (AVANÇO et al., 2017), que o torna aditivo de interesse para ser incorporado em embalagens ativas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um filme de amido de milho aditivado com glicerol, extrato pectinoso da casca do maracujá e óleo essencial de cúrcuma, capaz de promover atividade antimicrobiana e antioxidante para serem aplicados como filme ativo para embalagem de alimentos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o óleo essencial de cúrcuma (*Curcuma Longa Linn*) com relação às atividades antimicrobianas e antioxidantes;
- Desenvolver por casting um filme contendo amido de milho, óleo essencial de cúrcuma (em concentrações variadas), extrato pectinoso e glicerol;
- Avaliar as propriedades físico-químicas, térmicas, mecânicas e ópticas dos filmes;
- Aplicar a embalagem ativa em pão do tipo forma para avaliar sua eficácia como fungicida.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 EMBALAGENS

As embalagens carregam consigo a responsabilidade de proteger o conteúdo presente no seu interior, uma abordagem compreensível sobre as embalagens foi relatada por Sena (2019) que considera a coexistência de duas funções principais: contenção e anunciação, de modo que além de proteger o produto, envolvendo-o, atua na comunicação direta com o consumidor. De forma complementar, Negrão e Camargo (2008) reportam ainda que as embalagens, tem também as funções de proteger, transportar, informar, identificar e promover produtos e marcas.

O processo de evolução das embalagens está associado ao desenvolvimento tecnológico, pois a descoberta de novos materiais, processos e aumento das necessidades humanas, requer cada vez mais a produção de embalagens para atender as demandas do mercado (NEGRÃO e CAMARGO, 2008).

Jorge (2013) explica que as embalagens são classificadas quanto à estrutura dos materiais que a constitui e quanto a sua função. Em termos estruturais essa classificação é dada em relação as características rígidas, semi-rígidas e flexíveis que cada material pode promover. Exemplo: o vidro, promove a formação de uma embalagem rígida, já o plástico de acordo com o produto formado pode promover a formação de um material rígido (bandejas, garrafas), semi-rígido (frascos, potes) ou flexível (filmes).

Em relação à função da embalagem, estas podem ser classificadas em níveis: primário, secundário e terciário. A embalagem primária é responsável pela proteção e contenção do produto, sendo aquela que está em contato direto com o produto, enquanto a embalagem secundária refere-se aquela que envolve uma ou mais embalagens primárias, são as responsáveis pela proteção físico-mecânica durante a distribuição. Já a embalagem terciária possui como função principal agrupar diversas embalagens primárias ou secundárias para o transporte (JORGE, 2013).

O Quadro 1 apresenta uma síntese dessa classificação abordando de forma explicativa os exemplos práticos para cada tipo de embalagem.

Quadro 1 - Classificação das embalagens

Embalagem			
Estrutura		Função	
Rígida	Latas de alumínio, garrafas plásticas, garrafas e frascos de vidro, caixas de papelão.	Primária	Latas de refrigerante, pacotes de biscoitos.
Semi-rígida	Bandejas de alumínio, frascos e potes plásticos, caixas em cartolina.	Secundária	Caixas de papelão: que armazenam medicamentos, creme dental.
Flexível	Folhas de alumínio, filmes plásticos, folha de papel, estruturas laminadas.	Terciária	Caixas de papelão e sacos plásticos do mercado.

Fonte: Jorge, 2013.

No Brasil, o setor de embalagens está sempre avançando e disponibiliza uma variedade de tipos, processos e matérias-primas na fabricação. Este setor tem adquirido nos últimos anos uma ampla dimensão de produção, em razão da relação direta que esta possui com diversos outros setores de produção.

De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens – ABRE (2020), seguindo os dados de projeção do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE juntamente com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), a produção segue progressivamente conforme dados dispostos na Tabela 1, atuando em maior concentração no valor dessa produção os materiais plásticos.

Tabela 1 – Produção de embalagens no Brasil (valor bruto em bilhões de reais)

Ano	Valor Bruto da Produção
2015	63,0
2016	66,8
2017	67,3
2018	75,3
2019	80,2

Fonte: ABRE (2020)

Ainda, segundo a ABRE (2020), a indústria de alimentos está entre as principais clientes da indústria de embalagem, sendo, portanto, imprescindível o desenvolvimento de matérias-primas e produtos que satisfaçam o setor de alimentos de forma útil e eficaz, que atue diretamente na conservação dos alimentos e conseqüentemente na redução de perdas.

O Brasil está entre os países que mais geram perdas em alimentos no mundo e essas perdas têm dimensões preocupantes, pois acarretam problemas sociais, ambientais e econômicos. Estas estão presentes em uma série de etapas: colheita, pós-colheita, processamento, venda, consumo e até mesmo transporte dos alimentos. De forma mais específica, a deterioração dos alimentos ocorre principalmente devido à ação microbiana, reações químicas e enzimáticas, levando a geração de forma conseqüente de muitos resíduos (MENDES, 2019; SANTOS et al., 2020).

Diante de tantos problemas de perdas e desafios que a indústria alimentícia precisa ainda superar, o incentivo à pesquisa na área de embalagens, entra como uma aliada fundamental na diminuição das perdas, por meio de diversas iniciativas, como a produção de embalagens ativas, fazendo uso de matérias-primas capazes de prolongar a vida útil dos alimentos, fornecendo proteção e garantindo a manutenção da qualidade dos alimentos por mais tempo.

### 3.2 EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens para os alimentos devem apresentar inúmeras funções, uma das mais importantes está associada à proteção eficaz que esta deve promover, de modo que garanta a defesa contra danos físicos, mecânicos e fatores ambientais (gases, luz, vapor de água, odores), devendo apresentar ainda boas propriedades de barreiras quanto às transferências gasosas, a fim de promover a conservação dos alimentos (JORGE, 2013).

Diante da necessidade de prolongar a vida útil e garantir a qualidade dos produtos alimentícios, surgem as embalagens ativas, detentoras de características únicas e especiais, não observadas em embalagens convencionais. Tais características estão associadas à capacidade que essas embalagens possuem de aumentar o tempo de vida útil, a qualidade e as características sensoriais dos alimentos (SOARES et al., 2009). O mercado e a possibilidade para aplicação de embalagens ativas têm se desenvolvido bastante, em função dos diversos tipos existentes: antimicrobianas, antioxidantes, absorvedoras de umidade, etc. (ARAÚJO et al., 2019).

Segundo Braga e Silva (2017), uma classificação atribuída às embalagens ativas, está associada a dois sistemas específicos. O primeiro sistema é responsável por eliminar os compostos indesejáveis que possam estar presentes no espaço livre da embalagem ou em volta do alimento, que sejam capazes de estimular a degradação do alimento embalado, a exemplo desses compostos tem-se: oxigênio, etileno, dióxido de carbono, água, etc, sendo classificados como sistemas absorvedores. O segundo sistema refere-se aos emissores, que agem adicionando substâncias ao material da embalagem que irão interagir com o alimento de forma positiva, retardando às reações de deterioração e aumentando sua vida útil, como exemplos dessas substâncias têm-se os aditivos antimicrobianos, antioxidantes, os conservantes, aromatizantes, entre outros.

Ainda referente ao sistema que atua no espaço livre das embalagens, Pereira (2017) enfatiza que os sistemas absorvedores bastante comuns são os captadores de oxigênio, uma vez que o oxigênio é capaz de provocar diversos efeitos indesejáveis no alimento, como: alteração de cor, proliferação de bactérias e fungos aeróbicos e sabor desagradável (CICHELO, 2015). Quando a eliminação não é completa, ainda assim, os captadores de oxigênio atuam reduzindo os níveis desse gás contido na parte livre da embalagem (BIJI et al., 2015). Outro atuante desses sistemas são os captadores de etileno, muito úteis na redução do amadurecimento precoce de frutas e vegetais (BIJI et al., 2015; PEREIRA, 2017).

Em se tratando dos sistemas emissores, podem ser detalhados, os agentes antimicrobianos e antioxidantes. Os antimicrobianos são aditivos que conseguem atuar através de dois mecanismos: biostático e biocida, o primeiro inibe a ação dos microrganismos e o segundo atua eliminando-os (RABELO e PAOLI, 2013), causando eficiência contra diversos patógenos alimentares ao ser incorporado nas embalagens (BIJI et al., 2015). Já os antioxidantes, atuam retardando reações de oxidação que venham gerar a degradação rápida dos alimentos, principalmente em produtos lipídicos, suscetíveis ao processo de oxidação (PEREIRA, 2017).

Os aspectos difusionais e toxicológicos dos aditivos incorporados no material da embalagem ativa é outro ponto que precisa ser devidamente considerado, pois de modo abrangente, trata-se de uma embalagem que atua a partir da migração do aditivo para a superfície do produto, interagindo diretamente com o alimento, não devendo, portanto, ter efeito tóxico (RABELO e PAOLI, 2013) e muito menos comprometer a saúde do consumidor (PEREIRA, 2017).

Assim, majoritariamente, linhas de pesquisas têm se concentrado no estudo da fabricação de embalagens ativas fazendo uso de matérias-primas naturais, comestíveis e

renováveis, objetivando a produção de uma embalagem biodegradável e livre de toxidade (MOURA, 2018).

Brandelero, Almeida e Alfaro (2015) investigaram as propriedades de filmes de amido de mandioca, poli (álcool vinílico) e alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. Nos seus resultados, puderam ver que os filmes produzidos apresentaram propriedades mecânicas aptas a serem aplicados na produção de embalagens e boa atividade antimicrobiana, sendo que aqueles aditivados com óleo essencial de capim limão foram os mais bioativos para controle dos microrganismos, mostrando-se como um material natural alternativo para ser aplicado em embalagens ativas.

Turella (2019) estudou a utilização de compostos naturais de chá verde/alecrim e casca de pequi incorporados em acetato de celulose para produção de filmes ativos e pode ver que esses extratos naturais apresentaram compostos ricos em polifenóis, sendo eficientes para a fabricação de embalagens ativas antioxidantes. O autor verificou também a viabilidade de utilização desses filmes no combate a oxidação lipídica e proteica de filés de tilápia, constatando a melhor eficiência dos filmes de acetato de celulose com os extratos naturais da casca de pequi.

Panrong, Karbowiak e Harnkarnsujarit (2020) desenvolveram filmes de amido acetilado contendo como aditivo o chá verde incorporado a filmes de polietileno linear de baixa densidade - PEBDL para embalar produtos à base de carne e óleo. Os testes realizados nos filmes mostraram que o amido promoveu uma menor hidrofobicidade superficial, maior permeabilidade ao vapor de água e solubilidade, constatando também, a eficiência do chá verde como aditivo antimicrobiano e antioxidante para serem aplicados em embalagens ativas ecologicamente corretas.

O avanço nesses estudos tem sido essencial para atender a demanda dos consumidores, pois segundo a Associação Brasileira de Embalagens – ABRE (2020), os consumidores têm exigido cada vez mais por produtos, empresas e marcas que promovam um ciclo de sustentabilidade, que considere as matérias-primas, o processo de fabricação, distribuição, armazenamento e o descarte correto das embalagens, mitigando de modo eficaz os impactos gerados.

Os materiais poliméricos biodegradáveis têm sido estudados mais profundamente para substituir o uso demasiado dos plásticos originados de origem petrolífera. O amido é um biopolímero que vem sendo cada vez mais investigado devido seu baixo custo e disponibilidade (CREPALDI, 2018). Como exemplo dessa aplicação do amido para embalagens, Silva (2019) investigou a possibilidade de fabricação de embalagens bioativas a

base de amido, utilizando diferentes fontes de arroz e pode constatar a eficiência desse polissacarídeo para a fabricação de embalagens ativas em alimentos.

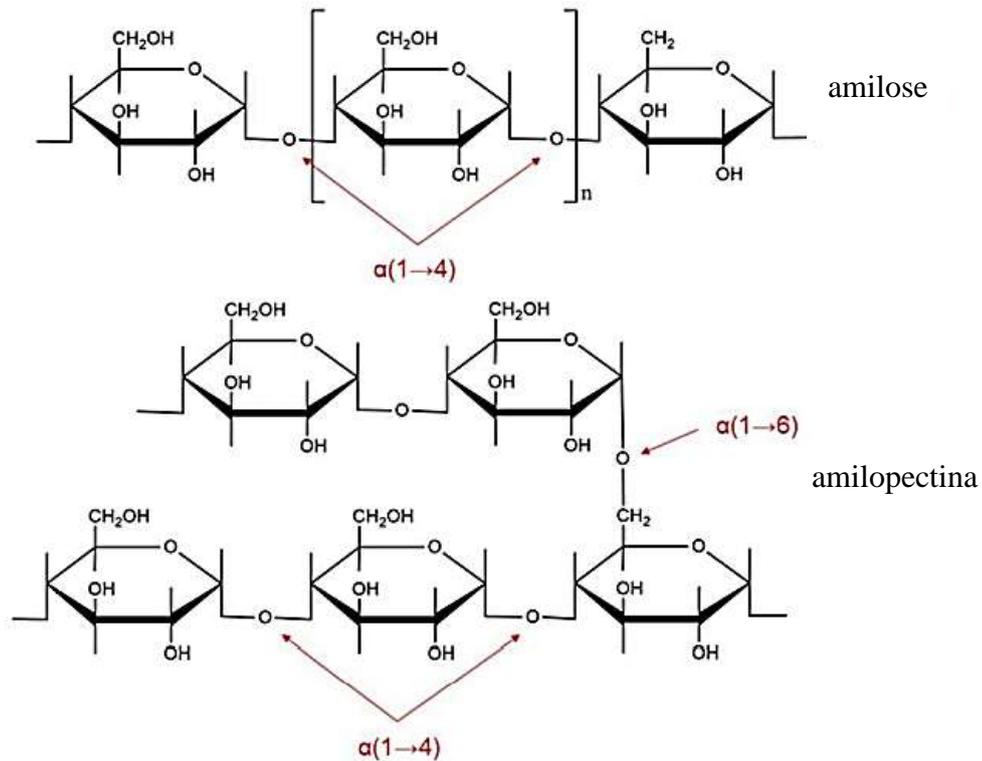
### 3.3 CARACTERÍSTICAS DO AMIDO E SEUS FILMES

O amido possui como fórmula molecular  $C_6H_{10}O_5$ , constitui o carboidrato de reserva energética mais importante das plantas (ISOTTON, 2013), e faz parte dos principais biopolímeros produzidos pelo Brasil (FARIAS et al., 2016). O amido é um polissacarídeo que tem alto poder de hidratação, em função das hidroxilas que se ligam com a água formando ligações de hidrogênio (AGUILAR, 2019).

O amido possui na sua composição duas formas moleculares, uma linear – constituindo a molécula de amilose e uma forma ramificada – a amilopectina, tais moléculas apresentam unidades D-glicose na sua constituição e as propriedades do amido, bem como dos filmes obtidos a partir dele, dependem da proporção dessas moléculas na sua estrutura (MONTERO et al., 2016), em razão da influência que esses componentes produzem na propriedades funcionais e físico-químicas dos grânulos do amido (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

A estrutura química dos constituintes do amido está exibida de modo detalhado na Figura 1, na qual podem ser vistos os monômeros D-glicose da amilose unidos por ligação  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) e os monômeros da amilopectina unidos por essa mesma ligação  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) e no ponto da ramificação a ligação  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6) (CREPALDI, 2018).

Figura 1 – Estrutura química da amilose e amilopectina.



Fonte: Pola (2017).

Embora apresentem baixos valores de barreira para vapor de água, os filmes a base de polissacarídeos possuem maior valor de barreira a óleos e lipídios, bem como, são detentores de ótimas propriedades ópticas (TAKEUCHI, 2012).

Aydin e Ilberg (2016) afirmam, que os produtos à base de amido têm baixa resistência mecânica, maior fragilidade e alto caráter hidrofílico, tornando as suas aplicações limitadas e por esse motivo durante a fabricação de filmes de amido é bastante usual a utilização de plastificantes, que são aditivos modificadores de propriedades, utilizados para promover maior flexibilidade aos polímeros (RABELLO, 2000). Os polióis são os plastificantes mais empregados para a produção de filmes de amido, em especial o glicerol e o sorbitol, que promovem uma melhoria nas propriedades mecânicas desses materiais (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

O glicerol destaca-se como plastificante na elaboração de filmes de amido, devido seu bom desempenho. Essa afirmação foi compreendida pelo estudo de Isotton (2013), que verificou que a utilização do glicerol como plastificante produziu uma estrutura mais homogênea nos filmes elaborados, com superfície lisa e compacta, bem como contribuiu com o aumento de outras propriedades, como: solubilidade, permeabilidade ao vapor de água e deformação na ruptura. Nordin et al. (2020) avaliaram os efeitos do glicerol na produção dos

filmes de amido de milho e obtiveram ótimos resultados em diversas propriedades, ganhando destaque o aumento na estabilidade térmica e na resistência mecânica dos filmes.

Assim como a estrutura das matérias-primas, o método de processamento escolhido para a produção de um dado material é de suma relevância, pois interfere de modo direto nas propriedades do produto final. Yepes et al. (2019) investigaram o efeito das técnicas de extrusão, termo-compressão e *casting* (evaporação do solvente da solução filmogênica) nas propriedades dos filmes de amido, encontrando maior flexibilidade e resistência à água quando processados por *casting*.

A técnica de processamento mais comumente utilizada e considerada importante no desenvolvimento de filmes para embalagem em escala laboratorial é via *casting* (MU, et al. 2020), cuja metodologia se baseia na dissolução do polímero em um solvente apropriado, incorporando de modo conjunto os demais aditivos que fazem parte da formulação, que após mistura e aquecimento, a solução resultante é transferida para secagem. Nesse processo, durante o resfriamento da solução o solvente evapora continuamente até a formação do filme (DOMINGUÉZ, et al. 2018). A temperatura normalmente empregada para a fabricação dos filmes de amido por *casting* é 80 °C (YEPES, et al. 2019). A ampla aplicação dessa técnica em estudos laboratoriais para a fabricação de filmes de amido refere-se à simplicidade da metodologia e instrumentação, além de garantir uma mistura adequada e homogênea dos aditivos à matriz de amido de maneira simples (MADHUMITHA, et al. 2018).

A obtenção comercial do amido dar-se por meio de cereais, raízes e tubérculos, apresenta-se na forma de grânulos, que se organizam estruturalmente, caracterizando um estado parcialmente cristalino ou semicristalino (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Em razão da intensa atividade de cultivo de cereais, o amido é encontrado de modo abundante no ambiente e tem sido bastante estudado como material termoplástico para fabricação de embalagens (NAIME, 2010). Além de ter baixo custo, trata-se de uma matéria-prima para produção de embalagens de descartabilidade rápida, com capacidade de ser biodegradável, o que conduz seu foco para pesquisas direcionadas em embalagens de alimentos (TAKEUCHI, 2012) e de modo específico, tem sido utilizado para estudos de embalagens ativas (BRAGA e SILVA, 2017).

Menzel et al. (2019) produziram filmes com amido de batata, contendo como aditivos extratos da casca do girassol, demonstrando o potencial na utilização de subprodutos agrícolas como matéria-prima para embalagens ativas de alimentos, pois obtiveram filmes

antioxidantes com boa estabilidade térmica, ótima propriedade de barreira contra o oxigênio e vapor de água.

Qin et al. (2019) prepararam filmes de embalagens ativas e inteligentes empregando como matriz polimérica o amido de mandioca aditivado com antocianinas de *Lycium ruthenicum*, e nos seus resultados evidenciaram a excelente interação entre o amido e o aditivo incorporado, o que permitiu alcançar além de propriedades antioxidantes, melhorias em outras propriedades, como exemplos: aumento da resistência mecânica, barreira de luz e permeabilidade ao vapor de água.

Cheng et al. (2019) testaram a eficiência de filmes de amido de inhame com eugenol na conservação de suínos e obtiveram além de ótimas propriedades mecânicas e de barreira, boa atividade frente as bactérias: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*, constatando a potencialidade na aplicação desses filmes em embalagens ativas antibacterianas.

### 3.3.1 Gelatinização e retrogradação do amido

O processo de gelatinização do amido ocorre quando este durante o aquecimento na presença de água, passa por uma transformação de fase de um nível mais ordenado para um menos ordenado, ao mesmo tempo em que se observa a destruição do formato de grânulos e a formação de uma pasta viscoelástica (CREPALDI, 2018).

Quimicamente acontece que, devido às ligações de hidrogênio entre as cadeias moleculares do amido, os seus grânulos altamente insolúveis em água, durante o aumento de temperatura e na presença de umidade, os grânulos do amido absorvem a água e incham gradualmente com essa absorção, ocorrendo a lixiviação da amilose da fase interna dos grânulos do amido para a fase aquosa, seguida do rompimento dos grânulos (fusão) e da ligação de hidrogênio, resultando em perda de cristalinidade e organização estrutural (COPELAND et al., 2009; AFONSO e ARAÚJO, 2017).

A capacidade de gelatinização do amido sofre influência da proporção de amilose e amilopectina presentes (ISOTTON, 2013) e das características particulares dessas moléculas, como: distribuição, massa molecular, a conformação dessas moléculas ao longo da cadeia, etc. (DENARDIN e SILVA, 2008). Dessa forma, como a proporção desses componentes varia de acordo com a origem botânica do amido, a temperatura de gelatinização também varia. Souza e Andrade (2000) em seus experimentos, observaram que a temperatura de gelatinização do amido de milho foi de 70 °C.

Denardin e Silva (2008) explicam, que após a gelatinização do amido, durante o resfriamento, as ligações de hidrogênio tornam-se fortes e ocorre a reorganização estrutural das cadeias moleculares. Durante essa reorganização ocorre a formação de zonas cristalinas e a amilose que havia sido lixiviada do interior dos grânulos do amido se associa as cadeias moleculares, configurando o processo de retrogradação do amido.

Já Silva (2019) afirma, que o fenômeno de retrogradação é a recristalização das cadeias de amilose e amilopectina. Por sua vez, esse processo tem cinética diferente para cada uma dessas moléculas, ocorrendo mais rapidamente na amilose e mais lentamente na amilopectina (COPELAND et al., 2009). A retrogradação do amido depende de uma série de variáveis, como: temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, presença de outros componentes e condições de processamento (DENARDIN e SILVA, 2008).

Afonso e Araújo (2017) analisaram o comportamento reológico de géis obtidos de três fontes de amido: araruta, mandioca e milho. Nos seus resultados, constataram que o gel proveniente do amido de milho apresentou características melhores de elasticidade e resistência, de modo que após a gelatinização e resfriamento, o gel de amido de milho possuiu maior consistência que os géis de amido de mandioca e araruta. Além disso, analisaram com o tempo as mudanças estruturais e mais uma vez o amido de milho destacou-se, apresentando maior estabilidade entre as moléculas, com deformações mínimas na estrutura física dos géis, demonstrando também maior estabilidade em temperaturas elevadas.

### **3.3.2 Amido de Milho**

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta que pertence à família Gramineae/Poaceae, muito eficiente no armazenamento de energia e uma das plantas cultivadas de maior interesse, devido a sua origem, estrutura e variação. O percentual de amido no milho, depende da fonte vegetal, podendo variar de 68% a 74%, e o grânulo do amido apresenta cerca de 20 µm de diâmetro e sua forma varia de poliédrica até a quase esférica (MAGALHÃES et al., 2003; SPIER, 2010).

O amido de milho possui aplicação como agente espessante, ligante, agente de tratamento superficial e como polímero natural sendo utilizado em diversas áreas industriais: química, farmacêutica, petroquímicas, etc. (UGALDE, 2014).

O milho está entre as principais fontes de amido comercializadas e tem sido um dos materiais mais efetivamente empregados para a fabricação de embalagens ativas, em função do seu potencial de biodegradação, baixo custo e disponibilidade elevada (VIÉGAS, 2016;

POLA, 2017). Outra razão de interesse no uso de embalagens com esse tipo de amido, está diretamente associada à capacidade que esse material possui de formar filmes, decorrente das propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose presente, que compreende cerca de 28% (DENARDIN e SILVA, 2008; ENGEL, BERGEL e SANTANA, 2015). Os filmes obtidos a partir desse polímero apresentam uma boa barreira ao oxigênio e flexibilidade, porém, assim como os demais filmes fabricados a partir do amido, apresentam alta fragilidade, o que é melhorada com o uso de plastificantes e/ou com a fabricação de blendas (POLA, 2017).

Mendes et al. (2016) realizaram a mistura de quitosana ao amido de milho, visando mitigar os inconvenientes da fragilidade. Assim, processaram por extrusão filmes de amido e quitosana e obtiveram filmes flexíveis, com uma superfície homogênea, livre de rachaduras, com boa integridade estrutural e maior estabilidade térmica. Evidenciaram que a mistura produzida tem potencial para ser aplicada no processamento de embalagens.

Malherbi et al. (2019) sintetizaram filmes de amido de milho e gelatina aditivados com glicerol e polpa de guabiroba para aplicação em embalagens de alimentos. Nos resultados puderam ver que o filme contendo apenas amido de milho, gelatina e glicerol apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água e menor solubilidade, e que a adição da polpa de guabiroba além de promover ação antioxidante, diminuiu a resistência a tração e aumentou o alongamento dos filmes.

Jha (2020) produziu filmes constituídos por amido de milho, quitosana e nanopartículas de argila, variando em diferentes formulações, como plastificantes, o glicerol e o sorbitol e como aditivos antimicrobianos, o sorbato de potássio e extrato de semente de toranja, para assim verificar os efeitos desses aditivos de forma isolada nos filmes. Nos resultados, constatou que o sorbitol promoveu maior resistência à tração, menor solubilidade, menor permeabilidade ao vapor de água e menor estabilidade térmica. Em relação a ação antimicrobiana, o extrato de toranja promoveu uma maior zona de inibição contra o microrganismo testado, levando-o a concluir que os filmes contendo na formulação amido de milho/quitosana/nanopartículas de argila, sorbitol e semente de toranja mostraram potencialidade para serem aplicados em embalagens ativas.

### 3.4 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais se caracterizam como substâncias líquidas, voláteis, límpidas, lipossolúveis, solúveis em solventes orgânicos e que dispõem de uma densidade relativamente

baixa, normalmente variável entre 0,8 a 1,0 g/cm<sup>3</sup> (MONTES; NETA; CRUZ, 2014; LEITE et al., 2020; MENEZES FILHO et al., 2020). São subprodutos das plantas e apresentam em sua composição cerca de 20 a 60 componentes, geralmente possuem dois ou três componentes majoritários, em concentração mais elevada em relação aos demais, e comumente esses componentes majoritários ditam as propriedades biológicas dos óleos essenciais (PAVELA, 2015). Na natureza, exercem função importantíssima de defesa das plantas, atuando como antibacterianos, antivirais, antifúngicos e inseticidas (MONTES; NETA; CRUZ, 2014).

A escolha em incorporar os óleos essenciais nas embalagens tem sido promissora na substituição de aditivos sintéticos, por efeito dos compostos fenólicos presentes, garantindo a propriedade desses aditivos em aumentar a vida útil dos alimentos, coibindo as reações deteriorantes e incrementando, ainda, a segurança ao consumidor por ser uma substância natural e atóxica (RIBEIRO-SANTOS et al., 2017).

Os óleos essenciais são substâncias classificadas como GRAS (*Generally Regarded as Safe*) o que garante seu uso em produtos alimentares. Vários materiais usados para fabricação de embalagens de alimentos apresentam compatibilidade para serem incorporados óleos essenciais, podendo estes ser introduzidos por via direta na própria embalagem do alimento ou indiretamente, por meio de sistemas independentes, como exemplo, as saquetas contendo o óleo (UGALDE, 2014; RIBEIRO-SANTOS et al., 2017).

Destarte, Haghghi et al. (2019) afirmam que devido à natureza hidrofóbica dos óleos essenciais, esses poderiam melhorar as propriedades de barreira à água nos biopolímeros hidrofílicos, o que sugere que a sua aplicação poderá melhorar as propriedades estruturais da base filmogênica do amido de milho que tem natureza hidrofílica.

Sobre esse tema, diversas pesquisas têm sido direcionadas à produção de embalagens ativas fazendo o uso dos óleos essenciais como aditivos, devido especialmente aos benefícios já comprovados aos alimentos e ao homem, justificados pelo poder antimicrobiano e antioxidante (RIBEIRO-SANTOS et al., 2017).

Dong et al. (2018) desenvolveram filmes ativos utilizando os óleos essenciais de alecrim e canela, incorporando-os à uma matriz de polietileno de baixa densidade. Constataram que o material sintetizado foi capaz de ampliar a vida útil e o frescor do camarão, concluindo, a eficácia dos filmes para fabricação de embalagens ativas destinadas a produtos aquáticos.

Ainda, Haghghi et al. (2019) produziram filmes de quitosana e gelatina, inserindo como aditivos, cinco tipos de óleos essenciais: canela, citronela, cravo-de-rosa, noz-moscada e tomilho, que foram adicionados de modo separado para obtenção de várias formulações. Na

caracterização dos filmes, verificaram que o filme com o óleo essencial de canela apresentou-se mais flexível em comparação aos demais e os filmes aditivados com o óleo essencial de tomilho e noz-moscada obtiveram maior resistência à tração. De modo geral o filme aditivado com óleo essencial de tomilho apresentou maior transparência, maior permeabilidade ao vapor de água e maior potencial antimicrobiano para ser utilizado como embalagens ativas em alimentos.

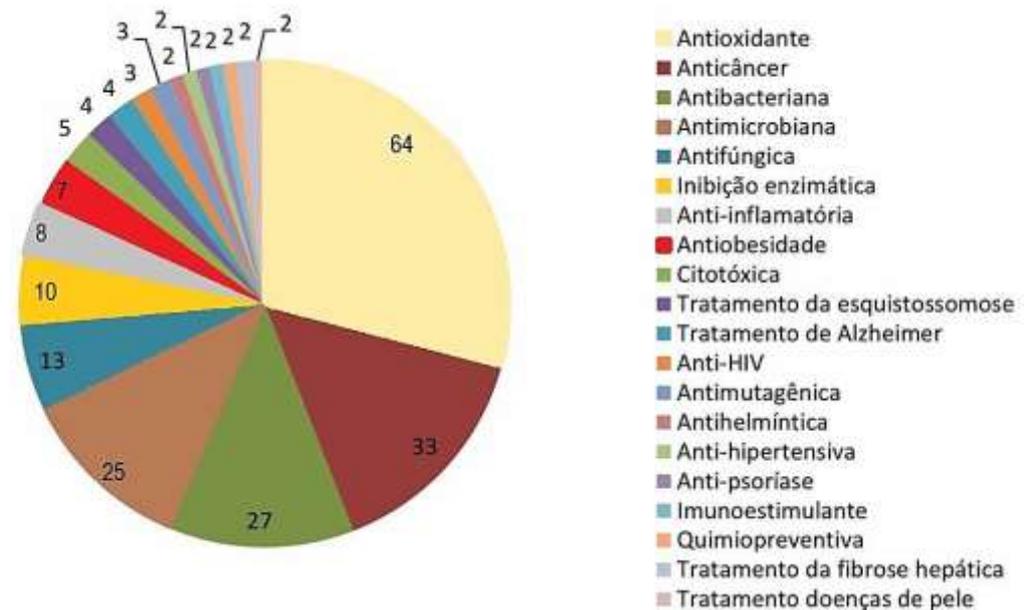
### 3.4.1 Óleo essencial de cúrcuma

A cúrcuma é uma planta herbácea da família do gengibre, Zingiberaceae, seu nome científico é *Cúrcuma longa Linn*, nativo da Índia, seu cultivo no mundo se dá nas regiões tropicais e subtropicais, sendo comumente utilizada como componente alimentar em especiarias e alimentos (THANGAVEL E DHIVYA, 2019; CHATZINASIOU et al., 2019; LI et al., 2011). Com base nas suas características, nome científico e descendência os autores fazem o uso de várias denominações: cúrcuma, açafrão da terra, açafrão da Índia, turmérico, gengibre amarelo, entre outras (AGGARWAL et al., 2013; CHATZINASIOU et al., 2019; MARCHI et al., 2016; LI et al., 2011; CECÍLIO FILHO et al., 2000).

A grande aplicação da cúrcuma, na área alimentar e médica, refere-se aos diversos compostos fenólicos (turmerona, zingibereno, etc.), flavonóides (miricetina, fisetina, morina, etc.) e curcuminóides (curcumina, dimetoxi curcumina, bis-dimetoxi curcumina, etc.) que possuem propriedades biológicas já reconhecida na literatura, como antioxidante, anti-inflamatória, anticâncer, antiartrítica, antidepressiva, antidiabética, antimicrobiana. Outra consideração importante trata-se da segurança fornecida ao consumidor, por se tratar de um composto de origem natural (AGGARWAL et al., 2013; PURPURA et al., 2018; FONTES, 2018).

Em paralelo, estudos comprovam as diversas funcionalidades e benefícios na área medicinal apresentados pela cúrcuma (MARCHI et al., 2016). A Figura 2 mostra o resultado de uma pesquisa realizada por meio de consultas a diversas fontes bibliográficas que relata as propriedades mais notáveis exibidas pela cúrcuma e derivados, ganhando destaque o poder antioxidante (BRASIL, 2015).

Figura 2 – Principais atividades in vitro exibidas pela *Cúrcuma longa* L e seus derivados.



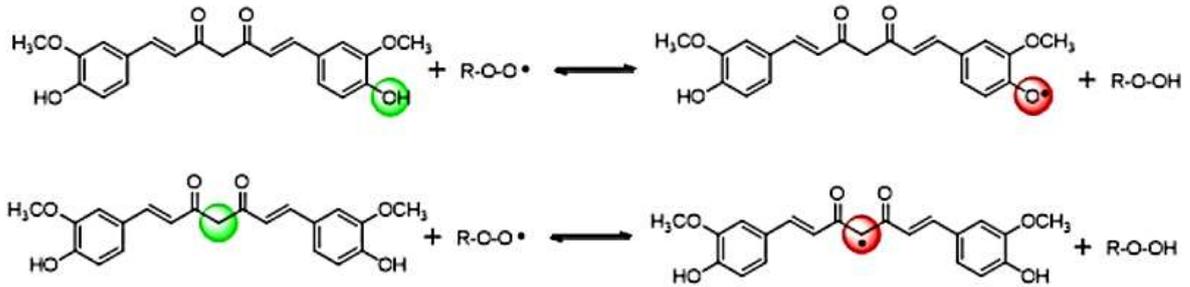
Fonte: Brasil, 2015

Comumente, a *Cúrcuma longa* apresenta na sua composição química: 6,3% de proteína, 5,1% de gordura, 3,5% de minerais, 69,4% de carboidratos e 13,1% de umidade (AMALRAJ et al., 2017).

A curcumina é o componente majoritário dos curcuminóides e a cor amarela alaranjada provém exatamente de sua estrutura química, na qual as suas principais formas dispõe de um grande sistema de conjugação e absorção na região do UV-Vis entre 410 a 430 nm, transmitindo a sua cor característica. Além da curcumina (77%), há igualmente a desmetoxicurcumina (17%) e bisdemetoxicurcumina (3%), como curcuminóides principais integrados à cúrcuma (MENG et al., 2018; BORGES et al., 2019).

A curcumina é um polifenol, responsável por grande parte das propriedades biológicas, como o potencial antioxidante, justificado pelas duas unidades estruturais presentes: o metileno  $\alpha$  ligado as carbonilas e as hidroxilas fenólicas, que atuam fornecendo hidrogênio radicalar para interagir com espécies reativas de oxigênio, anulando possíveis deteriorações celulares, conforme exibido na Figura 3 (SUETH-SANTIAGO et al., 2015). A curcumina, embora seja insolúvel em água, apresenta ótima solubilidade em outros solventes como álcoois metílicos e etílicos (LI et al., 2011; AMALRAJ et al., 2017).

Figura 3 – Representação da ação antioxidante da curcumina.



Fonte: SUETH-SANTIAGO et al. 2015.

A partir da cúrcuma é possível obter uma variedade de produtos, tais como: pó moído, óleo resina, rizomas, extratos, curcumina e óleo essencial. Todos esses produtos têm aplicações de grande interesse à indústria de alimentos, farmacêutica, têxtil e cosmética (LI et al., 2011). A Figura 4 apresenta a cúrcuma na sua constituição de planta e ao lado o seu rizoma.

Figura 4 – *Cúrcuma longa L.*: planta (A); rizoma (B).



Fonte: MENG et al. 2018

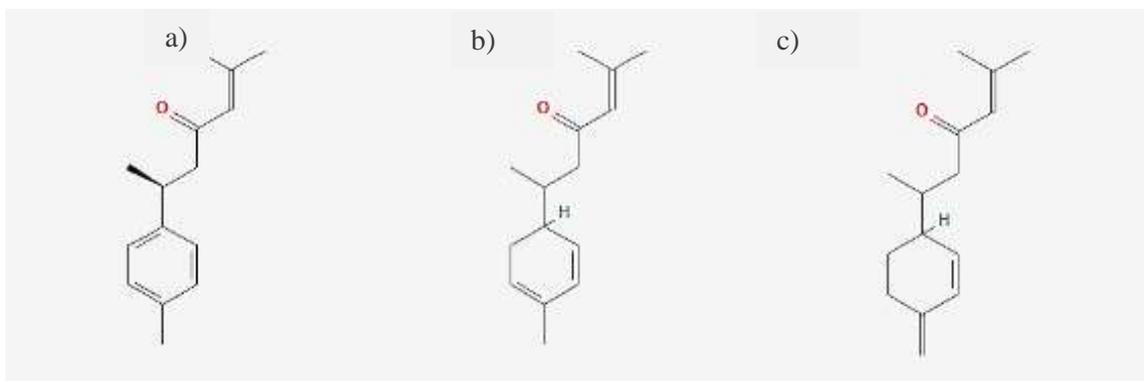
O óleo essencial oriundo da cúrcuma é uma substância química que exerce papel de auto-defesa e estimula de polinizadores na planta, sendo um material altamente propenso para várias aplicações, especialmente em usos medicinais (AKBAR et al., 2018) e alimentícios, na área de embalagens (LI et al., 2019), demonstrando ser também um material atóxico (LIJU et al., 2013).

A extração do óleo pode ser feita a partir das folhas ou do rizoma da cúrcuma e a técnica mais comumente aplicada é a hidrodestilação que possibilita a obtenção de um

produto de ótima qualidade e apto às suas mais diversas aplicações. O óleo essencial obtido da cúrcuma apresenta, por sua vez, rendimento variável de acordo com o método de extração e condições de cultivo da planta, podendo variar de 1,5 a 5,9% (LI et al., 2011; TAKEUCHI, 2012; PRIYANKA, 2018). De modo geral, o percentual de óleo essencial contido na cúrcuma é em média de 3,5%. (KAMBLÉ et al., 2011; THANGAVEL E DHIVYA, 2019).

Os principais constituintes do óleo essencial de cúrcuma são da classe dos terpenos e monoterpenos (AVANÇO et al., 2017), sendo o  $\alpha$ -turmerona, ar-turmerona e  $\beta$ -turmerona os constituintes ativos de destaque, capazes de desenvolver atividade antimicrobiana e antioxidante (MENG et al., 2018). A Figura 5 expõe as moléculas desses constituintes ativos principais.

Figura 5 – Principais componentes do OEC: ar-turmerona (a),  $\alpha$ -turmerona (b) e  $\beta$ -turmerona (c).



Fonte: Centro Nacional de Informação Biotecnológica, 2020.

Mustapha et al. (2019) sintetizaram filmes ativos, utilizando amido de mandioca, glicerol, carboximetilcelulose – CMC e óleo essencial de cúrcuma, a fim de verificar a ação desse aditivo frente a espécie fúngica: *Aspergillus niger*, contaminante comum de muitos alimentos, como frutas e legumes. Nos seus experimentos, observaram que à medida que ocorria a liberação do óleo essencial de cúrcuma, a inibição do microrganismo testado aumentava, em decorrência dos compostos ativos investigados no óleo: turmerona, curcumeno, cimeno. De modo resumido, a interação entre o polímero e óleo facilitou a liberação desse agente microbiano, comprovando a funcionalidade ativa do óleo essencial de cúrcuma para a obtenção de embalagens alimentícias.

Li et al. (2019) incorporaram o óleo essencial de cúrcuma à quitosana para produção de filmes destinados a embalagem. Nos seus resultados, apontaram que a adição do óleo essencial contribuiu com a diminuição da solubilidade e inchamento dos filmes, além de promover atividade antifúngica altamente satisfatória frente à espécie *Aspergillus flavus*,

comprovando a eficiência em utilizar esse aditivo na produção de embalagens ativas de alimentos.

Nos últimos anos, alguns estudos constataram a ação do óleo essencial de cúrcuma com aplicação direta ou em filmes ativos. Singh et al. (2010) obtiveram ótimos valores de potencial de inibição para o óleo essencial, em decorrência da ação sinérgica dos compostos fenólicos presentes. Tongnuanchan, Benjakul e Prodpran (2013) produziram filmes de gelatina extraída da pele de peixe incorporados com diferentes óleos essenciais, como gengibre, cúrcuma e plai (*Zingiber cassumunar Roxb*), alcançando melhores resultados de atividade antioxidante para os filmes aditivados com o óleo essencial de cúrcuma e plai. Avanço et al. (2017) comprovaram, de igual modo por meio das suas análises, o desempenho do óleo essencial de cúrcuma como agente antioxidante e antifúngico, o que indica que esse óleo essencial pode ser utilizado na produção de embalagens ativas para a conservação de alimentos.

É válido enfatizar que até o presente momento, não há na literatura trabalhos utilizando amido de milho aditivado com óleo essencial de cúrcuma para produção de embalagens ativas. Assim, a investigação dos efeitos sinérgicos e principais propriedades geradas pela união dessas matérias-primas tem grande relevância para área de ciência de materiais, permitindo ampliar as possibilidades de se produzir embalagens ativas, com produtos naturais e biodegradáveis.

Dentre as embalagens alimentícias destacam-se as embalagens para acondicionamento de pão, alimento perecível que resulta do cozimento de uma massa obtida pela mistura de farinha de trigo, sal comestível e água potável, fermentada por espécies de microrganismos. Esse alimento pode sofrer deterioração rápida, caracterizada por mofo em sua superfície. Logo, o acondicionamento desse alimento por embalagens ativa antimicrobiana pode mitigar a problemática causada pela sua deterioração.

### 3.5 CONTAMINAÇÃO MICROBIANA DE PÃES

Os pães fazem parte do consumo da humanidade, e está entre os alimentos mais presentes na dieta dos brasileiros, com consumo diário elevado, em especial, pelo custo acessível. Entretanto, possui um prazo de validade relativamente baixo devido sua elevada atividade de água, sendo suscetível à contaminação por diversos microrganismos. No geral, os fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Chrysonilia*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Eurotium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus* e *Mucor* são os causadores da deterioração de pães,

destacando mais comumente os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Rhizopus*. A ação dos fungos no pão é diversa, os aspectos mais perceptíveis de alteração são: cor, sabor e odor do produto (ALMEIDA, 2017; SILVEIRA, 2019).

A vida de prateleira dos pães é fortemente afetada por alterações microbiológicas associadas à diversos fatores que contribuem diretamente com a proliferação por microrganismo, fatores como temperatura de armazenamento, umidade do produto, material que constitui a embalagem, etc. (FERREIRA, 2018). Camargo e Wittmann (2020) explicam que o pão do tipo forma está posicionado mundialmente, entre os alimentos que mais sofrem desperdícios e que esse problema ocorre durante o armazenamento e seu consumo, quando o pão atinge a data de validade (período muito curto) e não consegue ser consumido por completo, chegando a ser descartado. As embalagens se inserem nesse contexto visando atuar na redução de perdas e desperdícios alimentares (ANJOS, 2018).

Haja vista, as diversas marcas de pães existentes no Brasil, muitas empresas tem investido no desenvolvimento de embalagens que atraiam mais ainda o consumidor, aspectos como: estilo, aparência, informações, exclusividade da embalagem, têm sido levados em consideração pela decisão de compra do consumidor (RIBEIRO, 2017).

Barbosa et al. (2010) explicam ainda, de acordo com relatórios estratégicos produzidos, sobre as principais tendências e exigências dos consumidores na área de alimentos, abordando cinco categorias principais: sensorialidade e prazer; saudabilidade e bem-estar; conveniência e praticidade; confiabilidade e qualidade; sustentabilidade e ética.

Segundo Silveira (2019), o uso de agentes antifúngicos, na formulação do pão, tem sido comumente utilizado na prevenção e controle do aparecimento de fungos que atuam retardando e/ou impedindo o seu desenvolvimento em pães do tipo forma, em especial, compostos classificados como seguros GRAS - Generally Recognized as Safe.

Assim sendo, a busca por novos materiais naturais e sustentáveis para a fabricação de embalagens que funcionem ativamente como conservantes nos produtos de panificação são de grande interesse para a indústria de embalagens e de alimentos.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAIS**

O amido de milho da marca Maizena, utilizado como matriz polimérica, foi obtido comercialmente, no mercado de Recife/PE. Como aditivo plastificante, utilizou-se o glicerol da marca Química Moderna. O aditivo ativo empregado foi o óleo essencial de cúrcuma, da marca Terra Flor (raro, originário da Índia e produzido pela Terra Flor Aromaterapia). Foi utilizado o etanol da marca Dinâmica como solvente do óleo, diante da insolubilidade desse aditivo em água. Fez-se ainda o emprego da água e do extrato pectinoso, cuja extração foi realizada a partir da casca (albedo) do maracujá. O maracujá foi adquirido no seu estágio maduro no comércio local do Recife, no período de outubro-novembro de 2019.

### **4.2 MÉTODOS**

#### **4.2.1 Caracterização do óleo essencial de cúrcuma**

##### **4.2.1.1 Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS)**

Para a investigação da composição química do óleo essencial de cúrcuma (OEC) foi utilizada a técnica de cromatografia gasosa (Modelo Trace 1300) acoplado a um espectrômetro de massa (GC-MS) (Modelo ISQ, da marca ThermoScientific), na qual foi empregado como parâmetro os estudos de Chaaban et al. (2019), seguindo o método padrão da Central Analítica, do Departamento de Química Fundamental (UFPE, Brasil). Foi utilizado uma coluna capilar TGMS (30 m de comprimento x 0,250 mm de diâmetro interno x 0,25 µm de espessura) usando como gás de arraste o hélio. A temperatura do injetor foi de 270 °C, razão de split de 100 e fluxo dividido de 100 mL/min. O programa de temperatura foi de 60 °C/min, razão de aquecimento de 10 °C/min até 60 °C, com temperatura variando de 60 °C a 300 °C e tempo de análise de 21 min. Para diluição da amostra foi utilizado o hexano como solvente.

4.2.1.2 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma (OEC) pelo método do disco-difusão em ágar

Para determinar a atividade antimicrobiana do OEC foi empregado o método de disco-difusão descrito por Silva et al. (2019), testando as bactérias *Staphylococcus Aureus*, *Escherichia coli* e *Enterobacter*, em triplicata. Inicialmente foi preparado o meio de cultura (Ágar Nutritivo) em uma placa de Petri estéril. Foi interceptado em cada placa (para cada bactéria) com o auxílio de um pincel, quatro quadrantes, sendo três para o depósito dos discos impregnados com o OEC e um quadrante reservado como controle, para verificar o crescimento da bactéria naquela região. Os discos utilizados neste ensaio foram de papel filtro também esterilizados. Após a solidificação do meio de cultura, uma alíquota 0,1mL da suspensão microbiana da bactéria (padronizada de acordo com a escala McFarland) foi espalhada sobre este meio. Em seguida, os discos de papel com OEC impregnado, foram transferidos para a superfície do meio de cultura com a bactéria inoculada. A placa foi inserida em uma estufa à 35 °C por 48 h e após este período mediu-se o halo de inibição com o auxílio de uma régua.

#### 4.2.1.3 Teor de Composto Fenólicos Totais e atividade antioxidante do óleo essencial de cúrcuma

##### 4.2.1.3.1 Teor dos compostos fenólicos Totais

O teor de fenóis totais foi determinado empregando-se a metodologia de Rossi & Singleton (1965). Inicialmente diluiu-se 10 mg da amostra em etanol, utilizando um balão volumétrico de 10 mL. Transferiu-se para um tubo de ensaio uma alíquota de 150 µL desta solução, juntamente com uma alíquota de 2610 µL de água destilada e 60 µL do reagente Folin-Ciocalteu, que permaneceu em agitação por 60 segundos. Transcorrido a agitação, adicionou-se 180 µL da solução de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (15%) e agitou-se a solução por mais 30 segundos. Após 120 minutos reagindo em repouso, na ausência de luz, realizou-se a leitura em espectrofotômetro (*Edutec*) a 760 nm, em triplicata. Uma curva padrão com ácido gálico nas concentrações de 1 a 20 mg/ mL foi obtida nas mesmas condições ( $y = 0,0924x + 0,1222$ ,  $R^2 = 0,986$ ). O teor de fenóis totais foi expresso em mg de EAG (equivalente de ácido gálico) por grama da amostra.

##### 4.2.1.3.2 Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo método sequestrador de radical livre 2,2-difenil-1-picrilidrazila (DPPH) foi realizada de acordo com a metodologia desenvolvida por Brand-Williams; Cuvelier e Berset (1995), com modificações. Inicialmente, preparou-se uma diluição de 1 mg. mL<sup>-1</sup> do OEC em etanol. Em seguida, foi preparada uma solução de DPPH em etanol de forma a apresentar absorvância em 517 nm entre 0,6 e 0,7. Procedeu-se, assim, a mistura reacional pela adição de 150 µL da solução do OEC e 150 µL de etanol e 2700 µL da solução de DPPH. A solução de DPPH em etanol foi utilizada como controle. Após 30 minutos de incubação da mistura em temperatura ambiente, foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro UV-visível à 517 nm, com os resultados expressos por meio da porcentagem de inibição (%I), calculado pela Equação 1:

$$\%I = \frac{A_c - A_a}{A_c} \times 100 \quad (1)$$

Em que, Ac – Absorvância controle e Aa – Absorvância da amostra.

#### 4.2.1.3.3 Determinação da atividade antioxidante pelo Método de Redução de Ferro - FRAP

A atividade antioxidante medida pelo método de *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP) se baseia na capacidade que um antioxidante possui de reduzir o Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> visivelmente essa redução é acompanhada por uma mudança de cor para um aspecto azul intenso. A análise foi efetuada segundo a metodologia de Rufino et al. (2006). Preliminarmente misturou-se 25 mL de tampão acetato 0,3 M, junto de 2,5 mL da solução (2,4,6-tri (2-piridil-1,3,5 triazina) - TPTZ a 10 mM e 2,5 mL de solução aquosa de cloreto férrico a 20 mM, para obtenção do reagente de redução FRAP. Na ausência de luz, foram introduzidas alíquotas de 90 µL da amostra em um tubo de ensaio, posteriormente, foi inserido 270 µL de água destilada, e 2700 µL do reagente FRAP, após a homogeneização da mistura, os tubos de ensaio foram colocados em banho-maria a 37 °C durante 30 minutos. Uma curva padrão de sulfato ferroso nas mesmas condições das amostras foi construída nas concentrações de 500 a 2000 µM. Os resultados foram expressos em µmol sulfato ferroso por grama de óleo.

#### 4.2.2 Preparação dos filmes poliméricos ativos

Os filmes foram produzidos utilizando amido de milho, óleo essencial de cúrcuma (OEC) diluído em etanol, glicerol como plastificante, extrato pectinoso da casca do maracujá e água destilada, empregando a técnica de evaporação do solvente (*solution casting*).

Para a obtenção do extrato pectinoso, foi utilizada a metodologia de Lira e Jackix (1996) com adaptações, na qual, foram utilizados maracujás maduros. O flavedo e a polpa foram removidos e o albedo (mesocarpo) cortados em pequenos pedaços, em seguida foram pesados 200 g do albedo e adicionadas em um béquer contendo 500 mL de água destilada que permaneceram em uma chapa aquecedora sob fervura até o amolecimento desse material (tempo de aproximadamente 1 hora). Posteriormente, adicionou-se 20 mL de limão que permaneceu sob fervura por 10 minutos. Após esfriar, o material líquido resultante do aquecimento foi extraído sob filtração e armazenado na geladeira, constituindo assim, o extrato pectinoso.

Para o preparo das soluções filmogênicas, foram homogeneizados o amido, o extrato pectinoso, glicerol e água destilada. Em seguida, foram levados para agitação com auxílio de um mixer a 1000 rpm, sob aquecimento em banho-maria a 80 °C durante 8 minutos, objetivando a gelatinização do amido.

Transcorrido o tempo de obtenção do amido gelatinizado, foi incorporado o OEC. Antes da incorporação, o óleo foi pesado em um béquer nas quantidades correspondentes para cada formulação e dissolvido em 2 mL de etanol. Após adicionado o óleo essencial, a solução permaneceu sob agitação durante 2 minutos.

Cada solução filmogênica preparada apresentou uma massa total de 60 g, integrando as seguintes composições: 3% m/m de amido de milho, 30% do extrato pectinoso em relação a massa do amido, 30% de glicerol em relação a massa do amido, 2mL de etanol, água destilada e 1%, 2% e 3% do óleo essencial de cúrcuma. A composição relativa a cada formulação de filmes poliméricos preparados está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos filmes poliméricos ativos.

Filme*	Amido (g)	Extrato pectinoso (g)	Glicerol (g)	Etanol (mL)	Água (mL)	OEC (g)
AM	1,8	0,54	0,54	-	57,12	
AM-C <sub>1</sub>	1,8	0,54	0,54	2	55,10	0,018
AM-C <sub>2</sub>	1,8	0,54	0,54	2	55,08	0,036
AM-C <sub>3</sub>	1,8	0,54	0,54	2	55,06	0,054

\*Amido/extrato pectinoso (AM), amido/extrato pectinoso com 1% de óleo essencial de cúrcuma (AM-C<sub>1</sub>), amido/extrato pectinoso com 2% de óleo essencial de cúrcuma (AM-C<sub>2</sub>) e amido/extrato pectinoso com 3% de óleo essencial de cúrcuma (AM-C<sub>3</sub>).

Fonte: A autora (2021).

A solução filmogênica foi deixada esfriar até uma temperatura de 45 °C, antes de ser vertida em placas de Petri de acrílico de 140 x 15 mm e levada para secagem em estufa de circulação de ar a 40 °C durante 7 horas.

As concentrações de OEC estabelecidos para a preparação dos filmes, foram selecionadas a partir dos resultados evidenciados nas amostras após secagem. Uma análise visual sobre diversos aspectos perceptíveis dos filmes, como: presença de fissuras, irregularidades na superfície, gotículas do óleo concentradas em uma dada região sem boa dispersão, ausência de uniformidade e até mesmo a manuseabilidade.

### **4.2.3 Caracterização dos filmes poliméricos ativos**

#### 4.2.3.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

O FTIR foi empregado com o objetivo de verificar os grupos funcionais presentes e investigar se houve a incorporação do óleo essencial à matriz polimérica. Assim sendo, o óleo essencial de cúrcuma e os filmes preparados foram analisados utilizando equipamento Espectrofotômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da marca SHIMADZU, modelo *IR TRACER 100*, empregando o método de refletância atenuada (ATR). Os espectros foram obtidos conforme metodologia de Jaramillo et al. (2016) no modo de transmitância, na faixa de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 45 varreduras.

#### 4.2.3.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

A PCA foi realizada com base nos espectros obtidos no infravermelho, em que cada amostra de filme foi analisada em cinco pontos distintos, obtendo como resultado de dados multivariados uma matriz composta por 20 espectros. Foi utilizado o software The Unscrambler 9.7, seguindo como tratamento dos dados as etapas de suavização e primeira derivada.

#### 4.2.3.3 Propriedades ópticas

##### 4.2.3.3.1 *Transparência*

Os filmes foram analisados quanto à transmissão de luz na faixa de comprimento de onda de 600 nm em espectrofotômetro UV- Visível, da marca *EduTec*, instalado no Laboratório de Petroquímica (LPQ) da Universidade Federal de Pernambuco. Os corpos de prova dos filmes foram devidamente cortados nas dimensões da cubeta e posicionados perpendicularmente na direção do feixe de luz.

Para determinar a transparência, aderiu-se como base a relação existente entre a medida de transmitância e a espessura dos filmes, de acordo com a Equação 2 (SOTHORNVIT et al., 2010). A espessura foi medida em três pontos da amostra de cada filme utilizando um micrômetro digital.

$$T = \frac{\text{Log} (\%T)}{b} \quad (2)$$

Em que, %T, é o percentual de transmitância e b, é a espessura do filme em milímetros.

#### 4.2.3.3.2 Colorimetria

A análise colorimétrica foi realizada no Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), seguindo a metodologia descrita pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM E308-17 (ASTM, 2017b) com adaptações. O experimento foi feito com auxílio de um colorímetro da marca GretagMacbeth – Color-Eye 2180, com o sistema CIELAB Ttan D65, leitura com ângulo de 10° e área de visão de uma polegada quadrada. Os filmes preparados foram inseridos em uma placa branca padrão ( $L^* = 95, 833$ ;  $a^* = -0, 22$ ;  $b^* = 2, 35$ ), sendo a diferença total da cor ( $\Delta E$ ) calculada pela Equação 3. Para a leitura da cor, adotou-se o seguinte sistema:  $L^*$  ( $\pm$ ) é a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco);  $a^*$ , varia do verde (-) ao vermelho (+) e b varia do azul (-) ao amarelo (+).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

Os valores correspondentes a  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  são calculados realizando a diferença entre os correspondentes parâmetros de cor de cada formulação preparada e a placa branca padrão utilizada.

#### 4.2.3.4 Análise Termogravimétrica

Os filmes preparados foram avaliados por análise termogravimétrica (TGA) em equipamento TGA-50 SHIMADZU. A análise foi realizada a uma faixa de temperatura de 25 a 550 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera de nitrogênio, com uma massa de amostra que variou em torno de 8 a 10 mg e vazão de nitrogênio de 50 mL/min.

#### 4.2.3.5 Teste de Solubilidade

A solubilidade dos filmes foi feita de acordo com a metodologia descrita por Nordin et al. (2020) com adaptações, sendo realizada em triplicata. Inicialmente, corpos de prova quadrados dos filmes (2cm x 2cm) foram submetidos a secagem em estufa de circulação de ar a 105 °C durante 24 h, transcorrido esse período, as amostras foram pesadas para obtenção da massa inicial ( $M_i$ ). Em seguida foram imersas em 50 mL de água destilada e mantida por 24 h sem agitação. Posteriormente, as amostras foram filtradas e submetidas novamente a secagem em estufa a 105 °C por 24 h e depois pesadas a fim de obter a massa seca final ( $M_f$ ). O percentual de solubilidade foi então determinado de acordo com a Equação 4:

$$S (\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.2.3.6 Teste de Permeabilidade ao vapor de água

Para analisar a permeabilidade dos filmes frente ao vapor de água foi necessário inicialmente realizar a medida da espessura das amostras. A espessura dos filmes foi determinada com o auxílio de um micrômetro externo (Carbografite Equipamentos Industriais LTDA), com capacidade de 0-25 mm, leitura de 0,01 mm. A medição foi realizada em cinco pontos distintos de cada amostra e a espessura do filme foi à média dessas medidas.

A permeabilidade dos filmes foi estabelecida de acordo com o método gravimétrico padrão E96-95 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM INTERNATIONAL, 2014), seguindo a descrição de Cavalcante (2018). Amostras com dimensão quadrada (6 cm x 6 cm) foram colocadas e seladas na parte superior de recipientes, formando uma área de permeação ( $7,069 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ) contendo cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) com uma distância de aproximadamente 1,5 cm entre o filme e o dessecante. Em seguida, os recipientes foram dispostos em um dessecador contendo solução de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) saturada (75 %

Umidade Relativa). O ganho de peso foi monitorado a cada 24 h durante seis dias. A permeabilidade foi realizada nas quatro formulações de filme preparadas e medidas em triplicata, segundo a Equação 5:

$$WVP = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta t} \frac{X}{P_s(UR_1 - UR_2)} \quad (5)$$

Em que, WVP corresponde à permeabilidade ao vapor de água,  $\Delta m/\Delta t$  indica o ganho de peso por unidade de tempo, A é a área da superfície do filme exposta ( $m^2$ ), X é a espessura média do filme,  $P_s$  é a pressão de saturação da água,  $UR_1$  é a umidade relativa dentro do dessecador e  $UR_2$  é a umidade relativa dentro do recipiente. O ganho de peso por unidade de tempo indica a taxa de permeação, que permite ser calculada por meio de regressão linear a partir das curvas de ganho de peso x tempo.

#### 4.2.3.7 Análise das propriedades mecânicas

O ensaio de tração foi realizado para a determinação da resistência à tração (RT) e do alongamento percentual (AL). Tais propriedades foram medidas usando um instrumento de ensaios estáticos da SHIMADZU – Linha AGS - X 10 Kn, operando conforme as especificações da ASTM D882-12 (ASTM, 2012).

Os corpos de provas foram ensaiados em formato de tiras com uma dimensão de 80 x 15 mm, e foram medidas as espessuras dos filmes com auxílio de paquímetro digital de inox (LEE TOOLS), em cinco posições aleatórias em todas as amostras, previamente acondicionadas a 75% UR e 25°C por 7 dias.

Na execução do ensaio, os corpos de prova foram fixados entre as garras do equipamento, na posição inicial de 50 mm e a velocidade de separação das garras de 12,5 mm/min estabelecidos pela norma. A RT (em MPa) foi determinada pela relação entre a força máxima de tração medida ( $\sigma$ ) e a área da seção transversal inicial do corpo de prova ( $A_0$ ), conforme Equação 6.

$$RT \text{ (MPa)} = \frac{\sigma}{A_0} \quad (6)$$

O AL (em %) foi determinado pela relação entre a distância percorrida no deslocamento das garras até a ruptura ( $\Delta L =$  comprimento final ( $L_f$ ) – comprimento inicial ( $L_0$ )) e comprimento inicial do corpo de prova ( $L_0$ ), conforme Equação 7.

$$AL (\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (7)$$

#### 4.2.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi realizada objetivando avaliar a morfologia da superfície dos filmes. Assim, após a metalização de todas as amostras, utilizou-se um microscópio modelo MIRA-3, Tescan Mira, fonte de alto brilho, alto vácuo; SE (Voltagem de 10,0 kV e ampliação de 126 x).

#### 4.2.3.9 Avaliação da atividade antifúngica por meio da aplicação no alimento

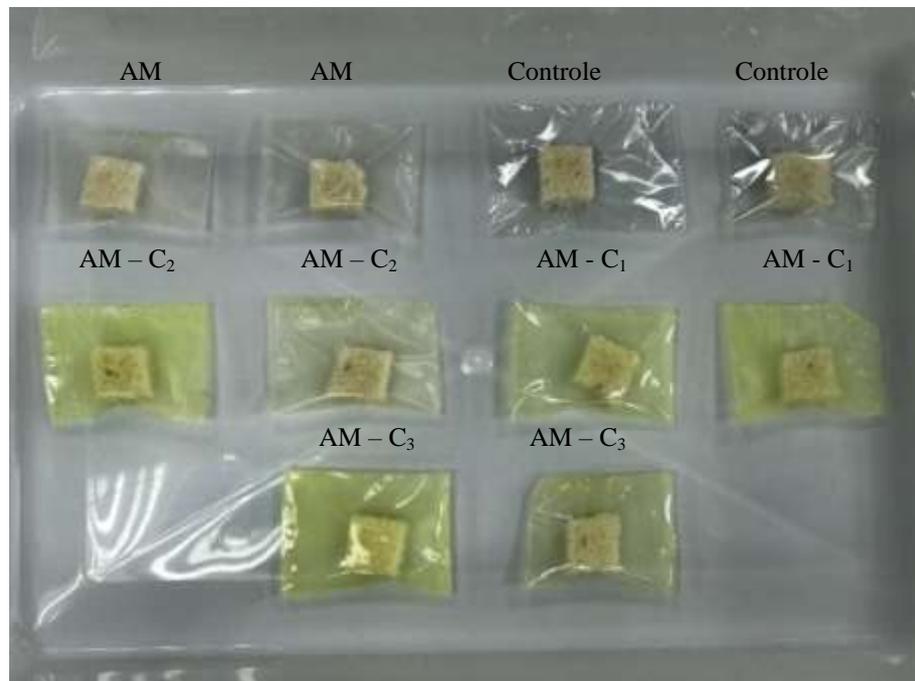
Os filmes produzidos foram submetidos a uma avaliação prática da ação antifúngica, para isso utilizou-se como alimento o pão do tipo forma. O pão de forma testado foi o tradicional da marca Pão e Mel Indústria de Panificação LTDA-ME, fabricado no dia 30/09/20, adquirido no dia 12/10/20 no comércio local de Recife - PE, com validade de 10 dias.

Empregou-se filmes de seção retangular (10 cm x 6 cm) para embalar pães de forma nas dimensões 2 cm x 2 cm. As embalagens foram devidamente seladas e armazenadas em temperatura ambiente. A avaliação do aparecimento do fungo nos pães foi feita por meio de uma análise visual, monitorada semanalmente, observando como aspecto perceptível de alteração a mudança de cor (PRIYADARSHI et al., 2018).

Foi utilizado como material de controle o celofane, que consiste em um material polimérico biodegradável de origem celulósica que possui aplicação em embalagens de alimentos (SOUZA, 2011; LUCHESE, 2018; PISCOPO et al., 2019).

A Figura 6 exhibe o experimento realizado, mostrando os pães de forma embalados pelos filmes produzidos.

Figura 6 – Imagem das embalagens confeccionadas com os filmes ativos para pães do tipo forma.



Fonte: A autora (2021).

#### 4.2.3.10 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi efetuada a fim de verificar o grau de dispersão e a confiabilidade dos dados obtidos. Para isso, foi realizado o tratamento estatístico dos referidos dados, por meio da Análise de Variância (ANOVA), usando o software ASSISTAT versão 7.7, sendo aplicado o teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

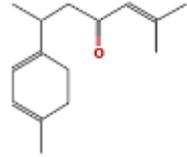
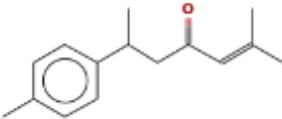
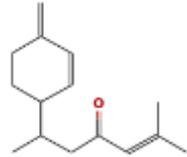
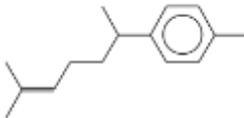
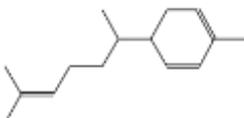
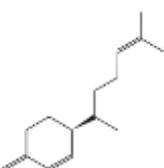
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CÚRCUMA

#### 5.1.1 Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS)

A técnica de GC-MS foi realizada com o objetivo de identificar os compostos químicos presentes em maior proporção no óleo essencial de cúrcuma. A Tabela 3 contém os compostos identificados com suas respectivas proporções e estruturas moleculares.

Tabela 3 – Composição do óleo essencial de cúrcuma obtida por GC-MS

Óleo Essencial de Cúrcuma		
Composto	(%)	Estrutura molecular <sup>a</sup>
Turmerona	36,47	
Ar – Turmerona	27,63	
$\beta$ -Turmerona	9,41	
Ar- curcumeno	6,37	
$\alpha$ -Zingibereno	5,64	
$\beta$ -sesquifelandreno	3,97	
Outros compostos	10,52	

Fonte: A autora (2021).

<sup>a</sup> As imagens referentes a estrutura molecular de cada composto (National Institute of Standards and Technology, 2020).

Os compostos Turmerona ( $C_{15}H_{22}O$ ), Ar-Turmerona ( $C_{15}H_{20}O$ ) e  $\beta$ -Turmerona ( $C_{15}H_{22}O$ ) são os predominantes na composição do OEC, compreendendo 73,51% do total. Esses compostos são considerados ativos majoritários presentes no óleo, capazes de promover ação antimicrobiana e antioxidante, conforme evidenciado na literatura (MENG et al., 2018).

Classificando em grupos, os compostos identificados, são os sesquiterpenóides (Ar-Turmerona,  $\beta$ -Turmerona e Turmerona) e sesquiterpenos (Ar-curcumeno,  $\alpha$ -Zingibereno e  $\beta$ -sesquifelandreno) (GOUNDER e LINGAMALLU, 2012; MUSTAPHA et al., 2019; National Center for Biotechnology Information, 2020).

O resultado corrobora com afirmação de Meng et al. (2018) que evidenciaram os terpenóides como os principais componentes do óleo essencial da cúrcuma, sendo a maioria constituídos por sesquiterpenóides. As estruturas químicas dos compostos sesquiterpenóides no óleo de cúrcuma são bem semelhantes, existindo alguns que são isômeros com as estruturas se diferenciando na posição das ligações duplas (NAGHETINI, 2006).

Edris (2007) explica, que em se tratando da atividade antioxidante dos óleos essenciais, não só os constituintes fenólicos explicam essa ação, mas também outros compostos, tais como: álcoois terpênicos, hidrocarbonetos e éteres contribuem para eliminação de radicais livres em produtos lipídicos.

Os resultados determinados nesse estudo estão em concordância com os observados em outros estudos. Majolo et al. (2014) determinaram dentre os compostos majoritários no óleo essencial de cúrcuma: ar-turmerona (17,9%) e  $\alpha$ -turmerona (14,6%), observando também a presença de  $\alpha$ -Zingibereno (0,5%),  $\beta$ -sesquifelandreno (0,6%) e Ar-curcumeno (0,5%). Enquanto Gounder e Lingamallu (2012) encontraram como compostos no óleo essencial de cúrcuma: ar-turmerona (21,0 a 30,3 %),  $\alpha$ -turmerona (24,8 a 33,5%),  $\beta$ -turmerona (18,9 a 21,1%), ar-curcumeno (1,2 a 1,9%),  $\alpha$ -Zingibereno (2,2 a 2,6%) e  $\beta$ -Sesquifelandreno (1,8 a 2,4%).

Franco et al. (2007) também observaram a presença de turmerona (28,6%) como um dos componentes majoritários e outros compostos também foram encontrados no referido trabalho, como curcumeno (0,79%) e  $\alpha$ -zingibereno (0,54%). Também Almeida et al. (2008) constataram como composto predominante no óleo o Ar-Turmerona.

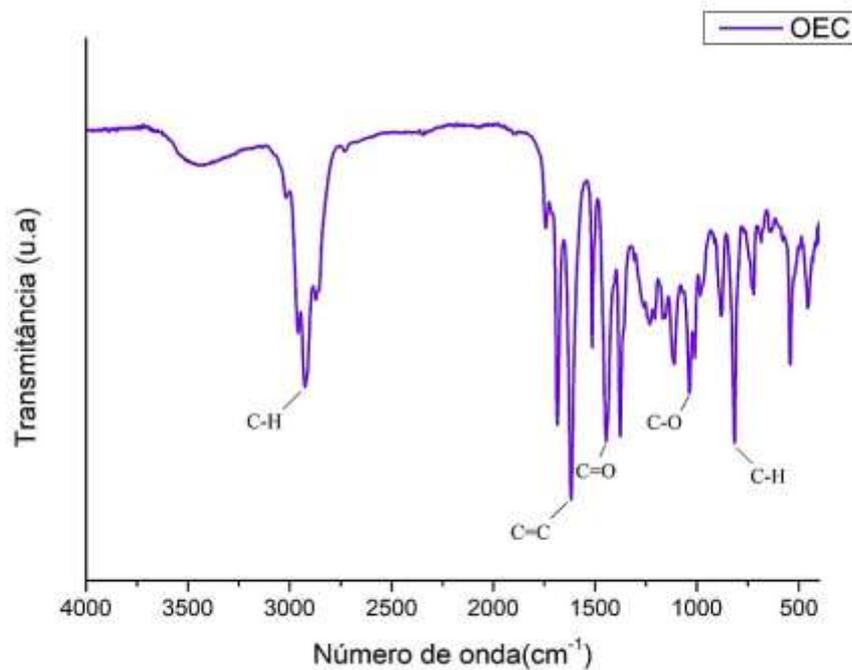
A variação no percentual dos diversos compostos químicos identificados no OEC em relação aos estudos literários advém de fatores intrínsecos à planta, como: localização geográfica de origem, condições climáticas, estágio de desenvolvimento ou idade da planta, dentre outros. Ainda mais, a volatilidade dos componentes químicos do óleo essencial, a oxidação dos compostos químicos, métodos de extração e alguns outros fatores associados ao

óleo são responsáveis pelas diferenças na proporção e composição de óleo essencial de cúrcuma (GOUNDER e LINGAMALLU, 2012; MENG et al.; 2018).

### 5.1.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de espectroscopia no infravermelho do óleo essencial de cúrcuma (Figura 7) foi realizada a fim de identificar as principais bandas características do óleo essencial de cúrcuma e assim detectar as bandas pertencentes aos compostos majoritários (Turmerona, Ar-Turmerona e  $\beta$ -Turmerona) determinados na análise de GC-MS.

Figura 7 – Espectro de infravermelho do óleo essencial de cúrcuma.



Fonte: A autora (2021).

Pela análise do espectro de infravermelho do óleo essencial de cúrcuma, observa-se a presença de um alongamento pertencente a um composto alifático C-H em aproximadamente  $2926\text{ cm}^{-1}$  e a presença de (-OH) em  $3400\text{ cm}^{-1}$ . Um pico em aproximadamente  $1616\text{ cm}^{-1}$  atribuído a anéis aromáticos (C=C) e um pico em aproximadamente  $1446\text{ cm}^{-1}$  podendo ser atribuído ao alongamento C=O, o que caracteriza a presença dos compostos majoritários do óleo (sesquiterpenos). Já em  $1037\text{ cm}^{-1}$  e  $815\text{ cm}^{-1}$  evidencia-se a presença de C-O e C-H, respectivamente.

As bandas características obtidas no espectro de infravermelho do óleo essencial de cúrcuma estão conforme evidenciado na literatura. Araújo et al. (2016) identificaram na análise do espectro de infravermelho do óleo essencial de cúrcuma bandas de 2900 – 3100  $\text{cm}^{-1}$ , característica da ligação hidroxila (-OH), grupos amina (-NH) e C-H alifático. Atribuíram ainda, a ligação C–O (alongamento de vibrações de oligossacarídeos) e C–OH (típico de dissacarídeos) às bandas de 1157 e 1020  $\text{cm}^{-1}$ .

De modo mais específico, Priyanka (2018) relata um pico em 3414  $\text{cm}^{-1}$ , na qual evidenciou o alongamento O-H, um pico em 2926  $\text{cm}^{-1}$  referente ao alongamento do composto alifático (C-H), um pico em 1638  $\text{cm}^{-1}$  atribuído ao alongamento de anéis aromáticos (C=C), um pico em 1515  $\text{cm}^{-1}$  associado ao alongamento C=O, o que levou a considerar a presença dos sesquiterpenos (turmerona). Confirmou ainda a disponibilidade de alcanos ou dobramento de  $\text{CH}_3$  nos picos de 1377 e 1321  $\text{cm}^{-1}$ , devido à presença de curcuminóides (curcumina). Destacou ainda, na sua observação, picos em 1158 e 1025  $\text{cm}^{-1}$  decorrente do alongamento C-O-C e picos em 767, 707 e 614  $\text{cm}^{-1}$  associados a curvatura C-H (curvatura de H aromático).

Assunção (2016) também investigou os espectros do óleo essencial de cúrcuma, e verificou em 2927  $\text{cm}^{-1}$  a presença de uma deformação axial assimétrica C-H, em 1686  $\text{cm}^{-1}$  a deformação axial C=O, em 1618  $\text{cm}^{-1}$  o estiramento C=C, em 1376  $\text{cm}^{-1}$  a presença de C-H, em 1213  $\text{cm}^{-1}$  a presença de C-N, o estiramento C-O em 1036  $\text{cm}^{-1}$  e nos comprimentos de onda de 984  $\text{cm}^{-1}$ , 878  $\text{cm}^{-1}$ , 815  $\text{cm}^{-1}$ , 729  $\text{cm}^{-1}$  a presença de C-H.

### 5.1.3 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma pelo método de disco difusão em meio ágar nutritivo

A Tabela 4 apresenta de modo detalhado, o valor do halo de inibição em milímetros, da ação antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma, obtido para cada microrganismo testado.

Tabela 4 - Teste de inibição microbiana do óleo essencial de cúrcuma.

Leitura	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Escherichia coli</i>
1	10 mm	Ausência de halo	Ausência de halo
2	12 mm	Ausência de halo	Ausência de halo
3	10 mm	Ausência de halo	Ausência de halo

Fonte: A autora (2021).

Foi possível observar que após o período de incubação, o OEC conseguiu inibir o crescimento da bactéria *Staphylococcus aureus*, apresentando um diâmetro médio do halo de inibição de 11 mm. Entretanto, não foi possível observar halos de inibição para as colônias das bactérias *Escherichia coli* e *Enterobacter*.

Os resultados apresentados neste teste estão em conformidade com os relatados em outros estudos, que evidenciaram uma ação mais efetiva do OEC contra as bactérias Gram-positivas. Franco et al. (2007), avaliando a atividade do óleo essencial de cúrcuma, puderam constatar a ação antibacteriana sobre o *Staphylococcus aureus*, apresentando 12 mm de diâmetro no halo de inibição, porém não detectaram nenhuma atividade frente os demais microrganismos testados, *Salmonella choleraesuis* e *Escherichia coli*.

Esses resultados mais efetivos em bactérias Gram-positivas podem ser explicados pela ausência da membrana externa nessas bactérias, o que as torna incapaz de limitar a ingestão de substâncias exógenas (GUL et al., 2004).

Adicionalmente, estudos relatam o potencial de inibição microbiana do OEC frente a diferentes patógenos avaliados, apresentando com maior relevância, atividade para *S. Aureus*, seguida por *P. aeruginosa*, *C. albicans* e menor atividade para a *A. niger* (SINGH et al., 2012). Apresentam também, ação eficaz contra fungos capazes de causar a contaminação de vários alimentos (BRADO et al., 2017).

Assim, esses resultados mostram que é possível a utilização do óleo essencial de cúrcuma como agente aditivo antimicrobiano na produção de filmes para aplicação em embalagens ativas antimicrobianas.

#### **5.1.4 Teor de Compostos Fenólicos Totais e atividade antioxidante do óleo essencial de cúrcuma**

A Tabela 5 dispõe os resultados relativos ao teor de compostos fenólicos apresentados pelo OEC e os valores de atividade antioxidante determinados pelos métodos de DPPH e FRAP. A utilização desses métodos são complementares e faz-se necessário a aplicação associada de mais de uma técnica para uma avaliação eficaz do efeito antioxidante do material (CORDEIRO, 2013).

Tabela 5 – Teor de Compostos Fenólicos e Atividade antioxidante do OEC.

Teor de Compostos Fenólicos (mg EAG/g)	Atividade antioxidante	
	DPPH (% inibição)	FRAP (mmol Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /g)
49,20 ± 0,62	34,01 ± 1,76	28,05 ± 0,06

Fonte: A autora (2021).

A determinação do teor de compostos fenólicos tem importância substancial na avaliação da capacidade que um produto possui de inibir a formação de radicais livres. Estes compostos são responsáveis por conservar a qualidade de alimentos e retardar a oxidação lipídica (OLIVEIRA, 2017). A Tabela 5 indica o teor desses compostos presente no OEC, que corresponde a um valor médio de 49,90 mg EAG/g.

Esse valor se mostrou próximo ao determinado por Antunes et al. (2012), que encontraram um teor total de compostos fenólicos no óleo essencial comercial de cúrcuma de  $56,79 \pm 1,37$  mg de EAG.g<sup>-1</sup>.

Comparando ao teor de compostos fenólicos definido para diversos extratos estudados por Cordeiro (2013), o valor obtido neste estudo se mostrou superior ao valor identificado para os extratos de camomila ( $25,3 \pm 0,90$  mg EAG/g), carqueja ( $47,95 \pm 0,63$  mg EAG/g), mate ( $40,83 \pm 1,15$  mg EAG/g), chapéu de couro ( $9,85 \pm 0,13$  mg EAG/g), coentro ( $8,7 \pm 0,40$  mg EAG/g), erva-cidreira ( $23,92 \pm 0,38$  mg EAG/g), funcho ( $11,9 \pm 0,70$  mg EAG/g), guaraná ( $4,32 \pm 0,22$  mg EAG/g), manjerição ( $32,88 \pm 1,21$  mg EAG/g), Pau D'arco ( $36,73 \pm 0,92$  mg EAG/g) e senna ( $19,1 \pm 0,60$  mg EAG/g). Os resultados desse estudo revelam que o OEC apresenta eficiência superior quando comparado a extratos vegetais, que também são aditivos aplicados com potencial antioxidante.

Perante a metodologia de DPPH, o OEC apresentou uma atividade antioxidante razoável, conforme observado pela média do percentual de inibição da oxidação, que exibiu um valor de 34,01%. Esse resultado é próximo ao valor determinado por Antunes et al. (2012) que obtiveram um teor de inibição de 40% do óleo essencial de cúrcuma comercial (*Curcuma longa*) em 30 min de análise pelo mesmo método. Já Sacchetti et al. (2005) analisaram a atividade antioxidante do óleo essencial de *Curcuma longa* em 70 minutos de análise e observaram um teor de aproximadamente 63 % de inibição da oxidação.

A avaliação do sequestro de radicais livres DPPH foi realizada em óleos da cúrcuma em diferentes espécies vegetais testadas. No óleo essencial extraído do rizoma da *Curcuma Zerumbet* por Santos et al. (2014), a atividade antioxidante manifestada no óleo foi positiva, apresentando 31,73 % de inibição com 30 minutos de análise. Costa et al. (2015) investigaram

a atividade antioxidante do óleo essencial extraído do rizoma da *Cúrcuma Zedoaria*, obtendo um valor de 47% de inibição para esse mesmo tempo de análise. Os estudos evidenciam a semelhança do valor de inibição apresentado para diferentes resultados empregando mesmo tempo de análise, corroborando para a comprovação da eficácia antioxidante do óleo essencial de cúrcuma.

O potencial redutor férrico do óleo essencial de cúrcuma analisado nesse estudo exibiu um valor médio de 28,05 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g, conforme apresentado na Tabela 5. Esse valor se mostrou superior ao valor determinado por Ahmed et al. (2019) que investigaram o potencial antioxidante do suco e óleo da casca de diversas variedades de toranja cultivadas na Índia. Nos resultados, os valores de FRAP para amostras de suco de toranja e as amostras de óleo variaram de 2,91 a 1,44 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g e 7,76 a 5,73 mmol Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/g, respectivamente. Assim, na análise da pesquisa anteriormente citada, é evidente que a capacidade antioxidante variou de acordo com as espécies testadas, que por sua vez, foram inferiores ao valor determinado para o OEC do presente estudo (Tabela 5).

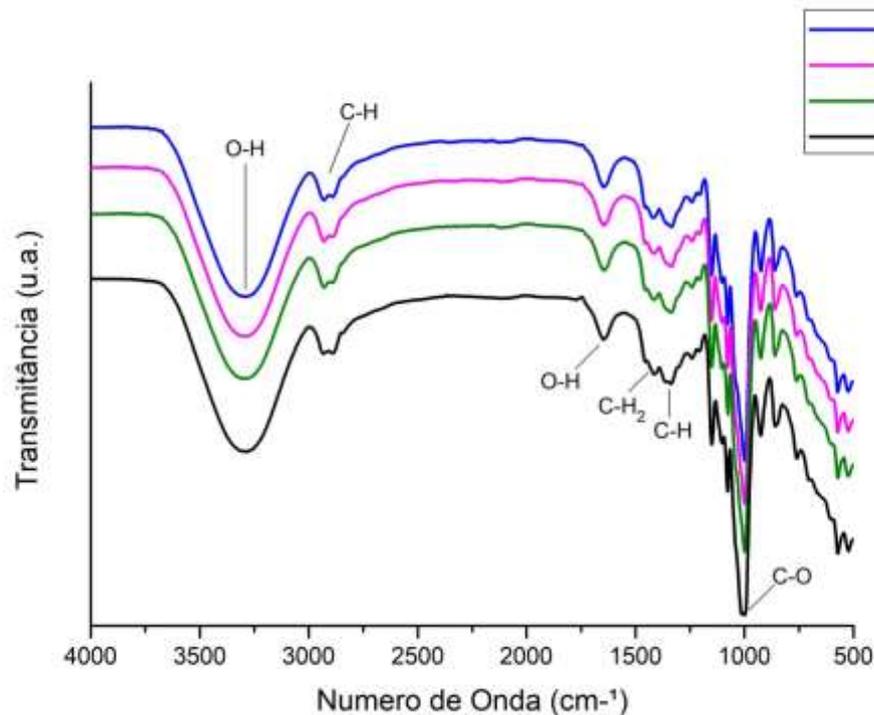
O valor de inibição apontado pelo OEC no presente estudo, para todas as metodologias testadas, é um indicativo que este óleo apresenta substâncias com potencial antioxidante, podendo ser de interesse para aplicação em embalagens ativas antioxidantes.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS ATIVOS

### 5.2.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 8 apresenta os espectros obtidos na análise dos filmes preparados. É evidente a semelhança obtida em todos os espectros, tanto para o filme de amido/extrato pectinoso, como para os filmes com diversas concentrações do OEC, tal fato associa-se ao óleo essencial de cúrcuma apresentar bandas vibracionais características nas mesmas regiões do filme de amido/extrato pectinoso.

Figura 8 – Espectro de infravermelho do filme de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com óleo essencial de cúrcuma.



Fonte: A autora (2021).

Os espectros de infravermelho dos filmes de amido (Figura 8) estão em conformidade com os resultados apresentados por Qin et al. (2019), que encontraram bandas características em  $3326\text{ cm}^{-1}$ , correspondente ao alongamento OH de amido, glicerol e água no filme. Exibiu também banda em  $2928\text{ cm}^{-1}$  devido à dobra de CH, banda em  $1641\text{ cm}^{-1}$  atribuída à dobra OH de água no filme, banda próxima a  $1500\text{ cm}^{-1}$  atribuída a C-H.

De igual modo, Ortega-Toro et al. (2016) observaram bandas semelhantes, a Tabela 6 apresenta de modo detalhado as principais bandas vibracionais observadas no estudo desses autores.

Tabela 6 – Bandas características no espectro infravermelho para o amido.

Número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Atribuições
3500 – 3000	Estiramento O-H
2943-2920	Estiramento C-H
1728	Flexão O-H (água)
1420	C-H
1455	CH <sub>2</sub>
1150	C-O

Fonte: Ortega-Toro et al. (2016)

De modo complementar, essas mesmas bandas podem ser verificadas nos estudos de Paiva (2014), que realizou a análise dos espectros de absorção no infravermelho de compostos pécnicos dos frutos de *Garcinia brasiliensis*. A Tabela 7 apresenta a compilação dos dados representando os principais picos observados no referido estudo.

Tabela 7 - Bandas características no espectro infravermelho para a pectina.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Atribuições da pectina
3600 – 3100	Alongamento O-H
2950 – 2880	Alongamento C-H
2079 – 2045	Aminas (N-H / -NH <sub>2</sub> )
1750	C=O (éster)
1650	C=O (ácido)
1390	δs C-H
1000 – 1300	CO (podendo ser ésteres e ácidos carboxílicos)

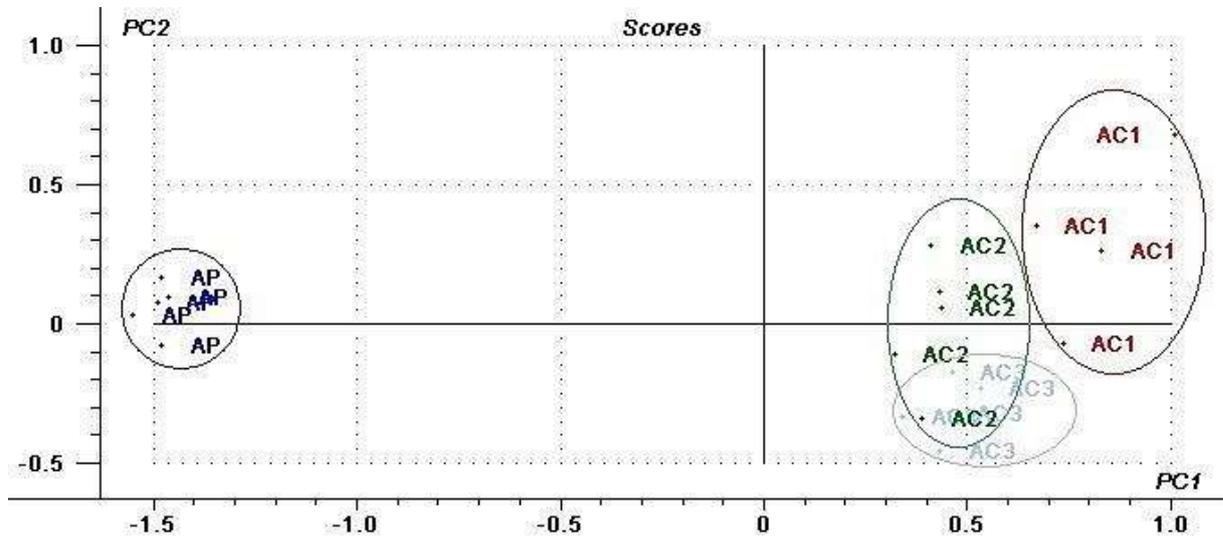
Fonte: Paiva (2014).

Diante da semelhança obtida nos resultados para todos os filmes, foi indispensável a realização de uma análise minuciosa que pudesse evidenciar as diferenças mais sutis em torno dessas formulações, fazendo uso, portanto, da Análise de Componentes Principais (PCA), que se baseia na transformação de um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis menor, que conterà a maior parte da informação do conjunto original, denominadas de componentes principais. Essa técnica reúne os indivíduos de uma dada população segundo a variação de suas características (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

### 5.2.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

No intuito de certificar a incorporação do óleo essencial de cúrcuma aos filmes de amido/extrato pectinoso, foi obtido um modelo PCA a partir dos dados adquiridos no infravermelho, a Figura 9 apresenta o gráfico dos *scores*, comprovando as diferenças químicas entre o filme de amido/extrato pectinoso e os filmes aditivados com OEC.

Figura 9 – Análise das Componentes principais dos filmes de amido/extrato pectinoso e aditivado com 1, 2 e 3% do óleo essencial de cúrcuma.



Fonte: A autora (2021).

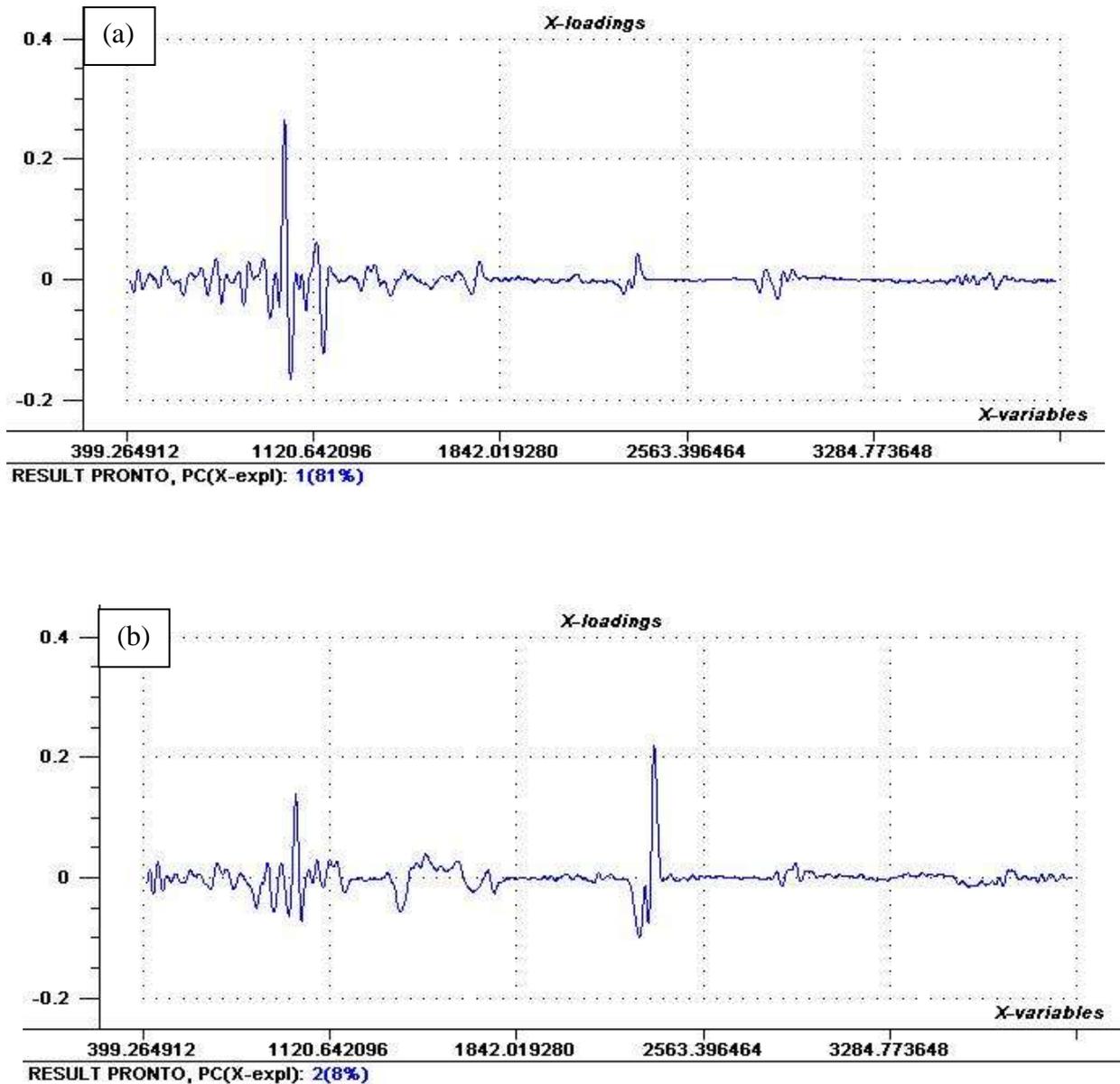
É bastante perceptível no gráfico a separação entre os filmes que tiveram a adição de óleo (AC1, AC2 e AC3) com os filmes que não foram aditivados (AP), essa separação pode ser evidenciada pela análise dos *loadings* da PCA.

Pela análise do gráfico de *loadings* (Figura 10) é possível afirmar que a PC1 foi capaz de explicar cerca de 80% dos dados associados a essa análise e que a PC2 contribuiu com a explicação de 8% dos dados, evidenciando assim, que uma quantidade pequena de PCs (componentes) foi suficiente para detectar uma alta quantidade de informações químicas para explicar os dados.

A PC1 explica que as bandas mais relevantes para essa separação química evidenciada entre os filmes de amido/extrato pectinoso aditivados e não aditivado está em torno de  $1000$  a  $1200\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento C-O característico do amido, essa banda pode ser vista de forma bem intensa na análise dos espectros presentes na Figura 8 dos filmes, já pela análise dos espectros específicos do óleo essa banda aparece com menor intensidade, comprovando assim uma menor quantidade de C-O em filmes aditivados.

É possível verificar que, tanto na PC1 como na PC2, existem bandas pertencentes aos grupos funcionais característicos do óleo essencial de cúrcuma, tais como anéis aromáticos (C=C) em aproximadamente  $1600\text{ cm}^{-1}$ , o alongamento C=O em  $1400\text{ cm}^{-1}$ , e em aproximadamente  $600$ ,  $700$ ,  $800$  e  $900\text{ cm}^{-1}$  a presença da curvatura C-H. Comprovando a diferenciação química obtida em virtude da incorporação do OEC.

Figura 10 – Gráfico de loadings dos filmes de amido/extrato pectinoso e aditivado com 1, 2 e 3% do óleo essencial de cúrcuma. Sendo em a) PC1 e em b) PC2.



Fonte: A autora (2021).

## 5.2.3 Propriedades Ópticas

### 5.2.3.1 Transparência

Após a medição da espessura e da determinação dos valores de transmitância para cada um dos filmes preparados, pode-se calcular a transparência dessas amostras (Tabela 8).

Tabela 8 – Transparência dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC.

Filmes	Transparência dos filmes (Log (%T) /mm)
AM	18,717 <sup>a</sup> ± 2,917
AM-C <sub>1</sub>	13,590 <sup>a</sup> ± 2,640
AM-C <sub>2</sub>	15,370 <sup>a</sup> ± 3,300
AM-C <sub>3</sub>	16,993 <sup>a</sup> ± 1,484

Resultados expressos com letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Duncan ( $p \geq 0,05$ )

Fonte: A autora (2021).

Embora muitos estudos enfatizam que a adição de óleos essenciais a matriz polimérica promove aumento na dispersão da luz, contribuindo com o aumento da opacidade e consequente redução da transparência, devido a diferença existente entre o índice de refração das gotículas do óleo e a fase contínua que constitui o filme polimérico. (EVANGELHO et al., 2019; SHOJAEE-ALIABADI et al., 2013). Os resultados obtidos demonstram que, após a incorporação do OEC o valor de transparência exibido nas formulações dos filmes não difere estatisticamente entre si, o que revela que os filmes preparados apresentaram uniformidade e que a adição do óleo não reduziu a transparência de modo significativo.

Resultado semelhante foi observado nos estudos de Yeddes et al. (2020) que não observaram variações significativas após a adição do óleo essencial de alecrim a filmes de gelatina-quitosana-pectina. No entanto, Li et al. (2019) analisando os efeitos do óleo essencial de cúrcuma à matriz polimérica de quitosana, observou a diminuição da transparência dos filmes, porém, os autores utilizaram uma concentração maior do óleo.

É válido enfatizar que, a transparência dos filmes depende muito dos aditivos e polímeros utilizados, bem como da interação entre eles, podendo aumentar, diminuir ou não causar alterações, conforme mostrado no presente trabalho (AMORIM, 2019).

### 5.2.3.2 Colorimetria

A cor do filme é um aspecto bastante importante para a fabricação das embalagens, sendo apontado como um dos fatores que afeta a aparência do produto contido no seu interior, interferindo na aceitabilidade visual pelo consumidor (CASTILLO et al., 2017; LI et al., 2019). A Tabela 9 apresenta os parâmetros de cor e a diferença total de cor obtida para cada filme preparado.

Tabela 9 - Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes enriquecidos com OEC.

Filmes	Parâmetros de cor			
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
AM	94,66 <sup>a</sup> ± 0,27	-0,58 <sup>d</sup> ± 0,05	3,59 <sup>d</sup> ± 0,17	1,75 <sup>d</sup> ± 0,28
AM-C <sub>1</sub>	94,62 <sup>a</sup> ± 0,09	-3,97 <sup>c</sup> ± 0,42	12,53 <sup>c</sup> ± 1,25	10,92 <sup>c</sup> ± 1,32
AM-C <sub>2</sub>	94,15 <sup>b</sup> ± 0,17	-6,00 <sup>b</sup> ± 0,45	19,11 <sup>b</sup> ± 1,44	17,81 <sup>b</sup> ± 1,50
AM-C <sub>3</sub>	93,88 <sup>c</sup> ± 0,15	-6,66 <sup>a</sup> ± 0,40	22,08 <sup>a</sup> ± 1,47	20,85 <sup>a</sup> ± 1,51

Resultados expressos com letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ )

Fonte: A autora (2021).

O valor de  $L^*$  é um indicativo da luminosidade do filme, podendo ser observado uma leve diminuição nesse valor à medida que foi sendo incorporado o OEC. Esse valor variou de 94,66 a 93,88, o que expressa que todos os filmes apresentam grande proximidade da cor clara e perda de luminosidade. É visto também que não teve diferença estatística significativa entre as amostras constituídas pelo filme de amido/extrato pectinoso (AM) e amido/extrato pectinoso com 1% de óleo essencial de cúrcuma (AM-C<sub>1</sub>), o que mostra que em pequena concentração, o óleo não alterou, de forma significativa, a luminosidade do filme. Resultados semelhantes foram encontrados por Li et al. (2019) na avaliação dos filmes de quitosana aditivados com OEC, que observaram o declínio no valor do brilho com a adição do óleo.

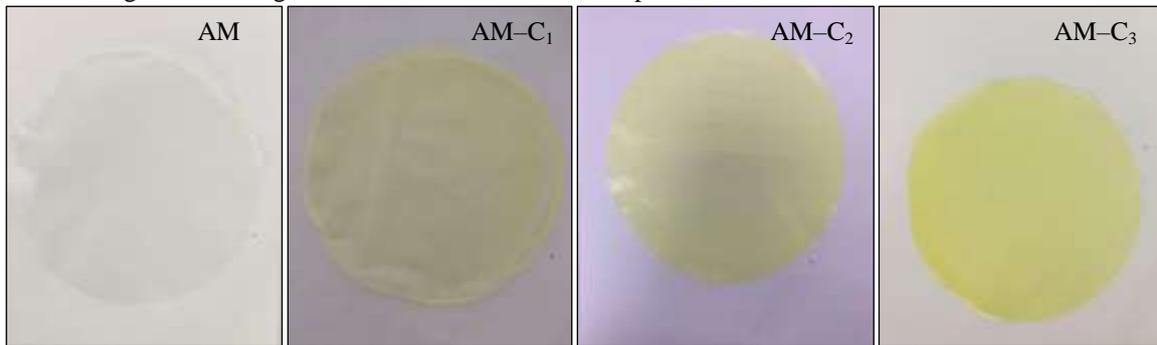
O parâmetro  $a^*$  exprime a variação verde (-) e vermelho (+) dos filmes, e este resultado foi negativo em todos os filmes, indicando a aproximação com a tonalidade verde. Valores negativos também foram encontrados nos filmes de amido de milho com talco sintetizados por Castillo et al. (2015), nos filmes de amido de milho com óleo essencial de laranja produzidos por Evangelho et al. (2019) e nos filmes de amido de milho plastificados com glicerol e timol fabricado por Nordin et al. (2020). Em todos os trabalhos citados, ficou evidenciado a tendência que os filmes de amido de milho possuem pela coloração verde.

É evidente na análise dos resultados que o parâmetro  $b$ , componente que reflete a variação de cor azul (-) e amarela (+), aumentou de forma considerável conforme a adição do óleo, indicando o ganho da cor amarela nos filmes, podendo ser vista de forma explícita pela análise visual da imagem dos filmes produzidos, dispostas na Figura 11. Esse resultado é proveniente da presença de curcumina na composição química do OEC, visto que esse componente tem como cor característica um amarelo alaranjado. De modo semelhante, De Campos et al. (2019) avaliaram que o aumento da curcumina nos filmes de amido de mandioca e poli (adipato butileno co-tereftalato) - PBAT resultou na diminuição do parâmetro

de luminosidade  $L^*$  e no aumento de forma significativa do valor de  $b^*$ , apontando a tendência a cor amarela.

A Figura 11 apresenta as imagens dos filmes obtidos, e percebe-se que todos apresentaram uniformidade na distribuição de cor, sendo que a formulação AM - sem a incorporação do óleo - não apresentou a tonalidade amarela. A incorporação do OEC aumentou essa cor gradualmente com a adição de maiores concentrações do óleo na formulação.

Figura 11 – Imagens dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC



Fonte: A autora (2021).

A diferença total de cores obtida por meio do cálculo do  $\Delta E^*$  variou de 1,75 para o filme contendo apenas amido de milho e extrato pectinoso até 20,85 para o filme contendo 3% de OEC. O aumento do teor de óleo adicionado aos filmes gerou uma maior mudança de coloração, em consequência do aumento nos parâmetros de cor  $a^*$  e  $b^*$ .

#### 5.2.4 Espessura, Solubilidade e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A Tabela 10 apresenta a espessura, a solubilidade e a permeabilidade ao vapor de água determinados para os filmes de amido de milho/extrato pectinoso com e sem a adição do óleo essencial de cúrcuma.

Tabela 10 – Espessura, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes aditivados com OEC.

Filmes	Espessura (mm)	Solubilidade (%)	PVA ( $10^{-7}$ g/h.m.Pa)
AM	$0,094^a \pm 0,014$	$28,74^a \pm 2,51$	$6,35^a \pm 1,69$
AM-C <sub>1</sub>	$0,103^a \pm 0,01$	$27,33^a \pm 9,26$	$6,26^a \pm 1,13$
AM-C <sub>2</sub>	$0,098^a \pm 0,01$	$27,44^a \pm 9,07$	$5,46^a \pm 1,04$
AM-C <sub>3</sub>	$0,096^a \pm 0,01$	$27,37^a \pm 3,39$	$5,11^a \pm 4,87$

Resultados expressos com letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Fonte: A autora (2021).

A avaliação da espessura dos filmes é um fator considerável para verificar a uniformidade entre eles, a validade das comparações e a repetibilidade da medida de suas propriedades (ALVES, 2009).

Os filmes produzidos apresentaram uma espessura variável entre 0,094 a 0,103, não possuindo estatisticamente diferenças significativas, o que evidencia em termos de espessura a uniformidade entre todas as formulações preparadas.

De igual modo, é de suma importância conhecer a solubilidade do material que será aplicado em embalagens alimentícias, pois é uma propriedade bastante influente para os filmes de amido. Em alguns casos é necessário que o filme possua uma menor solubilidade para promover uma maior barreira à passagem de umidade, demonstrando uma maior resistência à água, garantindo a integridade do produto contido no seu interior e executando sua função de proteção contra agentes externos de modo eficaz (ISOTTON, 2013; JHA, 2020).

Em virtude do caráter hidrofóbico do óleo, espera-se que a interação dele com a matriz polimérica, reduza a solubilidade dos filmes em água. No entanto, embora a solubilidade dos filmes de amido/extrato pectinoso teve tendência à redução da solubilidade após aditivação, essa redução não foi significativa. Contrapondo-se a esse resultado, Li et al. (2019), observaram a redução da solubilidade dos filmes de quitosana a medida que o óleo essencial de cúrcuma foi sendo adicionado, em razão da interação do óleo com a quitosana, que foi capaz de formar uma barreira à passagem de moléculas de água, minimizando os grupos hidrofílicos.

Evangelho et al. (2019), associa a tendência de os filmes possuírem maior ou menor solubilidade às características dos compostos aditivos incorporados, incluindo fatores como tipo, concentração e caráter hidrofílico ou hidrofóbico dos compostos. Assim, é possível explicar que, a redução causada pelo óleo essencial de cúrcuma aos filmes de quitosana em comparação aos filmes de amido obtido nesse trabalho, foi devido a maior concentração do óleo que foi utilizado no processo de fabricação de Li e colaboradores (1 g / 4 g) em comparação a concentração (0,054 g / 1,8 g) utilizada neste trabalho.

Os valores de solubilidade apresentados pelo filme de amido de milho sem a adição do OEC mostraram muito próximo ao valor de solubilidade apresentado pelo filme de amido de milho preparados por Ghasemlou et al. (2013), cujo valor obtido foi de 27,88% e relativamente próximo ao filme de amido de milho apresentado por Cai et al. (2020), que foi 23,5 %.

Estudos mostram baixos valores de solubilidade obtidos para filmes testados como embalagem de pão do tipo forma, isso porque como os pães são alimentos que não necessitam de prévia hidratação antes do consumo, estes não requerem valores alto de solubilidade. Bertan (2008) produziu filmes de glúten de trigo e gelatina para ser aplicados no acondicionamento de pães de forma, com solubilidade variável de 30,34 a 33,58 %. Silveira (2019) produziu filmes de amido de mandioca e gelatina para ser utilizado em pães de forma integral e obtiveram solubilidade que variou de 12,29 a 34,03 %. Assim, os filmes preparados possuem solubilidade adequada para serem aplicados como embalagem em pães do tipo forma.

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes é outra propriedade muito importante que precisa ser analisada a fim de conhecer as possíveis aplicações dos filmes como embalagem, em geral, é visto que estas precisam funcionar como barreiras ao vapor d'água, a fim de mitigar a transferência de água para o alimento e aumentar a sua vida útil (GHASEMLOU et al., 2013; ALMEIDA, 2017).

Em detrimento da natureza hidrofílica do amido, estes costumam apresentar maiores valores de permeabilidade ao vapor de água, espera-se que a adição do óleo essencial por ter caráter hidrofóbico, supere esse inconveniente dos filmes de amido e atue em uma melhora nessa propriedade de barreira.

A PVA dos filmes de amido de milho aditivados com óleo essencial de cúrcuma sintetizados variou de  $(5,11 \text{ a } 6,35) \times 10^{-7} \text{ g/h.m.Pa}$ . Apesar de ser observada uma tendência à redução com aumento da concentração do óleo, essa redução não foi significativa.

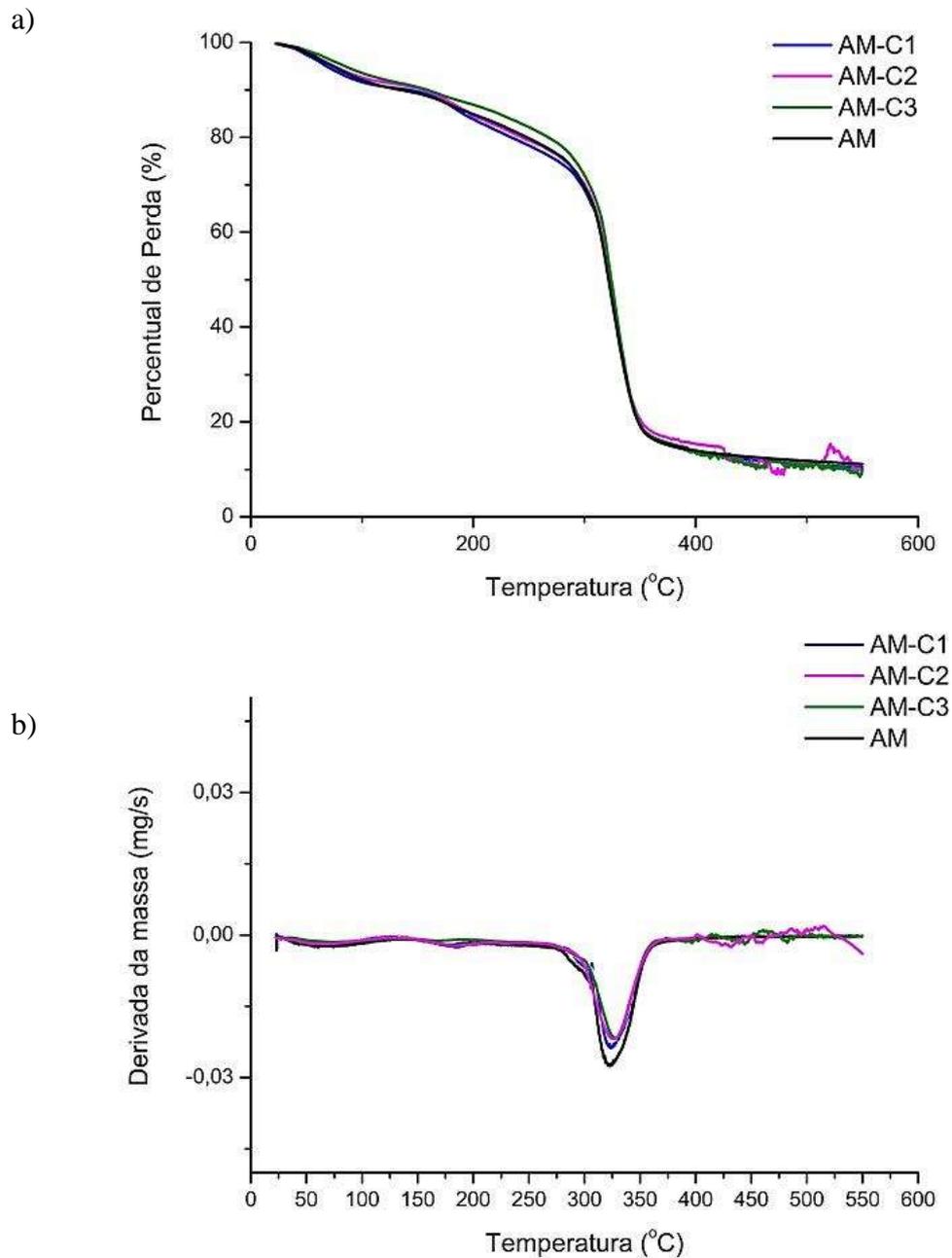
A ausência de alteração pode está associada à pequena concentração de OEC que foi utilizada, pois de igual modo, Silva (2018) observou que com pequenas concentrações de óleo essencial de tomilho não ocorreu diferenças na PVA dos filmes de amido de araruta, a diferença só foi constatada a partir da adição de 5% de óleo, a autora pode verificar que com maior concentração do óleo houve aumento da espessura dos filmes e conseqüentemente ocorreu aumento da PVA. Li et al. (2019) ao utilizar uma concentração maior de óleo essencial de cúrcuma à filmes de quitosana também pode observar aumento da PVA.

### **5.2.5 Análise Termogravimétrica**

As curvas de TGA e DTG apresentadas pelos filmes produzidos (Figura 12) estão em conformidade com os estudos relatados para os filmes de amido. O comportamento das curvas

foi semelhante para todas as formulações dos filmes preparadas, apresentando três estágios de perda de massa.

Figura 12- Curvas de TGA (a) e DTG (b) dos filmes de amido de milho e aditivados com 1% , 2% e 3% de óleo essencial de cúrcuma.



Fonte: A autora (2021).

O primeiro estágio de perda de massa é observado aproximadamente na faixa de 25°C a 280°C. A perda de massa inicial nessa faixa é causada pela redução de água livre nos

filmes em consequência da evaporação (FANG et al., 2019). Também pode ser observada a degradação do plastificante glicerol que, quando analisado puro, a perda de massa se inicia na temperatura de 190,1°C e prossegue atingindo velocidade máxima de degradação na temperatura de 209,7°C (ISOTTON, 2013). Ainda nessa faixa ocorre a evaporação do óleo essencial de cúrcuma, que ocorre no intervalo de 90°C a 270°C (ARAÚJO et al., 2016).

O segundo estágio ocorre entre 280°C e 350°C. Nessa faixa de temperatura é observada a continuidade da degradação do glicerol mais evidentemente, que ocorre em torno de 290°C a 310°C quando incorporados a filmes de amido (GUTIÉRREZ et al., 2015), bem como pode ser evidenciado o início da degradação do amido.

Após 350 °C é observado o terceiro e último estágio, perda de massa atribuída a decomposição do amido. Estudos atribuem a esse estágio, eliminação de grupos de hidrogênio, decomposição e despolimerização das cadeias de carbono do amido (JUMAIDIN et al., 2017; FANG et al., 2019; NORDIN et al., 2020).

É possível afirmar que a adição do óleo essencial de cúrcuma não alterou a estabilidade térmica dos filmes de amido de milho/extrato pectinoso, em razão da semelhança observada nas curvas de variação de perda de massa na TGA e pela análise da temperatura máxima de degradação, observada na DTG, não é possível verificar diferenças significativas na profundidade e largura do pico comprovando que o óleo não alterou a estabilidade térmica dos filmes.

## 5.2.6 Análise das propriedades mecânicas

O ensaio mecânico de tração foi realizado nos filmes produzidos objetivando analisar o comportamento mecânico e investigar a influência da adição do óleo essencial de cúrcuma nas propriedades dos filmes. A Tabela 11 indica as propriedades relativas à resistência a tração e deformação dos filmes produzidos.

Tabela 11 – Parâmetros mecânicos dos filmes de amido/extrato pectinoso e dos filmes enriquecidos com OEC.

Filme	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
AM	5,40 <sup>c</sup> ± 0,79	66,97 <sup>b</sup> ± 2,89
AM-C <sub>1</sub>	8,48 <sup>b</sup> ± 0,71	92,25 <sup>a</sup> ± 3,62
AM-C <sub>2</sub>	5,39 <sup>c</sup> ± 0,54	54,25 <sup>d</sup> ± 1,32
AM-C <sub>3</sub>	10,94 <sup>a</sup> ± 1,11	61,85 <sup>c</sup> ± 0,60

Resultados expressos com letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Duncan (p<0,05).

Fonte: A autora (2021).

Diante dos resultados expostos na Tabela 11, observa-se que a adição do OEC alterou significativamente a resistência à tração dos filmes, exceto no filme com 2% de OEC. O filme com 3% de óleo apresentou o maior valor para a resistência mecânica, na qual mostrou um valor dobrado ao valor exibido para o filme de amido/extrato pectinoso (AM) que não continha o óleo na formulação.

Em relação ao alongamento dos filmes até a ruptura, observa-se variação significativa com a adição do óleo essencial, de modo que, houve um aumento com a adição de 1% do OEC, seguido de uma diminuição considerável com a adição de maiores concentrações. Estudos relatam que a adição de óleos essenciais pode promover efeito plastificante nos filmes, aumentando a flexibilidade (ROJAS, 2010; ULGALDE, 2014), o que justifica o valor dessa propriedade apresentado pelo filme contendo 1% do óleo. No entanto, de modo geral, os filmes de amido/extrato pectinoso do maracujá apresentaram redução da flexibilidade com a adição de maiores concentrações do OEC, tal redução está associada ao fato do óleo ser hidrofóbico em uma matriz polimérica hidrofílica, pois, mudanças nas propriedades mecânicas causadas pela adição de substâncias hidrofóbicas podem promover a formação de uma estrutura com menor mobilidade e conseqüentemente menos flexível (YOUNG et al., 2015; MEHDIZADEH et al., 2020). Essa menor mobilidade pode estar associada à redução do conteúdo de água presente no filme após a adição do OEC hidrofóbico, que reduz a ação plastificante da água no filme (LI et al., 2019). Assim, no presente trabalho é evidente que o caráter hidrofóbico do óleo prevaleceu à medida que maiores concentrações foram incorporadas, gerando redução de flexibilidade.

Adicionalmente a junção de um aditivo hidrofóbico ao polímero hidrofílico, ocorre uma interação mais fraca do polímero-aditivo e espera-se como consequência a redução da resistência mecânica, porém nem sempre é observado esse efeito adverso, conforme observados nos filmes de amido/extrato pectinoso e OEC que ocorreu aumento na resistência mecânica. SONG et al. (2018) explica que esses diversos comportamentos são atribuídos às diferenças nas propriedades formadoras de filme de cada material utilizado como matriz, bem como as diferentes formas de interação destes com os componentes do óleo essencial.

Os resultados deste estudo estão em conformidade com os apresentados por Cai et al. (2020) ao adicionar microcápsulas de óleo essencial de tomilho observaram também o aumento da resistência mecânica e redução do alongamento dos filmes de amido de milho. Assim como Nordin et al. (2020), que sintetizaram filmes de amido de milho, modificando

o plastificante utilizado a fim de comparar as diversas propriedades destes filmes com a variação. Analisando as propriedades mecânicas, os filmes plastificados com glicerol apresentaram uma resistência à tração de 5,57 MPa e alongamento na ruptura de 52,37%.

Como é esperado que as embalagens sejam resistentes à ruptura para suportar os esforços mecânicos que serão solicitados sobre ela e flexíveis para sofrer deformações sem se romper, e assim proteger mecanicamente de forma segura o alimento, é considerável comparar os resultados obtidos com filmes ativos já produzidos na literatura (PELISSARI et al. 2013).

Em relação ao efeito do óleo essencial de cúrcuma nas propriedades mecânicas dos filmes de amido de milho, este se destacou em relação aos efeitos do óleo essencial de laranja, na qual foi analisado por Evangelho et al. (2019), que determinou uma resistência à tração e um alongamento dos filmes aditivados, variável de 2,40 MPa a 4,08 MPa e de 9,94% a 15,25%, respectivamente. De modo geral, os filmes aditivados com OEC nesse estudo se mostraram mais resistentes e mais flexíveis quando comparados aos filmes do Evangelho et al. (2019).

Os filmes produzidos se mostraram mais resistentes e flexíveis quando comparado aos resultados de Silveira (2019), que preparou um filme otimizado com amido/gelatina e dois óleos essenciais (orégano e cravo) e aplicou no acondicionamento de pães, obteve alongamento de 29,51% e resistência de 2,10 MPa, e concluiu como propriedades viáveis para produtos de panificação.

Os filmes produzidos ainda, se apresentaram mais flexíveis quando comparados aos filmes produzidos por Lee et al. (2020), que produziram filmes com polímeros sintéticos, polipropileno (PP) e poli (tereftalato de etileno) (PET) aditivados com óleo essencial de anis estrelado para embalagem de pão. Nos resultados, os filmes de PP e PET sem óleo apresentaram um valor de alongamento de 50,67%, enquanto o filme contendo o óleo apresentou valor de 45%, os autores concluíram a aplicabilidade desse filme ativo satisfatória.

As propriedades mecânicas do presente estudo também foram superiores ao estudo feito por Campos et al. (2019), que avaliaram as propriedades mecânicas de filmes obtidos por blendas de amido de mandioca e poli (butileno adipato-co-tereftalato) - PBAT adicionados de curcumina. Nos seus resultados, obtiveram valores de resistência mecânica à tração e alongamento, respectivamente, de 4,41 MPa e 27,86% para o filme de amido/PBAT; 4,10 MPa e 28,73% para o filme com 0,5% de curcumina e 6,6 MPa e

39,98% para o filme com 0,75% de curcumina, sendo superiores a esta pesquisa, uma vez que apresenta o tipo de amido diferente e um reforço com o PBAT.

É importante considerar ainda, que durante a produção dos filmes, analisando macroscopicamente, só foi possível obter filmes sem bolhas e fissuras após a adição do extrato pectinoso, o que leva a conclusão de que os compostos pécicos atuaram promovendo maior estabilidade aos filmes.

A razão dessa maior estabilidade promovida é explicada pela estrutura tridimensional molecular da pectina, presença de cadeias laterais, grupos polares livres (como as hidroxilas), dentre outras características, estas promovem maior agregação das partículas em solução, favorecem a formação de géis, estabilização das soluções e diversas propriedades funcionais (CANTERI, VOSIACKI, SCHEER, 2012; PINHEIRO, 2007). Assim, seguramente, é possível afirmar que o uso do plastificante em associação ao extrato pectinoso contribuiu para a obtenção dos resultados apresentados.

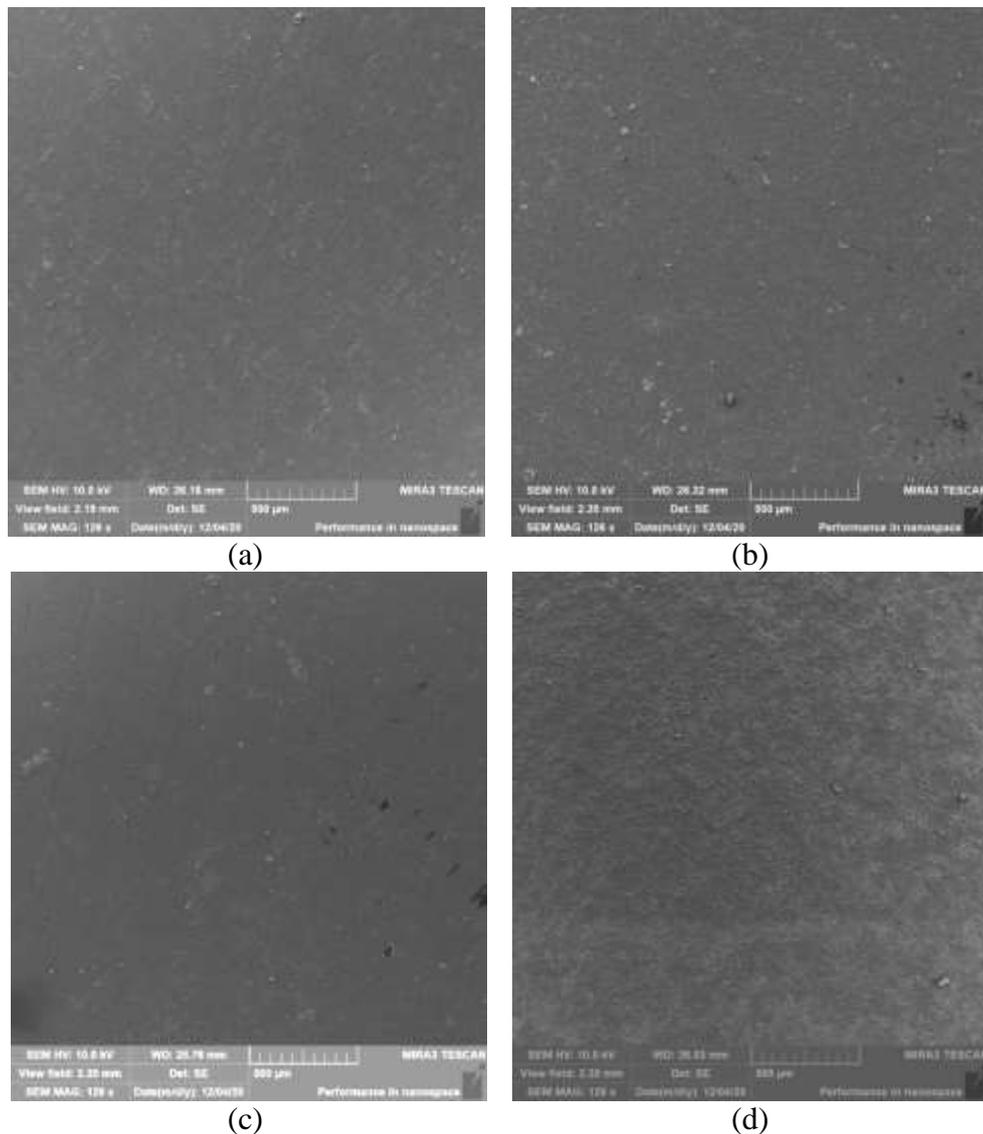
O resultado obtido a partir do ensaio de tração dos filmes expressam propriedades mecânicas satisfatórias, superiores aquelas já testadas como embalagem de pão. Tal resultado, portanto, foi proveniente do efeito sinérgico gerado pelas matérias-primas utilizadas.

### **5.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

O conhecimento da microestrutura do material que está sendo produzido é de suma importância para o entendimento do seu comportamento frente a diversas propriedades, tais como: mecânicas e de barreira (SONG, et al. 2017).

A Figura 13 corresponde à micrografia detectada para a região superficial dos filmes preparados.

Figura 13 – Micrografias dos filmes (a) AM (amido/extrato pectinoso), (b) AM-C<sub>1</sub>(1% OEC), (c) AM-C<sub>2</sub> (2% OEC) e (d) AM-C<sub>3</sub>(3% OEC).



Fonte: A autora (2021).

A superfície do filme de controle (AM) revelou uma imagem contínua e majoritariamente homogênea, de acordo com o demonstrado nos resultados dos filmes de amido de milho sintetizados por Evangelho et al. (2019). Embora a produção de filmes de amido e pectina costumam levar a formação de uma superfície rugosa (MENEGUIN et al. 2014), não foi evidenciado a presença de rugosidades realçadas na superfície dos filmes sintetizados, detectou-se apenas suaves estrias distribuídas ao longo da superfície, concretizando por meio dessa característica a incorporação do extrato à matriz de amido.

Após a adição do óleo, Figuras 13 b, 13 c e 13 d, as superfícies dos filmes mostraram-se semelhante à superfície do filme de controle (Figura 13 a), nos aspectos de continuidade e em acréscimo apresentou menos formação de estrias quando comparadas ao

filme de controle, o que gerou como resultado um aumento na resistência mecânica após a incorporação do OEC, como evidenciado no ensaio de tração. Resultados semelhantes foram encontrados por Tongnuanchan et al. (2013), quando compararam a adição de diferentes óleos essenciais em filmes de gelatina, onde observaram que o filme aditivado com óleo essencial de cúrcuma apresentou superfícies menos ásperas quando comparadas aos filmes aditivados com óleos essenciais de gengibre e plai.

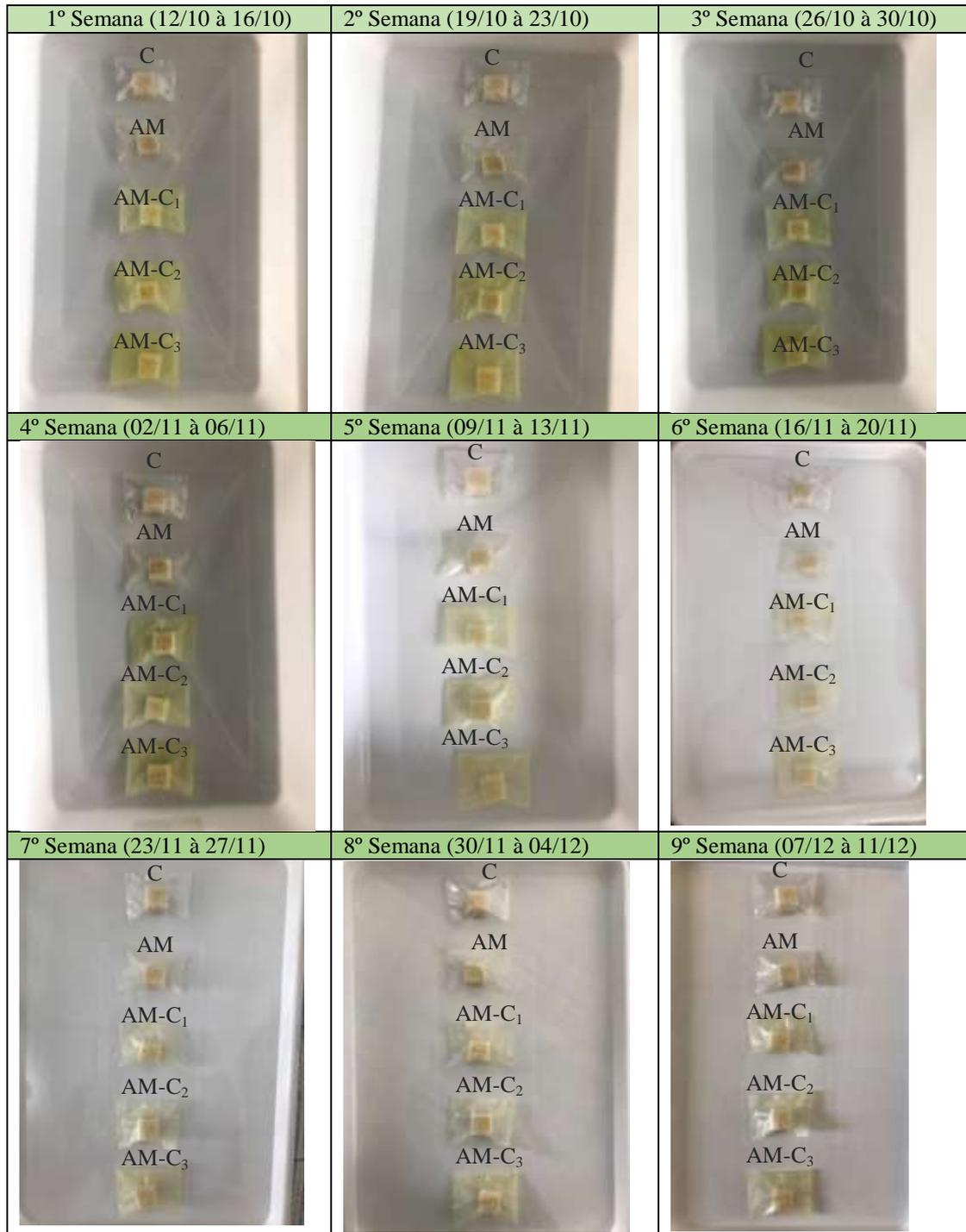
As poucas heterogeneidades observadas nos filmes aditivados tratam-se da presença de pequenos poros concentrados em determinadas regiões da superfície dos filmes, o que parece ser comum, o aparecimento dessas aberturas após a incorporação de óleos essenciais na matriz de amido, caracterizando heterogeneidades superficiais, que podem favorecer o aparecimento de: asperezas, descontinuidades, rugosidade e interstícios como resultados da volatilidade do óleo (Ghasemlou et al. 2013; Evangelho et al. 2019).

É importante evidenciar, que além dos poros, é visto a presença de ranhuras no filme contendo 2% de OEC Figura 13 c, o que justifica a menor resistência mecânica e menor alongamento adquirido por esse filme no ensaio de tração. Esse resultado pode estar associado a algum problema de processamento dessa formulação visto que, de modo geral os filmes sintetizados apresentaram uma formação de superfície bem contínua e íntegra.

### **5.2.8 Aplicação do filme**

A Figura 14 mostra o processo de avaliação visual de presença de bolores nos pães, realizado no período de 9 semanas.

Figura 14- Análise semanal dos pães de forma embalados pelos filmes de controle (celofane), amido/extrato pectinoso e aditivados com óleo essencial de cúrcuma.



Fonte: A autora (2021).

Durante a análise semanal das embalagens foi perceptível o processo de migração do OEC após a 4º semana de análise, pela perda de cor amarela evidenciada nas embalagens confeccionadas com os filmes aditivados. De modo geral, os pães embalados pelos filmes sintetizados não apresentaram nenhum tipo de ponto de escurecimento ou surgimento de

bolores ao longo das nove semanas de análise, enquanto o pão embalado pelo filme de controle exibiu indícios de escurecimento a partir da 6ª semana de análise.

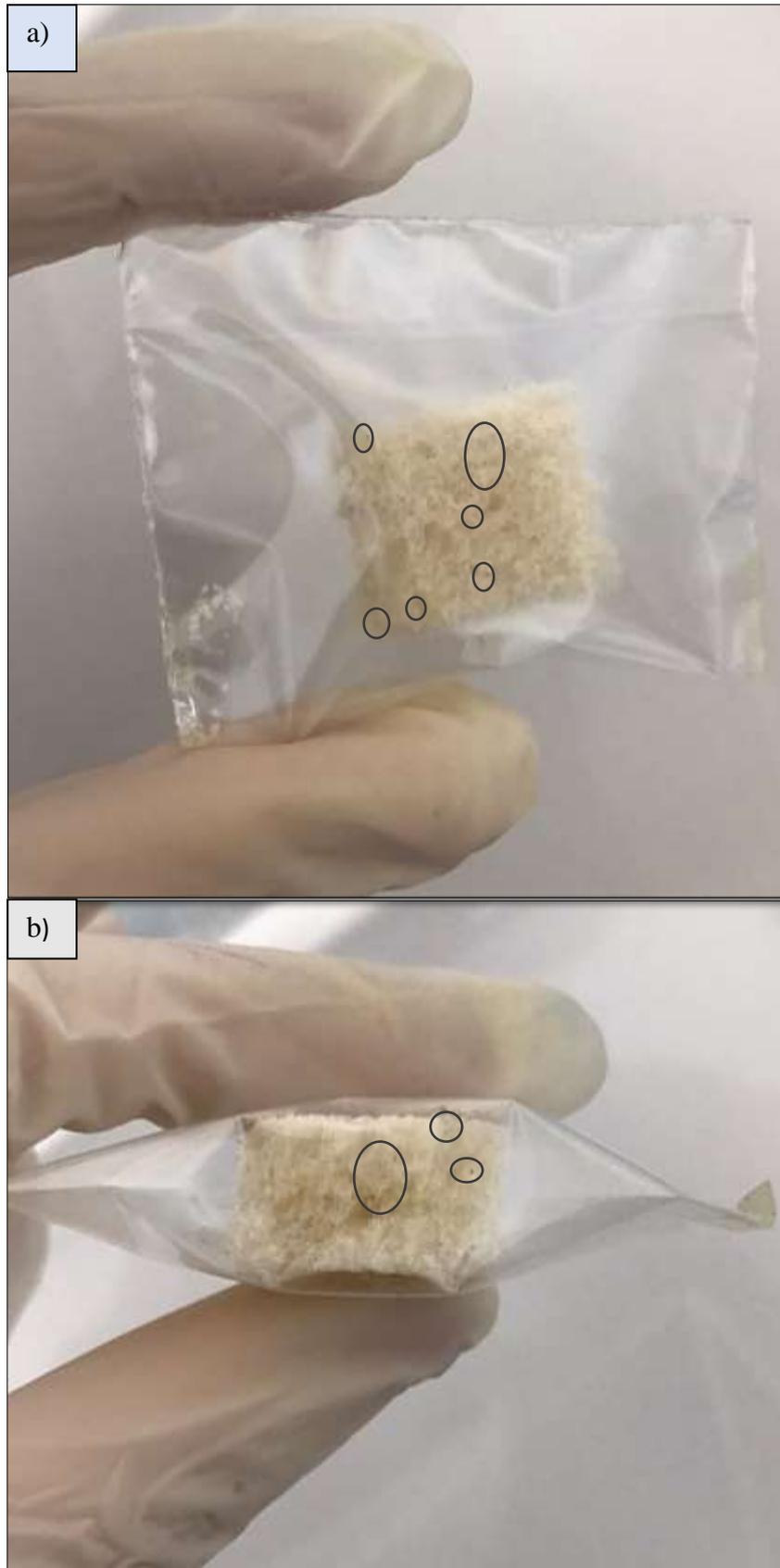
Esse resultado está coerente com o esperado pela literatura, que evidencia a ação antifúngica do OEC. Mustapha et al. (2019) explicam, que atividade antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma na espécie fúngica: *Aspergillus niger*, um dos fungos mais comuns encontrados no pão estragado, foi decorrente da presença de uma alta porcentagem de Turmerona (35,46%). Conforme observado na análise dos resultados de cromatografia do óleo essencial de cúrcuma do presente trabalho, exposto na Tabela 3, o composto Turmerona se fez presente com um percentual de 36,47, o que é um indicativo que este óleo apresenta ação contra fungos alimentares.

A atividade antifúngica do óleo essencial de cúrcuma também foi justificada pelo percentual significativo de Ar-turmerona identificado nos estudos de Naghetini (2006), que variou de 42 – 50% de acordo com o método de extração do óleo utilizado. De igual modo, Takeuchi (2012) atribui à atividade antifúngica e antimicrobiana do óleo essencial de cúrcuma a presença das substâncias voláteis em concentração destacável no óleo, citando como exemplo, a ar-turmerona evidenciada em percentuais significativos no óleo essencial. Nesse estudo, esse composto também foi indicado entre os majoritários, compreendendo 27,63%.

Vale salientar que o filme de controle utilizado, confeccionado com celofone, apresenta ótimas propriedades de barreira, sendo já comumente estudado como embalagem de alimentos, respondeu a um efeito positivo na manutenção da cor de passas de banana ao longo de 105 dias de armazenamento (NOGUEIRA et al., 1976) e se mostrou eficiente na estabilidade microbiológica do doce de goiaba durante 150 dias de armazenamento (MENEZES, 2008). Diante das evidências que o celofone já possui na proteção de alimentos, pode-se concluir o quão satisfatório foram os resultados apresentados pelos filmes de amido/extrato pectinoso sintetizados, que conseguiram inibir de forma mais eficaz que o celofone o aparecimento de fungos durante as 9 semanas de análise.

De modo complementar, a Figura 15 mostra o pão embalado pelo filme de controle, identificando os pontos de escurecimento na parte frontal (a) e lateral inferior (b).

**Figura 15** – Pão embalado com o filme de controle. Área frontal (a) e área lateral inferior (b).



Fonte: A autora (2021).

## 6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

O óleo essencial de cúrcuma apresentou atividade antimicrobiana comprovada frente às bactérias Gram-positivas, uma vez que conseguiu inibir o crescimento da bactéria *Staphylococcus aureus*. Adicionalmente, o OEC apresentou satisfatória atividade antioxidante com um moderado teor de compostos fenólicos. O potencial de inibição microbiana e antioxidante do óleo é justificável pela presença dos compostos químicos ativos presentes de forma predominante: Turmerona, Ar – Turmerona e  $\beta$ -Turmerona.

Os filmes compostos de amido de milho, óleo essencial de cúrcuma, extrato pectinoso e glicerol, obtidos por casting, apresentaram uniformidade na transparência, refletindo a tendência dos filmes de amido de milho pela coloração verde, e a cor amarela adquirida pelos filmes após a incorporação do óleo essencial de cúrcuma.

A adição do OEC manteve os filmes estáveis termicamente, não promovendo também, nenhuma modificação significativa em termos de espessura, permeabilidade e solubilidade. Já, nas propriedades mecânicas, comprovou de modo geral, um aumento da resistência mecânica dos filmes e redução da flexibilidade após adição do óleo essencial. Em acréscimo, a adição do extrato pectinoso possibilitou a obtenção de um material sem bolhas e fissuras, reduzindo, portanto, pontos concentradores de tensão, contribuindo diretamente nas propriedades mecânicas.

A avaliação da atividade antifúngica dos filmes como embalagem de pão do tipo forma não constatou o aparecimento de nenhum tipo de contaminação durante as 9 semanas. Ainda, pode ser evidenciada a migração do óleo essencial de cúrcuma, na qual a perda de cor foi sendo constatada ao longo do período de análise.

Deste modo, pode-se concluir que os filmes produzidos são promissores para aplicação como filme ativo para embalagens de alimentos, apresentando de igual modo propriedades térmicas, mecânicas e ópticas satisfatórias.

Como perspectivas, sugere-se a realização de testes antioxidantes nos filmes produzidos e teste antifúngico no óleo essencial de cúrcuma, para que assim, possa ser confirmada de forma mais contundente a potencialidade ativa da embalagem a base de amido de milho.

## REFERÊNCIAS

- ADILAH, A. N.; JAMILAH, B.; NORANIZAN M. A.; HANANI, Z. A. N. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 1-7, 2018.
- AFONSO, Marcos Vinícius da Rocha; ARAÚJO, Mariana Silva. **Comportamento reológico e de textura de géis de Fécula de Araruta (*Maranta arundinaceae* L.), Mandioca (*Manihote sculenta* Crantz) e Amido Milho (*Zea mays*)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2017.
- AGGARWAL, B.B.; YUAN, W.; LI, S.; GUPTA, S.C. Curcumin-free turmeric exhibits anti-inflammatory and anticancer activities: Identification of novel components of turmeric. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57 (9), p.1529-1542, 2013.
- AGUILAR, Guilherme José. **Desenvolvimento de blendas de amido/gelatina adicionadas de extrato de cúrcuma e reticuladas com ácido cítrico**. 2019. 151 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2019.
- AHMED, S.; RATTANPAL, H. S.; GUL, K.; DAR, R. A.; SHARMA, A. Chemical composition, antioxidant activity and GC-MS analysis of juice and peel oil of grapefruit varieties cultivated in India. **Journal of Integrative Agriculture**, v.18, p. 1634-1642, 2019.
- AKBAR, A., KUANAR, A., PATNAIK, J., MISHRA, A., & NAYAK, S. Application of Artificial Neural Network modeling for optimization and prediction of essential oil yield in turmeric (*Curcuma longa* L.). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 160–178, 2018.
- ALMEIDA, Priscilla Prates de. **Desenvolvimento de embalagem ativa antimicrobiana para pães de forma**. 2017. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- ALVES, Janyelle Severino. **Elaboração e caracterização de filmes finos de amido de milho e parafina**. 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- AMALRAJ, A.; PIUS, A.; GOPI, S.; GOPI, S. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives - A review. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 7, n. 2, p. 205-233, 2017.
- AMORIM, Geisse Elike Pereira. **Desenvolvimento e caracterização do filme antimicrobiano de polibutileno adipato-co-tereftalato (PBAT) com óleo essencial de cravo da índia para utilização em embalagem ativa**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada. 2019.
- ANJOS, Maycon Gustavo Costa dos. **Rótulos de produtos alimentícios como elementos informativos: Um estudo da percepção dos consumidores**. 2018. 186 f. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2018.

ANTUNES, S. A.; ROBAZZA, W. S.; SCHITTLER, L.; GOMES, G. A. Synergistic and antimicrobial properties of commercial turmeric (*Curcuma longa*) essential oil against pathogenic bacteria. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 525-530, 2012.

ARAÚJO, E. M. A.; CONCEIÇÃO, F. F.; TATUM, C. T. S.; FABRIS, J. P.; RUSSO, S. L. Avanços Tecnológicos em Agentes Antimicrobiano nas Embalagens Ativas. In: **V ENPI- Encontro Nacional de Propriedade Intelectual**. 2019.

ARAÚJO, L. A.; ARAÚJO, R. G. M.; GOMES, F. O.; LEMES, S. R.; ALMEIDA, L. M.; MAIA, L. J. Q.; GONÇALVES, P. J.; MRUÉ, F.; SILVA-JUNIOR, N. J.; REIS, P. R. M. Physicochemical/photophysical characterization and angiogenic properties of *Curcuma longa* essential oil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 3, p. 1889-1897, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM – ABRE. **Site da ABRE**. Estudo abre macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/>>. Acesso em: 13 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM (ABRE). **O mercado de embalagens na economia circular**. 2020. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/inovacao/embalagem/o-mercado-de-embalagens-na-economia-circular/>>. Acesso em: 14 mar. 2020.

ASSUNÇÃO, Josy Soares de. **Óleos essenciais da curcuma longa linnaeus: desenvolvimento de nanoemulsões e avaliação da atividade citotóxica e antibacteriana**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia). Universidade Federal do Acre. 2016.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM E96-95: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. **ASTM Standards**, p. 1–13, 2014.

ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 51-62, 2016.

AVANÇO, G. B.; FERREIRA, F. D.; BOMFIM, N. S.; SANTOS, P. A. S. R.; PERALTA, R. M.; BRUGNARI, T.; MALLMANN, C. A.; FILHO, B. A. A.; MIKCHA, J. M. G.; JR MACHINSKI, M. *Curcuma longa* L. essential oil composition, antioxidant effect, and effect on *Fusarium verticillioides* and fumonisin production. **Food Control**, vol. 73, p. 806-813, 2017.

AYDIN, A. A.; ILBERG, V. Effect of Different Polyol-Based Plasticizers on Thermal Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA): Starch Blends Films. **Carbohydrate Polymers**, v.136, p. 441-448, 2016.

BARBOSA, L.; MADI, L.; TOLEDO, M. A.; REGO, R. A. As tendências da alimentação. **Brasil Food Trendes 2020**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://alimentosprocessados.com.br/arquivos/Consumo-tendencias-e-inovacoes/Brasil-Food-Trends-2020.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

BERTAN, Larissa Canhadas. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos à base de polímeros de fontes renováveis e sua aplicação no acondicionamento de pães de**

**forma**. 2008. 188 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BÍBLIA, A. T. Isaías. In: BÍBLIA. Português. Bíblia Sagrada Ave Maria edição de estudos: Antigo e Novo Testamentos. Tradução dos originais grego, hebraico e aramaico mediante a versão dos Monges Beneditinos de Maredsous (Bélgica). 3º edição. São Paulo: editora Ave-Maria, 2012. p. 1166.

BIJI, K. B, RAVISHANKAR, C. N, MOHAN, C. O e GOPAL, T. S. Sistemas de embalagens inteligentes para aplicações em alimentos: uma revisão. **Jornal de ciência e tecnologia de alimentos**, v. 52, n. 10, p. 6125-6135, 2015.

BORGES, J. C. A.; SATURNINO, K. C.; CRUZ, V. S.; ARAÚJO, E. G. Ação antioxidante da curcumina (curcuma longa L.) Na injúria de isquemia e reperfusão tecidual. **Enciclopédia biosfera**, v. 16, n. 29, p. 48-62, 2019.

BRADO, G.; FERREIRA, F. D.; BOMFIM, N. S.; SANTOS, P. A. S.; PERALTA, R. M.; BRUGNARI, T.; MALLMANN, C. A.; ABREL FILHO, B. A.; MIKCHA, J. M. G.; MACHINSKI JR, M. Composição do óleo essencial de Curcuma longa L., efeito antioxidante e efeito na produção de Fusarium verticillioides e fumonisina. **Controle de Alimentos**, v. 73, p. 806-813, 2017.

BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 4, p. 170-186, 2017.

BRANDELERO, R. P. H.; ALMEIDA, F. M.; ALFARO, A. Microestrutura e propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. **Química Nova**, v. 38, n. 7, p. 910-916, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

CAI, C.; MA, R.; DUAN, M.; DENG, Y.; LIU, T.; LU, D. Effect of starch film containing thyme essential oil microcapsules on physicochemical activity of mango. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 2020.

CAMARGO, M. C. S.; WITTMANN, G. C. P. Pão de forma – análise das embalagens existentes no mercado atual sob o ponto de vista da sustentabilidade. **Revista científica Theobaldo de Nigris**, v.1, n.1, 2020.

CAMPOS, S. S.; de Oliveira, A.; Moreira, T. F. M.; da Silva, T. B. V.; da Silva, M. V.; Pinto, J. A.; BILCK, A. P.; GONÇALVES, O. H.; FERNANDES, I. P.; BARREIRO, M. F.; YAMASHITA, F.; VALDERRAMA, P.; SHIRAI, M. A.; Leimann, F. V. TPCS/PBAT blown extruded films added with curcumin as a technological approach for active packaging materials. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, 2019.

CANEVAROLO JÚNIOR, S.V. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CANTERI, M. H. G.; WOSIACKI L. M. G.; SCHEER, A. P. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.

CASTAÑO, J.; RODRÍGUEZ-LLAMAZARES, S.; CONTRERAS, K.; CARRASCO, C.; POZO, C.; BOUZA, R.; GIRALDO, D. Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) starch: Basic physico-chemical characteristics and use as thermoplastic material. **Carbohydrate Polymers**, v. 112, p. 677-685, 2014.

CASTILLO, L. A.; FARENZENA, S.; PINTOS, E.; RODRÍGUEZ, M. S.; VILLAR, M. A.; GARCÍA, M. A.; LÓPEZ, O. V. Active films based on thermoplastic corn starch and chitosan oligomer for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 14, p. 128–136, 2017.

CASTILLO, L. A.; LÓPEZ, O. V.; GHILARDI, J.; VILLAR, M. A.; BARBOSA, S. E.; GARCÍA, M. A. Thermoplastic starch/talc bionanocomposites. Influence of particle morphology on final properties. **Food Hydrocolloids**, v. 51, p. 432-440, 2015.

CAVALCANTE, Paulo Victor David. **Desenvolvimento e caracterização de filme ativo antimicrobiano de amido de araruta/quitosana incorporado com óleo essencial de *thymus vulgaris***. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Materiais). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

CECILIO FILHO, A. B.; DE SOUZA, R. J.; BRAZ, L. T.; TAVARES, M. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p.171-175, 2000.

Centro Nacional de Informação Biotecnológica. Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/196216>>. Acesso em: 02 abril 2020.

CHAABAN, A.; RICHARDI, V. S.; CARRER, A. R.; BRUM, J. S.; CIPRIANO, R. R.; MARTINS, C. E. N.; SILVA, M. A. N.; DESCHAMPS, C.; MOLENTO, M. B. Insecticide activity of *Curcuma longa* (leaves) essential oil and its major compound  $\alpha$ -phellandrene against *Lucilia cuprina* larvae (Diptera: Calliphoridae): Histological and ultrastructural biomarkers assessment. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 153, p.27-27, 2019.

CHATZINASIYOU, L.; BOOKER, A.; MACLENNAN, E.; MACKONOCHE, M.; HEINRICH, M. Turmeric (*Curcuma longa* L.) products: What quality differences exist? **Journal of Herbal Medicine**, v. 17-18, 2019.

CHENG, J.; WANG, H.; KANG, S.; XIA, L.; JIANG, S.; CHEN, M.; JIANG, S. An active packaging film based on yam starch with eugenol and its application for pork preservation. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 546-554, 2019.

CICHELLO, S. A. Oxygen absorbers in food preservation: a review. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 4, p. 1889-1895, 2015.

CLSI. M02-A12 Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests. **Clinical and Laboratory Standards Institute**, 2015.

COLES, R.; MCDOWEL, D.; KIRWAN, MJ. Introduction. **Food packaging technology**, London, U.K.: Blackwell Publishing, CRC Press, p 1–31, 2003.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527–1534, 2009.

CORDEIRO, Angela Maria Tribuzy de Magalhães. **Desenvolvimento de bioaditivos antioxidantes para otimização da estabilidade oxidativa de óleos comestíveis**. 2013. 131 f. Tese (Doutorado em Química e Bioquímica de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2013.

COSTA, R. B.; GAZIM, Z. C.; IWANAGA, C. C.; GOLÇALVES, J. E.; BERNUCI, K. Z.; CORTEZ, D. A. G. Análise química e avaliação da atividade antioxidante do óleo essencial dos rizomas da *Curcuma zedoaria* (Zingiberaceae). In: **17º WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DO MATO GROSSO DO SUL. 7º Empório da Agricultura Familiar**. Jun. 2015.

CREPALDI, Ingrid. **Produção e caracterização de filmes plásticos a base de amido de milho e álcool polivinílico, com diferentes plastificantes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2019.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2008.

DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F.J.; GÓMEZ, B.; PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; PATEIRO, M.; SANTOS, E.M.; LORENZO, J.M. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. **Food Research International**, v. 113, p. 93-101, 2018.

DONG, Z.; XU, F.; AHMED, I.; LI, Z., & LIN, H. Characterization and preservation performance of active polyethylene films containing rosemary and cinnamon essential oils for Pacific white shrimp packaging. **Food Control**, v.92, p. 37-46, 2018.

Edris, A. E. Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review. **Phytother. Res**, vol. 21, n. 4, p. 308–323, 2007.

ENGEL, M. O.; BERGEL, B. F.; SANTANA, R. M. C. **Estudo Comparativo das Propriedades Físicas e Reológicas de Embalagens Rígidas Biodegradáveis de Amido de Batata, Amido de Mandioca e Amido de Milho**. 2015. Disponível em: < [http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/\\_arqTrabalhos/trab\\_20161222180706000000879.pdf](http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20161222180706000000879.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2020.

EVANGELHO, J. A.; DANNENBERG, G. S.; BIDUSKI, B.; HALAL, S. L. M.; KRINGEL, D. H.; GULARTE, M. A.; FIORENTINI, A. M.; ZAVAREZE, E. Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 222, 2019.

FANG, Y.; FU, J.; TAO, C.; LIU, P.; CUI, B. Mechanical properties and antibacterial activities of novel starchbased composite films incorporated with salicylic acid. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, p. 1350 – 1358, 2019.

FARIAS, S. S.; SIQUEIRA, S. M. C; CRISTINO, J. H. S.; ROCHA, J. M. Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 0, p. 26, 2016.

FERREIRA, Larissa de Oliveira. **Avaliação da utilização da curcuma na conservação de pães**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Mourão, 2018.

FONTES, Suian Moreira Santos. **Curcuma Longa L: caracterização química e estudo da capacidade antioxidante**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

FONTOURA, D. R. S.; CALIL, R. M.; CALIL, E. M. B. A Importância das Embalagens para Alimentos-Aspectos Socioeconômicos e Ambientais. **Atas de Saúde Ambiental-ASA**, v. 4, n. 1, p. 138-160, 2016.

FRANCO, A. L. P. Avaliação da composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Aloysia gratissima* (Gillies & Hook) Tronc.(Alfazema), *Ocimum gratissimum* L.(Alfavaca-Cravo) e *Curcuma longa* L.(Açafrão). **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, n. 2, p. 209-2020, 2007.

GHASEMLOU, M.; ALIHEIDARI, N.; FAHMI, R.; SHOJAEI-ALIABADI, S.; KESHAVARZ, B.; CRAN, M. J.; KHAKSAR, R. Propriedades físicas, mecânicas e de barreira de filmes de amido de milho incorporados a óleos essenciais de plantas. **Carbohydrate Polymers**, vol. 98, n. 1, p.1117–1126, 2013.

GOUNDER, D. K.; LINGAMALLU, J. Comparison of chemical composition and antioxidante potential of volatile oil from fresh, dried and cured turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. **Industrial Crops and Products**, v. 38, p. 124-131, 2012.

GUIMARÃES, M.; BOTARO, V. R.; NOVACK, K. M.; TEIXEIRA, F. G.; TONOLI, G. H. D. Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo nanofibrils. **Industrial Crops and Products**, v. 70, p. 72-83, 2015.

GUL, N.; MUJAHID, T. Y.; JEHAN, N.; AHMAD, S. Studies on the antibacterial effect of different fractions of *Curcuma longa* against urinary tract infection isolates. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 12, p. 2055-2060, 2004.

GUTIÉRREZ, T. J.; MORALES, N. J.; PÉREZ, E.; TAPIA, M. S.; FAMÁ, L. Physicochemical properties of edible films derived from native and phosphorylated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 3, p. 1–8, 2015.

HAGHIGHI, H.; BIARD, S.; BIGI, F.; DE LEO, R.; BEDIN, E.; PFEIFER, F.; SIESLER, H. W.; LICCIARDELLO, F.; PULVIRENTI, A. Comprehensive characterization of active chitosan-gelatin blend films enriched with different essential oils. **Food Hydrocolloids**, v.95, p.33-42, 2019.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 5, n. 1, 2016.

ISOTTON, Francine Suélen. **Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de milho eterificado com plastificante glicerol, sorbitol e poli (álcool vinílico)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias). Universidade de Caxias do Sul. 2013.

JHA, P. Effect of plasticizer and antimicrobial agents on functional properties of bionanocomposite films based on corn starch/chitosan for food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 160, p. 571-582, 2020.

JORGE, Neuza. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica. Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 194 p., 2013.

JUMAIDIN, R.; SAPUAN, S. M.; JAWAID, M.; ISHAK, M. R.; SAHARI, J. Thermal, Mechanical, and Physical Properties of Seaweed/Sugar Palm Fibre Reinforced Thermoplastic Sugar Palm Starch/Agar Hybrid Composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 97, p. 606-615, 2017.

KAMBLE, K. J.; INGALE, V.M.; KALEDHONKAR, D.P. Comparative study of curcumin extraction from turmeric varieties grown in Maharashtra. **African Journal of Food Science**, v. 5, n. 14, p. 780-789, 2011.

LANDIM, A. P.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I.B.A.; FRANCISCO, M.R.; SANTOS, M.B.; MELO, N.R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, n. SPE, p. 82-92, 2016.

LEE, J.; CHANG, Y.; PARK, M. A.; OH, J.; HAN, J. Insect-repellent activity of PET-based film with star anise essential oil and its pilot-scale production for food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 25, 2020.

LEITE, D. O. D.; COSTA, L. R.; LOPES, C. M. U.; RODRIGUES, A. Y. F. Propriedades físicas de óleos essenciais: Uma ferramenta experimental no ensino de Química. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p, 2020.

LI, S.; YUAN, W.; DENG, G.; WANG, P.; YANG, P.; AGGARWAL, B.B. Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric (*Curcuma longa* L.). **Pharmaceutical Crops**, v. 2, p. 28-54, 2011.

LI, Z.; LIN, S.; AN, S., LIU, L., HU, Y.; WAN, L. Preparation, characterization and anti-aflatoxigenic activity of chitosan packaging films incorporated with turmeric essential oil. **Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 131, p. 420-434, 2019.

LIJU, V. B, JEENA, K. E KUTTAN, R. Acute and subchronic toxicity as well as mutagenic evaluation of essential oil from turmeric (*Curcuma longa* L.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 53, p. 52–61, 2013.

LIRA, J. F.; JACKIX, M. N. H. **Utilização da casca do maracujá-amarelo (*P. edulis f. flavicarpa*, Degener) na produção de geleia.** Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1996.

LUCHESE, Cláudia Leites. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos.** 2018. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MADHUMITHA, G.; FOWSIYA, J.; MOHANA ROOPAN, S.; THAKUR, V.K. Recent advances in starch–clay nanocomposites. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, v. 23, n. 4, p. 331-345, 2018.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do Milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 23 p. 2003.

MAJOLO, C.; NASCIMENTO, V. P.; CHAGAS, E. C.; CHAVES, F. C. M. Atividade antimicrobiana do óleo essencial de rizomas de açafrão (*Curcuma longa* L.) e gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) frente a salmonelas entéricas isoladas de frango resfriado. **Rev. Bras. Pl. Med.**, v.16, n.3, p.505-512, 2014.

MALHERBI, N. M.; SCHMITZ, A. C.; GRANDO, R. C.; BILCK, A. P.; YAMASHITA, F.; TORMEN, L.; FAKHOURI, F. M.; VELASCO, J. I.; BERTAN, L. C. Corn starch and gelatin-based films added with guabiroba pulp for application in food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, p. 140 – 146, 2019.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-155, 2010.

MARCHI, J. P.; TEDESCO, L.; MELO, A. C.; FRASSON, A. C.; FRANÇA, V. F.; SATO, S. W.; LOVATO, E. C. W. *Curcuma longa* L., o açafrão da terra, e seus benefícios medicinais. **ResearchGate**, v. 20, n. 3, p. 189-194, set./dez. 2016.

MEHDIZADEH, T.; TAJIK, H.; LANGROODI, A. M.; MOLAEI, R.; MAHMOUDIAN, A. Chitosan-starch film containing pomegranate peel extract and *Thymus kotschyianus* essential oil can prolong the shelf life of beef. **Meat Science**, v.163, 2020.

MENDES, Dielson Bonfim. **Perdas de alimentos nas centrais de abastecimento do Brasil: e a importância da hierarquia de recuperação dos alimentos.** 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Ambiental). Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2019.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; SENA NETO, A. R.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. Biodegradable polymer blends based on cornstarch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 452-458, 2016.

MENEGUIN, A. B.; CURY, B. S. F.; EVANGELISTA, F. S. Films from resistant starchpectin dispersions intended for colonic drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 140-149, 2014.

MENEZES FILHO, A. C. P.; CHRISTOFOLI, M. C.; SOUSA, W. C.; CASTRO, C. F. S. Avaliação química e atividades antioxidante e antifúngica dos óleos essenciais dos frutos verdes e maduros de *Zanthoxylum rhoifolium* (Lam.). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 3, n. 1, p. 172-180, 2020.

MENEZES, Camila Carvalho. **Otimização e avaliação da presença do sorbato de potássio e das embalagens sobre o doce de goiaba durante o armazenamento**. 2008. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MENG, F.C.; ZHOU, Y.Q.; REN, D.; WANG, R.; WANG, C.; LIN, L.G.; ZHANG, Q.W. Turmeric: A Review of Its Chemical Composition, Quality Control, Bioactivity, and Pharmaceutical Application. **Manual de Bioengenharia de Alimentos**, p. 299-350, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115183000107>>. Acesso em: 29 de mar. 2020.

MENZEL, C.; GONZÁLES-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A.; VILAPLANA, F. Antioxidant starch films containing sunflower hull extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 214, p. 142-151, 2019.

Ministério da Saúde (BR). **Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Monografia da Espécie Curcuma longa L. (Cúrcuma)**. Brasília: 2015. Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2016/fevereiro/22/Monografia-Curcuma-CP-corrigida.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2010.

MONTERO, B.; RICO, M.; RODRÍGUEZ-LLAMAZARES, S.; BARRAL, L.; BOUZA, R. Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1094-1104, 2016.

MONTES, S. de S.; SANTANA-NETA, L. G.; CRUZ, Renato Souza. Óleos essenciais em embalagens para alimentos-Revisão de literatura de 2000 a 2012. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 1-2, p. 1, 2014.

MOURA, Jaqueline Motta de. **Desenvolvimento de filmes e blendas produzidas a partir de biomateriais para aplicação em embalagens ativas**. 2018. Tese (Doutorado em Química Tecnológica e Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2018.

MU, Y.; HANG, L.; ZHAO, G.; WANG, X.; ZHOU, Y.; CHENG, Z. Modeling and simulation for the investigation of polymer film casting process using finite element method. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 169, p. 88-102, 2020.

MULLER, Priscila Schultz. **Desenvolvimento de embalagem ativa biodegradável de amido de pinhão e de mandioca com antioxidantes e antimicrobianos naturais para conservação de manteiga orgânica**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MUSTAPHA, F. A.; JAI, J.; NIK RAIKHAN, N. H.; SHARIF, Z. I. M.; YUSOF, N. M. Response surface methodology analysis towards biodegradability and antimicrobial activity

of biopolymer film containing turmeric oil against *Aspergillus niger*. **Food Control**, v. 99, p. 106-113, 2019.

NAGHETINI, Cristina da Cunha. **Caracterização físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da cúrcuma**. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Farmácia da UFMG, Belo Horizonte, 2006.

NAIME, Natalia. **Embalagens ativas de fonte renovável**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

National Center for Biotechnology Information. **Chemistry WebBook**. Disponível em: <<https://webbook.nist.gov/>>. Acesso em: 23 Julho 2020.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. **Design de embalagem do marketing à produção**. São Paulo, Novatec editora, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Rx96IGXktDoC&oi=fnd&pg=PA81&dq=embalagem&ots=HhCBzK9qNu&sig=wjOUkz41AHNAc5QrC-eUvrbZ8Z0#v=onepage&q=embalagem&f=false>>. Acesso em: 16 out. 2020.

NOGUEIRA, J. N.; HOMERO, F.; GRANER, M.; ANNICCHINO, A. V. K. O. Influência do tipo de embalagem nas propriedades organolépticas de passas de banana. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 33, p. 775-789, 1976.

NORDIN, N.; OTHMAN, S.H.; RASHID, S.A.; BASHA, R.K. Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 106, 2020.

OLIVEIRA, Taila Fernanda Volpato de. **Características químicas e microbiológicas do açafraão-da-terra (Curcuma longa)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana. 2017.

ORTEGA-TORO, R.; MUNOZ, A.; TALENS, P.; CHIRALT, A. Improvement of properties of glycerol plasticized starch films by blending with a low ratio of polycaprolactone and/or polyethylene glycol. **Food Hydrocolloids**, v.56, p. 9-19, 2016.

PAIVA, José Cezar. **Estudo químico de compostos pécnicos obtidos dos frutos de *Garcinia brasiliensis* e avaliação de suas propriedades biológicas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2014.

PANRONG, T.; KARBOWIAK, T.; HARNKARNSUJARIT, N. Thermoplastic starch and green tea blends with LLDPE films for active packaging of meat and oil-based products. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 1-11, 2020.

PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. **Industrial Crops and Products**, v.76, p.174–187, 2015.

PELLISSARI, F. M.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. DO A.; MENEGALLI, F. C. Optimization of process conditions for the production of films based on the flour from

plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 52, p.1-11, 2013.

PEREIRA, André Barbosa. **Embalagens Ativas e Novas Tendências na Indústria Alimentar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) Universidade Federal de Coimbra. Coimbra, 2017.

PÉRET-ALMEIDA, L.; NAGUETINI, C.C.; NUNAN, E.A.; JUNQUEIRA, R.G.; GLÓRIA, M.B.A. Atividade antimicrobiana in vitro do rizoma em pó, dos pigmentos curcuminóides e dos óleos essenciais da *Curcuma longa* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 875-881, 2008.

PINHEIRO, Eloísa Rovaris. **Pectina da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*): otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química**. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

PISCOPO, A.; ZAPPIA, A.; DE BRUNO, A.; POZZO, S. LIMBO, S. PIERGIOVANNI, L.; POIANA, M. Use of biodegradable materials as alternative packaging of typical Calabrian Provola cheese. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 11, 2019.

POLA, Cícero Cardoso. **Nanocompósitos biodegradáveis à base de amido de milho e poli (vinil álcool) como novos materiais para embalagens ativas antimicrobianas**. Tese (Doutorado em Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2017.

PRIYANKA, S. K. Influence of operating parameters on supercritical fluid extraction of essential oil from turmeric root. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 816-824, 2018.

PURPURA, M.; LOWERY, R. P.; WILSON, J. M.; MANNAN, H.; MÜNCH, G.; RAZMOVSKI-NAUMOVSKI, V. Analysis of different innovative formulations of curcumin for improved relative oral bioavailability in human subjects. **European journal of nutrition**, v. 57, n. 3, p. 929-938, 2018.

QIN, Y.; LIU, Y.; YONG, H.; LIU, J.; ZHANG, X.; LIU, J. Preparation and characterization of active and intelligent packaging films based on cassava starch and anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134, p. 80-90, 2019.

RABELLO, M. S.; **Aditivos de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2000. 244 p. Disponível em: <[https://kupdf.net/download/aditivos-de-polimeros-rabelo-marcelo-silveira\\_5963d85fdc0d60ce3f2be30f\\_pdf](https://kupdf.net/download/aditivos-de-polimeros-rabelo-marcelo-silveira_5963d85fdc0d60ce3f2be30f_pdf)> Acesso em: 18 mar. 2020.

RABELLO, Marcelo; PAOLI, Marco Aurelio De. **Aditivação de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2013. 357 p.

RIBEIRO, Suelen Santos Kikuchi. **Análise do processo de comunicação dos alimentos funcionais: um estudo das embalagens de pães**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

RIBEIRO-SANTOS, R.; ANDRADE, M.; MELO, NR DE; & SANCHES-SILVA, A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v.61, p. 132-140, 2017.

ROJAS, Irene Marzo. **Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína**. 2010. 171 f. Projeto final de graduação, (Química Aplicada). Universidad Publica de Navarra, 2010.

ROMANIA, V. P.; MARTINS, V. G.; GODDARDB, J. M. Radical scavenging polyethylene films as antioxidant active packaging materials. **Food Control**, v. 109, p. 1-7, 2019.

ROSSI, J. A. J.; SINGLETON, V. L. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144–158, 1965.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Comunicado Técnico 125. Fortaleza, 2006.

SACCHETTI, G.; MAIETTI, S.; MUZZOLI, M.; SCAGLIANTI, M.; MANFREDINI, S.; RADICE, M.; BRUNI, R. Avaliação comparativa de 11 óleos essenciais de diferentes origens como antioxidantes funcionais, anti-radicais e antimicrobianos em alimentos. **Food Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 621-632, 2005.

SANTOS, K. L.; PANIZZON, J.; CENCI, M. M.; GRABOWSKI, G.; JAHNO, V. D. Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro. **Braz. J. Food Technol**, v. 23, 2020.

SANTOS, M. M.; PINHEIRO, C. C. S.; CASTRO, M.S. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS E ÓLEOS ESSENCIAIS DA *Curcuma zerumbet*. In: **III Congresso de Iniciação Científica do INPA-CONIC**. 2014.

SENA, M. Embalagem: o elemento imagem do produto. **Media & Jornalismo**, vol.19 n.34, 2019.

SHOJAEE-ALIABADI, S.; HOSSEINI, H.; MOHAMMADIFAR, M. A.; MOHAMMADI, A.; GHASEMLOU, M.; OJAGH, S. M.; HOSSEINI, S. M.; KHAKSAR, R. Characterization of antioxidant-antimicrobial -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 52, p. 116-124, 2013.

SILVA, A. J.; OLIVEIRA, L. P.; REZENDE, J. C. P.; SARAIVA, I. S. Avaliação da atividade antimicrobiana de óleos essenciais obtidos de diferentes fabricantes. **Sinapse Múltipla**, v. 8, n. 1, p. 33-40, 2019.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n. 39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, Fabiana Thayse dos Santos. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos de amido de araruta aditivados com óleo essencial de *thymus vulgaris***. 2018. 73 p.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2018.

SILVA, Luan Ramos de. **Embalagens bioativas para alimentos a base de amido de diferentes variedades de arroz**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Fundação Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, RS, 2019.

SILVA, Tamires Barlati Vieira da. **Produção e aplicação de embalagens ativas de tps/pbat por extrusão reativa contendo extrato da água do cozimento do pinhão**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mourão. 2019.

SILVEIRA, Mariana Pereira. **Desempenho antifúngico de óleos essenciais de canela, cravo e louro em bolores de pães de forma integrais**. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

SINGH, G.; KAPOOR, I.P.S.; SINGH, P.; DE HELUANI, C.S.; DE LAMPASONA, M.P.; CATALAN, CAN. Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* Linn.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 4, p. 1026-1031, 2010.

SINGH, S.; SANKAR, B.; RAJESH, S.; SAHOO, K.; SUBUDHI, E.; NAYAK, S. Chemical composition of turmeric oil (*Curcuma longa* L. cv. Roma) and its antimicrobial activity against eye infecting pathogens. **Journal of Essential Oil Research**, v. 23, n. 6, p. 11-18, 2011.

SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; PIRES, A.C.S.; CAMILLOTO, G.P.; SILVA, P.S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370-378, 2009.

SONG, X.; ZUO, G.; CHEN, F. Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1302-1309, 2018.

SOTHORNVIT, R.; HONG, S.; AN D.J.; RHIM J.W. Effect of clay content on the physical and antimicrobial properties of whey protein isolate/organo-clay composite films. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 279- 284, 2010.

SOUZA, Ana Cristina de. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável ativa a base de fécula de mandioca e agentes antimicrobianos naturais**. 2011. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOUZA, Roberta CR; ANDRADE, Cristina T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

SPIER, Franciela. **Efeito dos tratamentos alcalino, ácido e oxidativo nas propriedades de amido de milho**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas. 2010.

SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G.P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; DE LIMA, M.E.F. Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, v. 38, n. 4, p. 538-552, 2015.

TABASUM, S.; YOUNAS, M.; ZAEEM, M. A.; MAIEED, I.; MAIEED M.; NOREEN, A.; LQBAL, M. N.; ZIA, K. M. A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 122, p. 969 -996, 2019.

TAKEUCHI, Akikazu Pereira. **Caracterização antimicrobiana de componentes do açafrão (*Curcuma longa L.*) e elaboração de filmes ativos com montimorilonita e óleo resina de açafrão**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

THANGAVEL, K.; DHIVYA, K. Determination of curcumin, starch and moisture content in turmeric by Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR). **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 12, p. 264-269, 2019.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Physico-chemical properties, morphology and antioxidant activity of film from fish skin gelatin incorporated with root essential oils. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 3, p. 350-360, 2013.

TURELLA, Camila Cheker Brandão. **Desenvolvimento e avaliação de filmes incorporados de extratos naturais e determinação da oxidação em filés de tilápia**. 2019. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

UGALDE, Mariane Lobo. **Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais**. 2014. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Regional Integrada – URI ERECHIM, RS, 2014.

YEDDES, W.; DJEBALI, K.; WANNES, W. A; HORCHANI-NAIFER, K.; HAMMAMI, M.; YOUNES, I, E TOUNSI, MS. Gelatin-chitosan-pectin films incorporated with rosemary essential oil: Optimized formulation using mixture design and response surface methodology. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 154, p. 92-103, 2020.

YEPES, O. O.; DI GIOGIO, L.; GOYANES, S.; MAURI, A.; FAMÁ, L. Influence of process (extrusion/thermo-compression, casting) and lentil protein content on physicochemical properties of starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 208, p. 221-231, 2019.

YUAN, G.; LV, H.; YANG, B.; CHEN, X.; SUN, H. Physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan films containing carvacrol and pomegranate peel extract. **Molecules**, v. 20, p. 11034-11045, 2015.