



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Ana Carolina Flôr Vieira

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES E COBERTURAS À  
BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E NANOPARTÍCULAS DE PRATA  
COM PROPRIEDADES ANTIFÚNGICAS PARA ESTENDER A VIDA PÓS  
COLHEITA DO MAMÃO PAPAYA (*CARICA PAPAYA*)**

Florianópolis

2020

Ana Carolina Flôr Vieira

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES E COBERTURAS À  
BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E NANOPARTÍCULAS DE PRATA  
COM PROPRIEDADES ANTIFÚNGICAS PARA ESTENDER A VIDA PÓS  
COLHEITA DO MAMÃO PAPAYA (*CARICA PAPAYA*)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Germán Ayala Valencia

Coorientadora: Prof. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vieira, Ana Carolina Flôr

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES E COBERTURAS  
À BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E NANOPARTÍCULAS DE  
PRATA COM PROPRIEDADES ANTIFÚNGICAS PARA ESTENDER A VIDA PÓS  
COLHEITA DO MAMÃO PAPAYA (CARICA PAPAYA) / Ana Carolina  
Flôr Vieira ; orientador, Germán Ayala Valencia,  
coorientador, Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, 2020.  
84 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Biopolímeros. 3.  
Embalagens ativas. 4. Propriedades antifúngicas. 5. Vida  
pós colheita. I. Valencia, Germán Ayala. II. Rodrigues  
Monteiro Fritz, Alcilene . III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Alimentos. IV. Título.

Ana Carolina Flôr Vieira

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES E COBERTURAS  
À BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E NANOPARTÍCULAS DE  
PRATA COM PROPRIEDADES ANTIFÚNGICAS PARA ESTENDER A VIDA PÓS  
COLHEITA DO MAMÃO PAPAYA (*Carica papaya*)**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros por **videoconferência gravada**:

Prof. Dr. Germán Ayala Valencia- Presidente - UFSC

Profa. Dra. Carmen Maria Olivera Müller - Membro externo - UFSC

Prof. Dr. Marco Di Luccio - Membro interno - UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Alimentos.

---

Profa.Dra. Sandra Regina Salvador Ferreira, Dra.  
Coordenadora do Programa

---

Prof. Dr. Germán Ayala Valencia  
Orientador

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado à minha família.

## AGRADECIMENTOS

À Deus e à Santa Paulina, por terem me iluminado e dado força nos momentos difíceis que surgiram durante essa caminhada.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por oferecer a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

À Capes, pela bolsa de estudos concedida.

Ao meu orientador Prof Dr. Germán Ayala Valencia e minha coorientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Alcilene Rodrigues Monteiro, pela confiança, incentivo e orientação durante esses anos de mestrado.

À TNS nanotecnologia, por ter doado as nanopartículas para utilização neste trabalho.

À minha mãe Kátia, que foi extremamente importante para que eu conseguisse concluir meu mestrado, que sempre me deu forças para nunca desanimar e que não me deixou desistir mesmo nos momentos mais difíceis, sempre me dando muito amor, palavras de carinho e conforto quando eu mais precisei e, acima de tudo, acreditando sempre que eu conseguiria.

A meu pai Ivan por todo amor, compreensão e incentivo e por, junto com minha mãe, me acompanhar no laboratório até mesmo no dia de Natal, tudo para que eu conseguisse concluir esta etapa o quanto antes. Muito obrigada por serem os melhores pais do mundo!

A meu irmão Ivanzinho pelo companheirismo de sempre e por todo o incentivo.

A meu noivo Rafael, pela paciência que teve comigo durante esse período que resolvi enfrentar uma segunda graduação junto com um mestrado e um emprego. Obrigada por sempre me acompanhar ao laboratório nos fins de semana, me auxiliar nos experimentos quando necessário e por sempre me animar quando eu achava que não conseguiria. Esta etapa foi concluída!!

À vó Ete, por sempre estar presente nos meus pensamentos, me dizendo que eu conseguiria vencer esse desafio. Sei que mesmo lá do céu vai estar sempre torcendo, rezando por mim e me protegendo.

Às minhas amigas Helena, Isabella, Letícia e minha “gêmea” Renata que, mesmo não nos vendo mais todos os dias, sempre estiveram ao meu lado, torcendo por mim desde a graduação.

Aos colegas do PROFI: Beatris, Fabíola, Heloize, Jaízia, Jéssica, Leno e Milena por toda a amizade e ajuda prestada durante este período.

Às colegas Natielle e Zélia, por me auxiliarem na parte microbiológica.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

O que parecia tão distante e por vezes difícil de acontecer finalmente se concretizou!!

Muito obrigada a todos vocês, meus incentivadores!!

“Nunca, jamais desanimeis, embora venham ventos contrários”

Santa Paulina

## RESUMO

O uso de filmes e coberturas produzidos de materiais biodegradáveis tem sido alvo de estudos para aumentar a vida de prateleira de frutas, uma vez que além de serem ambientalmente amigáveis, possuem a vantagem de poder incorporar aditivos em sua composição, auxiliando na manutenção da qualidade destes produtos. O objetivo deste trabalho foi produzir e caracterizar coberturas ativas à base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) contendo nanopartículas de prata (NPAg) para posterior aplicação em mamão (*Carica papaya*). O efeito das NPAg nas propriedades reológicas e físico químicas das coberturas e filmes e suas propriedades antimicrobianas contra o desenvolvimento do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão cv Papaya Golden foram avaliadas. Soluções formadoras de filmes (SFF) contendo diferentes concentrações de NPAg (0, 0,1, 0,25, 0,5 e 1,0 g de NPAg/100 g de HPMC) foram preparadas e caracterizadas quanto ao pH, propriedades reológicas, distribuição do tamanho de partícula e propriedades antifúngicas frente ao crescimento de *Colletotrichum gloeosporioides*. As SFF foram desidratadas, produzindo filmes nanoestruturados que foram caracterizados em relação a sua espessura, morfologia, composição química, permeabilidade ao vapor de água, ângulo de contato, cristalinidade, propriedades térmicas, mecânicas, ópticas e biodegradabilidade. A melhor concentração de NPAg em termos de suas propriedades físico químicas e antimicrobianas foi aplicada em mamões Golden como cobertura a fim de avaliar as propriedades físico químicas dos mamões, assim como o crescimento do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* durante 7 dias à 10°C e mais 7 dias à 20°C. Os mamões foram divididos em dois grupos, G1 e G2, sendo o primeiro composto por mamões sanitizados e o último por frutos não sanitizados. Ambos os grupos continham frutos Inoculados (I), Não Inoculados (NI), Controle Inoculado e Não Inoculado (CI e CNI), consistindo o controle em frutos sem a aplicação da cobertura. Após os 14 dias de armazenamento, a cobertura foi removida e os frutos avaliados quanto à cor. A adição de NPAg nos filmes à base de HPMC aumentou a rugosidade superficial dos filmes, tornando estes sistemas mais hidrofóbicos com a concentração de NPAg. Outras propriedades como permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas, solubilidade e biodegradabilidade dos filmes não foram alteradas com a adição das NPAg. Na sequência, a cobertura de HPMC-0,25% NPAg foi escolhida como o melhor material para prevenir o crescimento do *Colletotrichum gloeosporioides* no mamão, durante 14 dias de armazenamento. O conteúdo de sólidos solúveis totais e a firmeza nos mamões aumentou e diminuiu com o tempo de armazenamento, respectivamente. Além disso, a firmeza de todos os mamões dos dois grupos avaliados diminuiu. Após a remoção das coberturas, a alteração na coloração da casca das frutas voltou a ocorrer, indicando que a cobertura apenas atrasou, mas não parou completamente o processo de amadurecimento dos frutos.

**Palavras-chave:** Biopolímeros, embalagens ativas, propriedades antifúngicas, vida pós colheita.

## ABSTRACT

The use of films and coatings produced from biodegradable materials has been the subject of studies to increase the shelf life of fruits, since besides being environmentally friendly, they have the advantage of being able to incorporate additives in their composition, helping to maintain the quality of these products. The objective of this work was to produce and characterize active coatings based on hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) containing silver nanoparticles (NPAg) for later application on papaya (*Carica papaya*). The effect of NPAg on the rheological and physicochemical properties of coatings and films and their antimicrobial properties against the development of the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* on papaya cv Papaya Golden were evaluated. Film-forming solutions (SFF) containing different concentrations of NPAg (0, 0.1, 0.25, 0.5 and 1.0 g of NPAg / 100 g of HPMC) were prepared and characterized in terms of pH, rheological properties, particle size distribution and antifungal properties against the growth of *Colletotrichum gloeosporioides*. The SFF were dehydrated, producing nanostructured films that were characterized in terms of thickness, morphology, chemical composition, water vapor permeability, contact angle, crystallinity, thermal, mechanical, optical properties and biodegradability. The best concentration of NPAg in terms of its physicochemical and antimicrobial properties was applied to Golden papayas as a coating in order to evaluate the physicochemical properties of papayas, as well as the growth of the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* for 7 days at 10 ° C and another 7 days at 20 ° C. Papayas were divided into two groups, G1 and G2, the first consisting of sanitized papayas and the last of non-sanitized fruits. Both groups contained Inoculated (I), Non-Inoculated (NI), Control Inoculated and Non-Inoculated (CI and CNI) fruits, consisting the control in fruits without the application of coating. After 14 days of storage, the coating was removed and the fruits were evaluated for color. The addition of NPAg in the films based on HPMC increased the surface roughness of the films, making these systems more hydrophobic with the concentration of NPAg. Other properties such as water vapor permeability, mechanical properties, solubility and biodegradability of the films were not altered with the addition of NPAg. Afterwards, the coating of HPMC-0.25% NPAg was chosen as the best material to prevent the growth of *Colletotrichum gloeosporioides* in papaya, during 14 days of storage. The content of total soluble solids and firmness in papayas increased and decreased with the storage time, respectively. In addition, the firmness of all papayas in the two groups assessed decreased. After the removal of the coatings, the change in the color of the fruit peel occurred again, indicating that the coating only delayed, but did not completely stop the ripening process of the fruits.

**Keywords:** Active packaging, antifungal properties, biopolymers, post-harvest life.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura química do hidroxipropilmetilcelulose (HPMC*).	27
Figura 2- Classificação dos nanomateriais.	29
Figura 3- Ilustração dos diferentes mecanismos de ação antimicrobiana das NPAg.	31
Figura 4- Elaboração das soluções formadoras de filmes (SFF).	34
Figura 5- Filmes colocados sobre a terra (a) e seu armazenamento à temperatura ambiente (b).	41
Figura 6- Processo de separação do mamão em grupos: Inoculado (I), Não Inoculado (NI), Controle Inoculado (CI) e Controle Não Inoculado (CNI).	44
Figura 7- Mamão ferido superficialmente na parte oposta ao pedúnculo.	45
Figura 8- Mamões inoculados com 10 $\mu$ L de suspensão de esporos imersos na solução de HPMC-NPAg 0,25%.	45
Figura 9- Distribuição do tamanho de partícula das SFF.	50
Figura 10- Curvas de fluxo ascendente (a) e descendente (b).	51
Figura 11- Cor dos filmes de HPMC-NPAg.	53
Figura 12- Micrografia da superfície e seção transversal dos filmes.	55
Figura 13- Espectro FTIR dos filmes de HPMC-NPAg.	58
Figura 14- Difratoogramas de DRX dos filmes de HPMC-NPAg.	59
Figura 15- Termogramas referentes ao primeiro (a) e segundo (b) ciclos de aquecimento dos filmes de HPMC-NPAg.	60
Figura 16- Placas sem (a) e com (b) a SFF de HPMC-0,25% NPAg.	62
Figura 17- Crescimento do fungo <i>C.gloeosporioides</i> nos mamões no dia 0 (a, c, g, i, k e m), dia 7 (e), dia 10 (b, d, f) e dia 14 (h, j, l e n)	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- pH, viscosidade ( $\mu$ ) e Índice de Polidispersidade (IPD) das SFF soluções formadoras de filmes com diferentes concentrações de nanopartículas de prata (NPAg). .....	49
Tabela 2- Análise de cor para os filmes de HPMC-NPAg.....	52
Tabela 3 - Análises de caracterização dos filmes de HPMC-NPAg.....	54
Tabela 4- Influência da cobertura à base de HPMC com e sem adição de NPAg na polpa de mamão papaya cv Golden.....	66
Tabela 5- Influência da cobertura à base de HPMC com e sem adição de NPAg na cor de mamão papaya cv Golden.....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
NPAg	Nanopartículas de Prata
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
PDA	<i>Potato Dextrose Agar</i>
SFF	Solução Formadora de Filme
SST	Sólidos Solúveis Totais
AT	Acidez Titulável
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
CAS	<i>Chemical Abstract Service</i>
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
DRX	Difração de Raios X
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
$T_g$	Temperatura de transição vítrea
$T_m$	Temperatura de fusão
$\tau$	Tensão de cisalhamento (Pa)
$\mu$	Viscosidade (Pa.s <sup>n</sup> )
$\dot{\gamma}$	Taxa de cisalhamento (s <sup>-1</sup> )
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
U	Teor de Umidade (%)
$m_i$	Massa inicial (g)
$m_f$	Massa final (g)
PVA	Permeabilidade ao Vapor de Água
$\Delta g/\Delta t$	Taxa de mudança de massa (g/h)
x	Espessura da amostra (mm)
A	Área de permeação (m <sup>2</sup> )
$\Delta P$	Diferença de pressão parcial através dos filmes (kPa)
ATR	<i>Attenuated Total Reflectance</i>

S	Solubilidade (%)
PM	Perda de massa (%)
E	Módulo de Young (MPa)
$\sigma$	Resistência à tração (MPa)
$\epsilon$	Alongamento máximo na ruptura (%)
I	Inoculado
NI	Não Inoculado
CI	Controle Inoculado
CNI	Controle Não Inoculado
UR	Umidade Relativa

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	17
1.1.	OBJETIVOS .....	19
1.1.1.	Objetivo geral .....	19
1.1.2.	Objetivos específicos .....	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
2.1.	MAMÃO .....	21
2.1.1.	Características gerais da cultura do mamoeiro .....	21
2.1.2.	Características físico-químicas do mamão .....	22
2.1.3.	Perdas pós-colheita .....	23
2.2.	MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DE FRUTAS .....	24
2.2.1.	Resfriamento .....	24
2.2.2.	Filmes e Coberturas .....	25
2.3.	HIDROXIPROPILMETILCELULOSE (HPMC) .....	26
2.4.	PLASTIFICANTES .....	28
2.5.	NANOCOMPÓSITOS .....	28
2.6.	AGENTES ANTIMICROBIANOS .....	30
3.	MATERIAIS E MÉTODO .....	33
3.1.	MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FORMULAÇÃO DOS FILMES .....	33
3.2.	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS .....	33
3.2.1.	Análise de pH e caracterização reológica .....	35
3.2.2.	Distribuição do tamanho de partícula .....	35
3.3.	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES .....	36
3.3.1.	Cor .....	36
3.3.2.	Morfologia .....	37

3.3.3.	Espessura .....	37
3.3.4.	Ângulo de contato.....	38
3.3.5.	Teor de umidade e Permeabilidade ao Vapor de Água .....	38
3.3.6.	Permeabilidade ao O <sub>2</sub> e CO <sub>2</sub> .....	39
3.3.7.	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	39
3.3.8.	Difração de raios-X .....	40
3.3.9.	Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC).....	40
3.3.10.	Propriedades Mecânicas .....	40
3.3.11.	Solubilidade em água e desintegração em solo .....	41
3.4.	TESTES DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA .....	42
3.4.1.	Cultivo do <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> e atividade antifúngica das NPAg <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> .....	42
3.4.2.	Atividade antifúngica <i>in vitro</i> das SFF contendo NPAg .....	42
3.5.	APLICAÇÃO DAS COBERTURAS ATIVAS EM MAMÃO PAPAYA	
	43	
3.5.1.	Atividade antifúngica das coberturas .....	44
3.6.	INFLUÊNCIA DA COBERTURA NA QUALIDADE DA FRUTA.....	46
3.6.1.	Firmeza .....	46
3.6.2.	Análise de cor .....	47
3.6.3.	Perda de massa .....	47
3.7.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES FORMADORAS DE FILMES (SFF)	49
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES NANOESTRUTURADOS .....	52
4.2.1.	Análise de cor .....	52
4.2.2.	Espessura e Morfologia .....	53
4.2.3.	Teor de umidade e Ângulo de contato.....	56

4.2.4.	Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA), oxigênio (O <sub>2</sub> ) e dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	57
4.2.5.	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios X (DRX) .....	58
4.2.6.	Calorimetria diferencial exploratória (DSC) .....	60
4.2.7.	Propriedades mecânicas.....	61
4.2.8.	Solubilidade em água e teste de desintegração.....	61
4.3.	ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM <i>COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDES</i> .....	62
4.4.	EFEITO ANTIFÚNGICO DAS COBERTURAS CONTENDO NPAg..	63
4.5.	INFLUÊNCIA DA COBERTURA NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DOS FRUTOS .....	65
4.6.	PERDA DE MASSA .....	67
4.7.	COR.....	67
4.8.	FIRMEZA.....	69
5.	CONCLUSÃO .....	70
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	REFERÊNCIAS .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de frutas, com 45 milhões de toneladas por ano (EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019a). Devido a mudanças nos hábitos alimentares da população e ao estímulo do consumo de frutas em função dos benefícios que propicia, o setor frutícola apresenta-se como um dos mais promissores, juntamente com o de hortaliças (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). O território brasileiro conta com uma grande variedade de frutas, dentre elas destaca-se o mamão, que coloca o país na posição de segundo maior produtor mundial, com 1.488.240 toneladas produzidas em 2018 (FAO - *Food and Agriculture Organization*).

O mamão (*Carica papaya*) é uma fruta rica em valor nutricional, minerais e compostos bioativos como carotenoides, vitamina C e polifenóis (BRAGA et al., 2019; REIS et al., 2015). No entanto, por ser um fruto climatérico, torna-se bastante suscetível a perdas pós colheita devido ao aumento nas reações fisiológicas causadas pela produção de etileno. Durante o amadurecimento, ocorrem transformações fisiológicas e bioquímicas nas frutas devido à produção de etileno com consequente aumento da taxa respiratória e desenvolvimento fúngico (MARINGGAL et al., 2020). Dentre as doenças causadoras de perdas pós colheita no mamão, uma das mais devastadoras é a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloesporioides* (MADANI et al., 2014; MARINGGAL et al., 2019). Doenças como esta são controladas através do uso de fungicidas combinados com tratamentos térmicos. No entanto, o desenvolvimento de tolerância por parte dos fungos aos tratamentos utilizados e a toxicidade causada ao homem e ao meio ambiente devido ao uso de fungicidas em excesso tem motivado a busca por outras alternativas para minimizar a ocorrência de doenças pós colheita e aumentar a vida útil do mamão (BRAGA et al., 2019; DJIOUA et al., 2010; USALL et al., 2016). Dentre os métodos utilizados para prolongar a vida útil de alimentos, o uso de coberturas e embalagens ativas vem ganhando destaque devido a sua fácil implementação, baixo custo e bons resultados em relação ao aumento da vida útil das frutas (FAGUNDES et al., 2014; LICODIEDOFF et al., 2016; LOREVICE; DE MOURA; MATTOSO, 2014; SILVA et al., 2019).

Dependendo de sua aplicação, propriedades adicionais são necessárias, como as antimicrobianas, no caso do uso em produtos alimentícios (MUÑOZ-BONILLA et al., 2019). Dentre os polímeros de origem natural, a celulose é o mais abundante no planeta e um de seus derivados, o hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) é amplamente utilizado na produção de coberturas e filmes por ser barato, renovável e ter boas propriedades de formação de filme e cobertura (FAGUNDES et al., 2015; FONSECA et al., 2020; SILVA et al., 2019).

Na literatura, existem estudos sobre o efeito causado pela adição de diferentes materiais na matriz de HPMC, como curcumina e nanopartículas como dióxido de titânio, zinco, quitosana e prata (BAHRAMI et al., 2019; FONSECA et al., 2020; RAO et al., 2015; SHANMUGA PRIYA et al., 2014; SILVA et al., 2019; WRONA et al., 2017). A adição de materiais de tamanho nanométrico à matrizes biopoliméricas é uma maneira de melhorar principalmente as propriedades mecânicas e de barreira, principalmente de filmes e coberturas à base de biopolímeros, uma vez que a maioria dos biopolímeros dá origem a materiais frágeis devido à sua estrutura química, limitando seu desempenho como material de embalagem (PESSANHA, 2016). Os filmes nanocompósitos consistem na combinação do biopolímero (fase contínua) com nanopartículas (fase dispersa), sendo que estes últimos são materiais que têm pelo menos uma das suas dimensões na escala nanométrica (1 – 100 nm) (JAMRÓZ; KULAWIK; KOPEL, 2019). As nanopartículas, além de ajudarem na melhora das propriedades físicas e químicas do filme, podem conferir propriedades antimicrobianas, antioxidantes e absorventes a estes materiais (IMRAN et al., 2014; SILVA et al., 2019).

O uso de nanomateriais na indústria tem sido amplamente explorada nas últimas duas décadas (BAHRAMI et al., 2019; BUMBUDSANPHAROKE; KO, 2015). Dentre eles, as nanopartículas de prata (NPAg) são interessantes porque suas propriedades antimicrobianas, ópticas e catalíticas permitem um amplo campo de aplicações, inclusive em cosméticos (CAYUELA; SORIANO; VALCÁRCEL, 2015; KAUL et al., 2018), roupas (EMAM et al., 2016), setor médico (OVES et al., 2018), indústria de alimentos (SIMBINE et al., 2019). Na literatura, existem diferentes matrizes onde as NPAg foram incorporadas, como amido (ORTEGA et al., 2017), quitosana (DAI; ZHANG; CHENG, 2019), gelatina (LOAN KHANH et al., 2019) e até mesmo HPMC (BAHRAMI et al., 2019). É possível encontrar pesquisas sobre a aplicação de HPMC e NPAg separadamente em revestimentos e formulações de filmes para aplicação em diferentes frutas como

manga (KLANGMUANG; SOTHORNVIT, 2018), ameixa (CHOI; SINGH; LEE, 2016), goiaba (FORMIGA et al., 2019), kiwi (JAMRÓZ et al., 2019). No que diz respeito à combinação de HPMC e NPAg, até onde tem-se conhecimento, existem apenas estudos sobre sua potencial aplicação (BAHRAMI et al., 2019; DE MOURA; MATTOSO; ZUCOLOTTI, 2012), mas não relacionados à sua aplicação em produtos como frutas.

Deste modo, considerando o amplo espectro de aplicação das nanopartículas de prata e a versatilidade do HPMC como matriz biopolimérica, este trabalho avaliou a influência da adição de diferentes concentrações de NPAg (0; 0,1%; 0,25%; 0,5% e 1% em relação à massa do HPMC), nas propriedades físico químicas de filmes e coberturas à base de HPMC, bem como avaliar a ação antifúngica de coberturas de HPMC-NPAg contra o *Colletotrichum gloeosporioides* em mamões e seu potencial para extensão da vida útil dessas frutas.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

O Objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição de diferentes concentrações de nanopartículas de prata (NPAg) nas propriedades físicas, químicas e antifúngicas de filmes à base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) para posterior aplicação em mamões.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Estudar o efeito das NPAg no pH, propriedades reológicas e distribuição de tamanho de partícula das soluções formadoras de filme (SFF) à base de HPMC;
- Avaliar o efeito antifúngico das SFF à base HPMC e NPAg frente ao crescimento de *Colletotrichum gloeosporioides*;

- Compreender o efeito da concentração de NPAg nas principais propriedades físicas e químicas de filmes à base de HPMC;
- Avaliar o potencial antifúngico da cobertura de HPMC-NPAg em mamões Golden para inibição do *C. gloeosporioides* e aumento da vida útil do fruto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MAMÃO

#### 2.1.1. Características gerais da cultura do mamoeiro

O mamão (*Carica papaya*) é uma das frutas mais cultivadas comercialmente em todo o mundo e muito comum em regiões de clima tropical e subtropical. Foi descoberto pelos espanhóis entre o sul do México e norte da Nicarágua e introduzido no Brasil em 1587, devido ao clima favorável (SERRANO; CATTANEO, 2010). Sua planta, o mamoeiro, tem bom desenvolvimento em solos com baixo teor de argila, bem drenados e ricos em matéria orgânica. Solos compactados, que estão sujeitos ao encharcamento devem ser evitados, uma vez que em tais condições as plantas produzem menos frutos (OLIVEIRA et al., 2004).

A propagação do mamoeiro é feita por sementes, resultando em diversas variedades, uma vez que apresenta fácil cruzamento natural (FERREIRA, 2010). As cultivares mais exploradas no Brasil são a Solo e Formosa, introduzidas na região Nordeste e Sudeste em 1976, ocasionando o crescimento econômico da cultura do mamoeiro (SOUZA et al., 2012). A variedade Solo, conhecida também como papaya, é comercializada nos mercados externo e interno, enquanto a Formosa é comercializada apenas no mercado interno (DANTAS; NETO, 2000).

O Brasil é o segundo produtor mundial da fruta, com 1.488.240 toneladas produzidas em 2018, situando-se entre os principais países exportadores, principalmente para o mercado europeu (FAO - Food and Agriculture Organization, 2018). Quanto à produção nacional, dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) mostram que os principais estados produtores de mamão são Espírito Santo (354 mil toneladas), Bahia (337 mil toneladas), Ceará (100 mil toneladas), Rio Grande do Norte (81 mil toneladas) e Minas Gerais (50 mil toneladas). A cultura do mamoeiro está presente em todas as regiões do país, com área colhida de 27.250 ha e produtividade média de 38,91 t/ha. Como é uma das poucas plantas frutíferas com capacidade de

produção durante o ano inteiro, o mamão tem elevada importância econômica e também social, uma vez que seu cultivo utiliza quantidade significativa de mão de obra (BARBIERI et al., 2019).

### **2.1.2. Características físico-químicas do mamão**

No Brasil, o mamão é comumente consumido *in natura* ou na forma de doce, vitamina e suco, sendo indicado como alimento saudável e de excelente sabor com demanda crescente do mercado consumidor (NEVES, 2007). Em sua composição estão diversos nutrientes disponíveis para digestão e absorção, como vitaminas A e C, ferro, cálcio, magnésio e potássio (CRUZ, 2016). Além disso, contém a enzima papaína, utilizada como eficiente suplemento digestivo (TORRES, 2010).

O mamão é um fruto climatérico, sendo assim as transformações desencadeadas pela produção de etileno e aumento da taxa respiratória ocorrem rapidamente após sua colheita em estado maduro (JACOMINO et al., 2002). O processo de amadurecimento ocasiona mudanças nas características dos frutos, que vão desde a cor da casca e textura até alterações em sua composição nutricional (FABI; DO PRADO, 2019; MELO, 2018).

A polpa da fruta é composta por aproximadamente 85% de água e 13% de açúcares, dentre os quais se destacam a glicose, frutose e sacarose (MENDY et al., 2019). A composição de açúcares influencia diretamente no sabor do mamão, podendo variar de acordo com o cultivar, condições climáticas de cultivo, região climática e estágio de maturação, sendo este responsável por grande parte das mudanças (MELO, 2018; RIBEIRO, 2009). À medida que amadurece, a quantidade de sólidos solúveis e o pH aumentam, juntamente com a possibilidade de infecção e contaminação. Sendo assim, o ponto de colheita é extremamente importante para garantir a qualidade do mamão, bem como todos os aspectos de manuseio pós-colheita, transporte, armazenagem e conservação (EMBRAPA, 2001).

### 2.1.3. Perdas pós-colheita

Segundo dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*, 2017), 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são perdidas ao longo de sua cadeia produtiva, das quais cerca de 54% devem-se às perdas durante a produção, armazenamento e transporte, que correspondem ao período de pós colheita. Grande parte dessas perdas são quantitativas e devidas à deterioração do fruto por motivos fisiológicos, fitopatológicos, mecânicos ou uma combinação de todos eles (PORAT et al., 2018).

Após a colheita, frutos climatéricos como o mamão passam por diversas transformações devido à aceleração de seu metabolismo, levando à alterações em características como sabor, aroma, cor e textura (REIS, 2014). Os produtos recém colhidos devem ser manuseados cuidadosamente, de modo a minimizar a perda de água (HOLCROFT, 2015), que resulta em perda de massa. Tais perdas ocorrem principalmente devido à transpiração, na qual a água é transportada por estruturas anatômicas dos tecidos vivos até a superfície, evaporando para o ambiente (SPAGNOL et al., 2018). Este parâmetro é de grande importância, uma vez que perdas de massa excessivas podem ocasionar rejeição por parte do consumidor devido à alterações na qualidade do produto (SCARTAZZINI, 2014). Kader (2002) relata que perdas de massa de aproximadamente 10% são suficientes para tornar o mamão impróprio para consumo, portanto objetiva-se reduzir ou retardar tais perdas visando a manutenção da qualidade.

Alterações na textura das frutas também ocorrem neste período, sendo um parâmetro que, além de determinar se elas estão próprias para o consumo, também influencia na vida pós colheita, interferindo na resistência ao transporte e ao ataque de patógenos (MENDONÇA et al., 2007). As doenças causadas por fungos correspondem de 80 a 90% do total de perdas ocasionadas por fitopatógenos no período pós colheita (DANTAS et al., 2003). No mamão, a principal doença é a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, que tem sido associado a doenças em outras frutas como manga, goiaba, maracujá e uva (ALAHAKOON; BROWN; SREENIVASAPRASAD, 1994; TIMMER; BROWN, 1998).

A antracnose caracteriza-se pela presença nos frutos de grandes lesões necróticas arredondadas com diferentes diâmetros, de onde emergem conídios na coloração salmão (RIBEIRO; SERRA; ARAÚJO, 2016). Usualmente, o controle de doenças como esta é

feito através do uso de agrotóxicos, como os fungicidas. No entanto, o aumento da resistência por parte dos fungos e os efeitos nocivos de tais produtos à saúde do consumidor e ao meio ambiente têm motivado a demanda por novas alternativas para o combate à patógenos como estes e prolongamento da vida de prateleira de frutas (MARINGGAL et al., 2020).

## 2.2. MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DE FRUTAS

### 2.2.1. Resfriamento

A temperatura é um dos principais e mais importantes métodos de conservação de frutas e hortaliças, uma vez que influencia diretamente no principal processo fisiológico dos frutos após a colheita, a respiração. O controle adequado da temperatura de refrigeração permite a redução da taxa respiratória do fruto, diminuindo deste modo a perda de atributos de qualidade como cor, aroma, textura, dentre outros. É importante, no entanto, que esta redução metabólica ocorra a um nível capaz de manter as células do alimento vivas enquanto preserva sua qualidade durante o período de armazenamento (REIS, 2014).

Antes do armazenamento, é importante que os frutos passem por um processo de pré resfriamento, que consiste na remoção do calor do campo de produtos que foram colhidos recentemente, visando a redução do metabolismo e sua deterioração precoce. O intervalo entre a colheita e o início do pré resfriamento é de extrema importância uma vez que um pré resfriamento tardio pode ocasionar maior perda de água, aceleração da atividade metabólica e perda de firmeza do tecido nos frutos (SENTHILKUMAR; VIJAYAKUMAR; KUMAR, 2015).

Tratando-se do mamão, por ser um fruto climatérico, cerca de 30% do total produzido da fruta é perdido devido a alterações que ocorrem em seus atributos de qualidade no período pós colheita pelo aumento da taxa respiratória e produção de etileno (GALO et al., 2014). Em seu processo de amadurecimento, ocorrem mudanças na firmeza, concentração de açúcares, coloração e outras características que evidenciam tal

processo (MARTINS, 2012). Sendo assim, é de extrema importância o uso de tecnologias que permitam o prolongamento de sua vida útil sem que haja a perda de tais atributos.

Souza et. al (2005) avaliaram o armazenamento de polpa de mamão Formosa minimamente processado sob diferentes temperaturas (3, 6 e 9 °C) e concluíram que não houve alteração na cor, sólidos solúveis totais e ácido ascórbico. Observaram ainda que as duas menores temperaturas foram mais eficazes em minimizar o amolecimento da polpa. O produto manteve-se adequado para consumo por 10 dias.

Da Costa et. al (2010) avaliaram a qualidade de mamão Havaí Golden armazenado sob diferentes temperaturas (6, 8, 10 e 20 °C) e diferentes umidades relativas (65% e 90%) e verificaram que a temperatura de 10 °C permitiu melhor aparência interna e externa, com menores danos causados pelo frio e vida útil de 32 dias.

### **2.2.2. Filmes e Coberturas**

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, as embalagens passaram a ter funções que vão além da exclusiva proteção dos alimentos, como a interação com o produto e com o meio de forma benéfica (SIQUEIRA, 2012). Tais embalagens podem atuar como barreiras semipermeáveis à umidade e gases, reduzindo a respiração e transpiração de frutos, retardando a senescência, ou ainda funcionar como carreadores de antioxidantes, flavorizantes e antimicrobianos, melhorando algumas características do produto armazenado e aumentando sua vida de prateleira (FAKHOURI et al., 2007; FERNANDES et al., 2015). Dentre os materiais empregados com tais propósitos, tem-se os filmes e coberturas.

Os termos “cobertura” e “filme” por vezes são utilizados de forma errônea e seu esclarecimento é de grande importância de modo a evitar equívocos. A cobertura é aplicada e formada sobre a superfície do alimento, seja por imersão, aspersão ou aplicação com um pincel (SCARTAZZINI, 2018). Já o filme é pré-formado separadamente e aplicado posteriormente sobre o produto, sendo utilizado como embalagem ou envoltório para proteger o alimento (FAKHOURI et al., 2007). Classificam-se em comestíveis e/ou biodegradáveis, de acordo com sua composição (SIQUEIRA, 2012).

A preocupação com os possíveis danos que materiais não biodegradáveis podem causar ao meio ambiente tem motivado o desenvolvimento de filmes e coberturas que utilizem materiais renováveis em sua composição (AZEREDO; ROSA; MATTOSO, 2017). Dentre os biopolímeros mais comumente utilizados na formulação de filmes e coberturas tem-se as proteínas (caseína, gelatina, zeína), polissacarídeos (amido e seus derivados, celulose, quitosana, pectina, alginato) e os lipídios (ácido esteárico, ceras) (FAKHOURI et al., 2007; SCARTAZZINI, 2018). Além de serem biodegradáveis, possuem a vantagem de não serem tóxicos e apresentarem baixo custo (FIALHO E MORAES et al., 2007; IMRAN et al., 2010).

O uso de polissacarídeos como agentes formadores de filmes e coberturas tem sido alvo de diversos estudos (FONSECA et al., 2020; GAO et al., 2019; SILVA et al., 2019), com destaque para a celulose e seus derivados, que representam importante fonte de biomateriais na área de embalagens de alimentos (PAUNONEN, 2013). A celulose é o polissacarídeo mais abundante no planeta e esta pode ser encontrada na parede celular de plantas superiores, com função estrutural (TAVERA QUIROZ et al., 2013). Este polímero apresenta cadeia linear quimicamente composta por unidades de D-glicose com ligações glicosídicas  $\beta$  (1-4) e com três hidroxilas livres ligadas aos carbonos 2, 3 e 6 (JÚNIOR, 2009). Uma vez que os grupos hidroxila estão disponíveis, tendem a formar ligações inter e intramoleculares, responsáveis pela insolubilidade da celulose em água (BARUD, 2010).

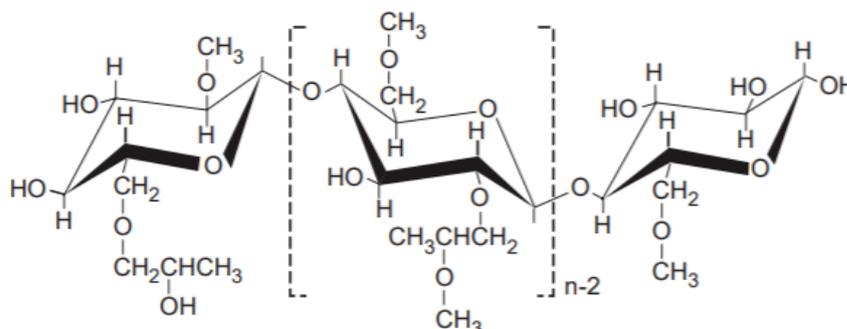
É possível realizar a modificação da cadeia deste polissacarídeo por meio da substituição dos grupos hidroxila, resultando na solubilidade em água e na produção de polímeros semissintéticos, os éteres de celulose, como a metilcelulose (MC), carboximetilcelulose (CMC) e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), que têm sido muito utilizado em filmes (PSOMIADOU; ARVANITTOYANNIS; YAMAMOTO, 1996).

### 2.3. HIDROXIPROPILMETILCELULOSE (HPMC)

O HPMC é um biopolímero com uso alimentar aprovado pela FDA (*Food and Drug Administration*) e com registro no banco de dados do *Chemical Abstract Service*

(CAS n° 9004-65-3) (FDA - Food and Drug Administration, 2016). Sua estrutura é mostrada na Figura 1.

Figura 1- Estrutura química do hidroxipropilmetilcelulose (HPMC\*).



\* Methocel™

Fonte: Adaptado de Dow (2012).

Neste éster de celulose, os hidrogênios e grupos hidroxila foram parcialmente substituídos por grupos alquil para modificar a estrutura original da celulose (PEKEL et al., 2004). Devido ao fato de ser barato, abundante, biodegradável, renovável e biocompatível, é um bom candidato a ser utilizado como matriz biopolimérica de embalagens de alimentos (TOSATI et al., 2015).

Diversos componentes tem sido incorporados à matriz de HPMC para a elaboração de filmes e coberturas e avaliação dos seus efeitos em algumas propriedades dessa matriz. Rao et al. (2015) relataram um decréscimo nas propriedades mecânicas e melhora nas propriedades antimicrobianas de filmes de HPMC adicionados de nanopartículas de zinco. Silva et al. (2019) observaram melhora na propriedade de barreira de filmes de HPMC adicionados de curcumina modificada em comparação com aqueles adicionados de curcumina não tratada. Fonseca et al. (2020) não observaram alterações na solubilidade, umidade e permeabilidade ao vapor de água de filmes de HPMC com diferentes concentrações de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e atribuíram ao fato da concentração de TiO<sub>2</sub> não ter sido suficiente para causar mudanças na matriz.

## 2.4. PLASTIFICANTES

Para a elaboração de filmes, necessita-se basicamente de solvente, agente formador de filme (também chamado de macromolécula) e um plastificante. Usualmente, plastificantes são adicionados à formulação tanto de filmes feitos de materiais sintéticos quanto dos feitos de materiais naturais com a finalidade de diminuir as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas e conferir flexibilidade ao material (SABBAH et al., 2019). Dentre os plastificantes, diferentes tipos têm sido adicionados à filmes de HPMC a fim de melhorar ou alterar suas propriedades (HENG; WAN; TAN, 1996), a exemplo do glicerol.

O glicerol é uma matéria prima de fonte renovável, pertencente à função álcool. Também conhecido comercialmente como glicerina, caracteriza-se por ser um líquido incolor, sem cheiro e viscoso utilizado em diversos segmentos industriais e também na produção de filmes biodegradáveis (BEATRIZ; ARAÚJO; DE LIMA, 2011; SOUSA, 2016). A adição de plastificantes como este aos filmes pode proporcionar maior resistência, flexibilidade e melhora nas propriedades ópticas e de barreira.

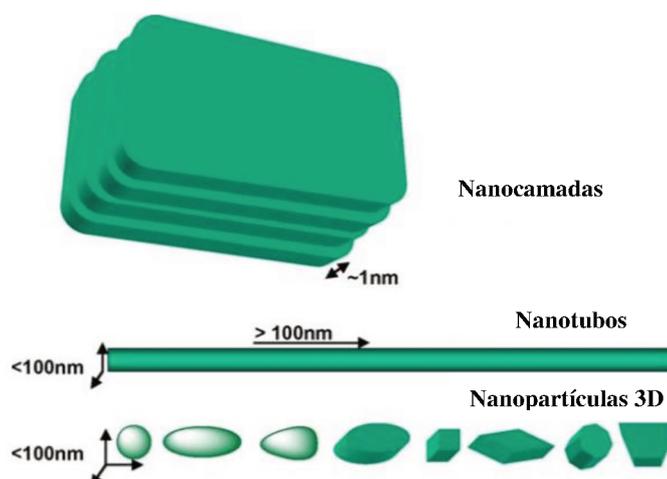
Além dos materiais comumente utilizados na formulação de filmes, outras estruturas podem ser adicionadas a fim de melhorar determinadas propriedades, como os nanocompósitos, que são materiais em que pelo menos um de seus componentes tem escala nanométrica (DE MORAES; BOTAN; LONA, 2014).

## 2.5. NANOCOMPÓSITOS

O conceito de nanocompósitos surgiu em 1985 com o desenvolvimento de um nanocompósito de polímero/argila nos laboratórios da empresa Toyota. Desde então, o interesse por essa classe de materiais tem crescido de forma acentuada, adquirindo grande importância científica e para aplicações industriais mais avançadas (PEIXOTO, 2012), uma vez que as interações matriz/reforço aumentam em escala nanométrica, proporcionando melhores propriedades quando comparados aos compósitos convencionais (DE MORAES; BOTAN; LONA, 2014).

Os nanocompósitos classificam-se conforme sua matriz, podendo esta ser metálica, cerâmica ou polimérica, sendo esta última comumente utilizada por motivos econômicos e ambientais (PEIXOTO, 2012). Possuem reforço com ao menos uma dimensão na escala nanométrica, podendo ser classificados em nanopartículas, nanotubos e nanocamadas (NETO, 2018). São consideradas nanopartículas os materiais que possuem as três dimensões em escala nanométrica, já os nanotubos possuem duas dimensões nesta escala e as nanocamadas uma, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Classificação dos nanomateriais.



Fonte: Adaptado de HU; ONYEBUEKE; ABATAN (2010).

Diversos autores relatam a incorporação de nanopartículas em matrizes poliméricas, como a de HPMC. Dentre as diversas nanopartículas informadas na literatura, as nanopartículas de prata (NPAg) têm sido amplamente estudadas na tecnologia de embalagens devido a sua atividade antimicrobiana e melhora das propriedades físicas e químicas dos materiais onde este têm sido incorporadas. Bahrami et al. (2019) avaliaram o efeito da adição de diferentes concentrações de NPAg (2, 4 e 8% em base seca) na matriz de HPMC-cera de abelha-goma tragacanto e observaram mudanças na permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas e antimicrobianas. Morones et al. (2005) avaliou o efeito antimicrobiano das NPAg e observou que nanopartículas na faixa de 1 a 10nm ligam-se à superfície da membrana celular e interferem de forma drástica em funções como permeabilidade e respiração

As nanopartículas incorporadas às matrizes poliméricas podem ter diversas funções, dentre elas efeito flavorizante, antioxidante e antimicrobiano, sendo este último um dos mais utilizados (BAHRAMI et al., 2019; FADEL et al., 2019; HU et al., 2019; VALGIMIGLI; BASCHIERI; AMORATI, 2018).

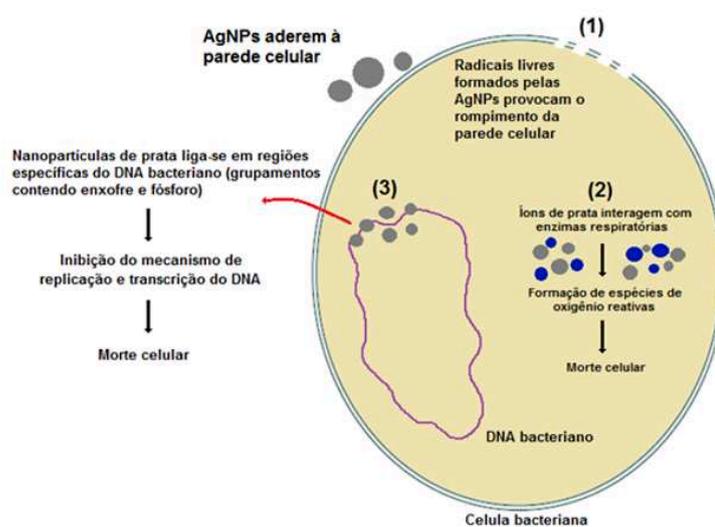
## 2.6. AGENTES ANTIMICROBIANOS

Agentes antimicrobianos podem ser incorporados e imobilizados nos materiais da embalagem visando melhorar suas características, bem como auxiliar na manutenção da qualidade dos alimentos sem a necessidade da adição direta de substâncias conservantes aos mesmos (LEE, 2010; ZHOU; XU; LIU, 2010). Sua incorporação na matriz polimérica pode ocorrer por dois métodos: fusão ou solubilização, sendo o último o mais indicado por não envolver exposição prolongada ao calor (APPENDINI; HOTCHKISS, 2002). Uma vez solubilizado na formulação do polímero, quando aplicado como revestimento em alimentos, promove maior contato entre o produto e o agente microbiano uma vez que, na maioria dos alimentos sólidos e semissólidos o crescimento microbiano dá-se superficialmente (FIALHO E MORAES et al., 2007). Dentre os vários componentes utilizados, as nanoestruturas incorporadas a filmes vêm ganhando cada vez mais espaço na área de embalagens ativas, com destaque para as nanopartículas de prata (NPAg) que, além da atividade antimicrobiana, decompõem o etileno, prolongando a vida de prateleira (SADEGHNEJAD et al., 2014).

A prata, por si só, possui ação antisséptica e quando na forma de nanopartículas, tem uma superfície de contato muito maior para interagir com a célula microbiana, permitindo que tenha uma ampla gama de aplicações (YOON et al., 2007). Em seu espectro de atuação, tem-se no geral bactérias gram-positivas e gram-negativas, leveduras, vírus e fungos (CAVALCANTE, 2014), sendo a atividade antifúngica das nanopartículas de prata relatada por diversos pesquisadores (BOCATE et al., 2019; IFUKU et al., 2015; KHATOON et al., 2018; TARAZONA et al., 2019). Quanto à sua ação antimicrobiana, não se sabe o mecanismo exato de interação das NPAg com os microrganismos, no entanto existem diversas teorias. Uma das mais difundidas está ilustrada na Figura 3 e consiste na premissa que os íons prata liberados a partir das NPAg

possuem alta afinidade por compostos de fósforo e enxofre presentes nas membranas celulares (1) (EGGER et al., 2009; NETO, 2010; KIM et al., 2011). Uma vez dentro dos microrganismos, as nanopartículas tendem a interagir com proteínas e DNA, que também tem fósforo e enxofre em sua composição, provocando a desnaturação e causando danos a cadeia respiratória, podendo levar à morte celular (3) (MORONES et al., 2005). Em seguida, há a geração de espécies reativas de oxigênio (2), produzidas, possivelmente, devido à inibição da enzima respiratória NADH-desidrogenase II pelos íons de prata que atacam a própria célula. Tal enzima é inibida no sistema respiratório da célula bacteriana, fazendo com que este local se torne um candidato à produção de espécies reativas de oxigênio (DEEPAK et al., 2011). Outra teoria proposta é a de que as NPAg têm a capacidade de ancorar na parede celular dos microrganismos e, posteriormente, penetrar, ocasionando mudanças na membrana celular e causando a morte da célula (ALMEIDA, 2017).

Figura 3- Ilustração dos diferentes mecanismos de ação antimicrobiana das NPAg.



Fonte: ALMEIDA(2017).

Na literatura, é possível encontrar um amplo campo de aplicações das NPAg, inclusive em cosméticos (CAYUELA; SORIANO; VALCÁRCEL, 2015; KAUL et al., 2018), roupas (EMAM et al., 2016), setor médico (OVES et al., 2018), indústria de alimentos (SIMBINE et al., 2019). Existem também diversas matrizes em que essas nanopartículas podem ser aplicadas, como amido (ORTEGA et al., 2017), quitosana

(ZHANG; JIANG, 2019), gelatina (LOAN KHANH et al., 2019) e até mesmo HPMC (BAHRAMI et al., 2019). É possível encontrar estudos envolvendo a aplicação de HPMC e NPAG separadamente em revestimentos e formulações de filmes para aplicação em diferentes frutas como manga (KLANGMUANG; SOTHORNVIT, 2018), ameixa (CHOI; SINGH; LEE, 2016), goiaba (FORMIGA et al., 2019), kiwi (JAMRÓZ et al., 2019). No entanto, no que diz respeito à combinação HPMC + NPAG, até onde tem-se conhecimento, existem apenas estudos sobre sua potencial aplicação (BAHRAMI et al., 2019; DE MOURA; MATTOSO; ZUCOLOTTO, 2012), mas não relacionados à sua aplicação em produtos como frutas.

### **3. MATERIAIS E MÉTODO**

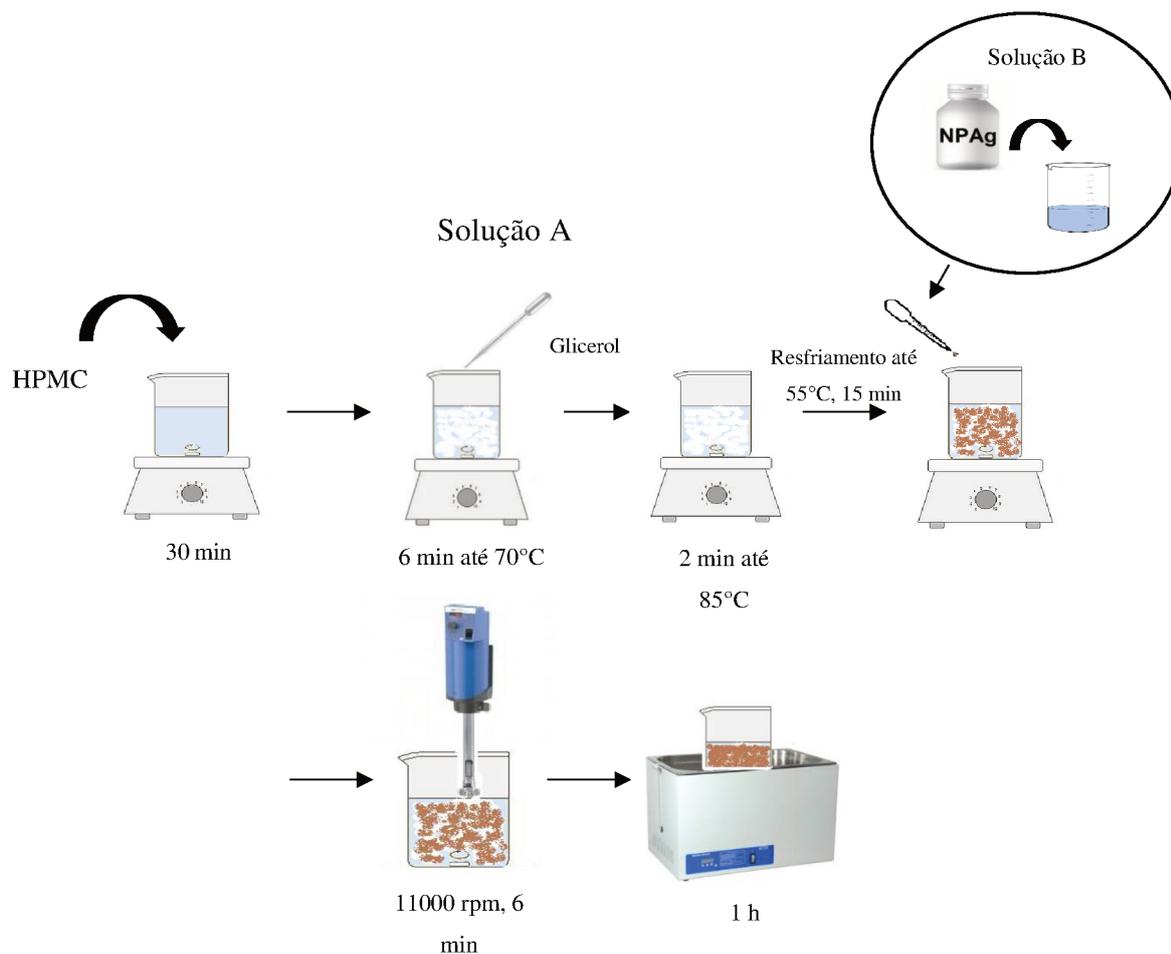
#### **3.1. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FORMULAÇÃO DOS FILMES**

O composto hidroxipropilmetilcelulose (Methocel E19®) foi adquirido da Dow Brasil S. A. (São Paulo, SP) e o glicerol (99%), utilizado como plastificante, foi obtido da Neon (São Paulo, SP). As nanopartículas de prata (NPAg), na forma de dispersão coloidal em meio alcoólico, com faixa de tamanhos de 20 a 100 nm, foram cedidas pela TNS Nanotecnologia (Florianópolis, SC) e utilizadas como nanomaterial. Água destilada foi utilizada como solvente.

#### **3.2. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS**

As soluções formadoras de filmes (SFF) foram preparadas de acordo com o método utilizado por Fonseca et al. (2019) com algumas modificações. Estas SFF foram obtidas pela mistura da dispersão de HPMC em água (solução A) com a solução de NPAg diluída em água (solução B). O processo é ilustrado na Figura 4.

Figura 4- Elaboração das soluções formadoras de filmes (SFF).



Fonte: Autor (2020).

A solução A foi preparada dissolvendo-se HPMC na concentração de 4% (m/v), sob agitação magnética (1000 rpm), em água destilada à temperatura ambiente (25°C) por 30 min. A dispersão de HPMC foi então aquecida até 70°C durante 6 minutos. Em seguida, glicerol (25% m/m HPMC) foi adicionado e a solução foi mantida durante dois minutos à 85°C sob agitação e posteriormente resfriada até 55°C.

A solução B foi preparada diluindo-se a solução de NPAg em água destilada. Em seguida, esta solução foi gotejada na solução A já resfriada com o auxílio de uma pipeta de Pasteur de modo a produzir SFF com diferentes concentrações de NPAg (0; 0,1; 0,25; 0,5 e 1%). As soluções resultantes foram homogeneizadas em um UltraTurrax T25®,

IKA (11000 rpm, 6 min) e as bolhas foram removidas em um banho de ultrassom durante aproximadamente 1 h (Ultrasonic Maxi Clean 1400A Unique®, 40 kHz).

### 3.2.1. Análise de pH e caracterização reológica

O pH das SFF foi medido utilizando-se um pHmetro (AG 205, Testo, Brasil), em triplicata para cada solução.

Os parâmetros reológicos a partir das soluções foram obtidos seguindo-se o método utilizado por Valencia et al. (2015), com modificações, em um reômetro (Haake Mars, Thermo Scientific, EUA), utilizando a geometria cone-placa (ângulo do cone 2 °). As soluções foram avaliadas em taxas de cisalhamento entre 0 e 500 s<sup>-1</sup> (curva ascendente) e de 500 a 0 s<sup>-1</sup> (curva descendente), durante 120 s, sendo que o espaçamento entre cone e placa foi de 0,2 mm. As medidas foram realizadas em triplicata à 25°C, com temperatura estabilizada por um banho termostático (DC 30, Thermo Scientific, EUA).

O modelo da Lei de Newton da viscosidade (Equação 1) foi utilizado para descrever o comportamento dos dados reológicos. O software Pro Rheowin® (Versão 2.93) foi utilizado para a coleta dos dados e o software Origin 2018 (OriginLab®, Northampton-MA, EUA) foi utilizado para a determinação dos parâmetros.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

sendo  $\tau$  a tensão de cisalhamento (Pa);  $\mu$  a viscosidade (Pa.s) e  $\dot{\gamma}$  a taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>).

### 3.2.2. Distribuição do tamanho de partícula

O tamanho de partícula das SFF foi determinado no Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas – LINDEN (UFSC) utilizando o equipamento Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Inglaterra) com Espalhamento de Luz Dinâmica (*Dinamic Light Scattering* - DLS), segundo Fonseca et al. (2019). As amostras

foram dispersas em água destilada na concentração de 1:20 mL, a fim de se adequarem à faixa de leitura do equipamento, e então colocadas em uma cubeta para ser realizada a análise. Foram realizadas três medidas por amostra e a SFF sem NPAg foi utilizada como branco.

### 3.3. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Para a preparação dos filmes, 10g de cada SFF foram vertidos dentro de uma placa de Petri (15cm de diâmetro) e dispostos para secagem durante 48h, sob uma bancada nivelada à temperatura ambiente (25°C), protegida contra a entrada de luz. Após o tempo de secagem, foram obtidos filmes com diferentes concentrações de NPAg, os quais foram removidos das placas e armazenados em uma câmara de umidade controlada contendo soluções saturadas de NaBr (58 % Umidade Relativa), a 25°C por 48h.

#### 3.3.1. Cor

Para realizar as medidas de cor dos filmes, recortou-se as amostras em formato retangular e colou-se suas bordas com fita dupla face em placas de Petri de plástico. Foram então colocadas sobre a superfície branca de uma câmara utilizada para análises de colorimetria e fotografadas com o auxílio de uma câmera fotográfica da marca Nikon. A análise de cor foi realizada com o *software Image Processing and Analysis in Java* (Image J), que converte os resultados para o sistema CIELab (L\*, a\*, b\*). Foram coletados valores de luminosidade (L=0 (preto) a 100 (branco)), valores de a\*, que demonstram a variação de cor do vermelho (+a) ao verde (-a) e valores de b\*, que demonstram variação do azul (-b) ao amarelo (+b) (HUNTERLAB, 1996). A variação global de cor ( $\Delta E^*$ ) foi obtida por meio da Equação 2 utilizando o fundo branco da câmara como padrão.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

sendo:

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão}$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão}$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão}$$

onde  $L^*_{padrão} = 91,09$  ;  $a^*_{padrão} = 0,83$  e  $b^*_{padrão} = -8,98$ , determinados em um colorímetro.

### 3.3.2. Morfologia

A análise morfológica das amostras foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME-UFSC). Micrografias da superfície e da seção transversal dos filmes (2cm x 2cm) foram obtidas utilizando-se um Microscópio Eletrônico de Varredura (6390LV- JEOL, Japão) com tensão de aceleração de 10 kV e magnificação de 1000x. O mapeamento composicional das amostras também foi avaliado, utilizando-se a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) a fim de confirmar a presença de prata (Ag) nos filmes. Para a visualização da seção transversal, as amostras foram fraturadas em nitrogênio líquido. Todas as amostras foram fixadas em pequenos cilindros metálicos e cobertas com uma fina camada de ouro, utilizando-se um equipamento metalizador (SCD 0005, Baltec, Japão).

### 3.3.3. Espessura

A espessura dos filmes foi medida com um micrômetro digital (Mitutoyo Corporation, Japão). Doze medidas foram realizadas em pontos aleatórios de cada amostra.

### 3.3.4. Ângulo de contato

O ângulo de contato dos filmes foi determinado utilizando-se um goniômetro (250, Ramé-Hart, EUA). As amostras (1 cm x 2 cm) foram colocadas sob uma superfície lisa e três gotas de 1 µL de água deionizada foram depositadas separadamente na superfície dos filmes, com uma micro seringa. O ângulo de contato foi obtido através da imagem digitalizada da gota, obtida pela câmera integrada ao equipamento, através da medida dos valores dos ângulos esquerdo e direito, utilizando-se o programa Ramé-Hart DROP image Advanced (EUA), 10 segundos depois da deposição da gota sobre o filme (ROTTA; MINATTI; BARRETO, 2011).

### 3.3.5. Teor de umidade e Permeabilidade ao Vapor de Água

O teor de umidade dos filmes (U, %) foi determinado gravimetricamente, secando-se os filmes a 105°C em uma estufa de circulação de ar, de acordo com método proposto por Jiang et al., (2010). O teor de umidade foi calculado baseado na massa da amostra antes e depois da secagem, relacionadas pela Equação (3):

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

sendo  $m_i$  e  $m_f$  são a massa inicial e final das amostras (g), respectivamente.

A análise de Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) foi calculada de acordo com os padrões da ASTM E96 (GONTARD; GILBERT; CUQ, 1992). Os filmes foram colocados sobre cápsulas de alumínio (0 % UR) contendo sílica gel. Em seguida, as cápsulas foram colocadas em um dessecador contendo água destilada (100 % UR). As cápsulas foram pesadas diariamente durante 7 dias a fim de garantir o estado estacionário. PVA foi calculada através da Equação 4:

$$PVA = \frac{\Delta g}{\Delta t} \left( \frac{x}{A \Delta P} \right) \quad (4)$$

sendo  $\Delta g/\Delta t$  é a taxa de mudança de massa (g/h);  $x$  é a espessura da amostra (mm);  $A$  é a área de permeação (0.0032 m<sup>2</sup>) e  $\Delta P$  é a diferença de pressão parcial através dos filmes (3.169 kPa a 25 °C).

### 3.3.6. Permeabilidade ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>

A permeabilidade ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> foi determinada em um aparato experimental, a 23°C, montado no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (Profi-UFSC) em um estudo realizado por Tosati (2013) utilizando como referência a norma ASTM D1434 (2009). O controle do gás é realizado por quatro válvulas tipo agulha (Swagelok tube fitting) e a temperatura monitorada por termopares tipo “J”. O filme foi selado entre duas câmaras com diferentes pressões e, em um dos compartimentos o gás foi retirado por uma bomba de vácuo (TECNAL, TE-058, Brasil) enquanto no outro mantinha-se um fluxo de gás à pressão constante de 1 bar, a fim de evitar a entrada de ar atmosférico. Conforme havia permeação de gás no lado de baixa pressão, esta era indicada com o aumento de pressão determinado por um transdutor de pressão digital (Velki), com precisão de 0,01% e faixa de medida de 0 a 6 bar. Por meio dos dados obtidos da variação da pressão com o tempo, a permeabilidade pôde ser calculada por um programa de ajuste desenvolvido em Matlab (R2016a). As análises utilizando O<sub>2</sub> tiveram duração de 72h, enquanto que as análises de CO<sub>2</sub> duraram 24h (TOSATI, 2013).

### 3.3.7. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

O espectro FTIR dos filmes de nanocompósitos foram obtidos utilizando um espectrofotômetro FTIR (Cary 660 FTIR, Agilent Technologies, Brasil) equipado com Refletância Total Atenuada (*Attenuated Total Reflectance -ATR*), de acordo com método utilizado por Fonseca et al. (2019) com modificações. As análises foram realizadas na região do infravermelho entre 400 e 4000 cm<sup>-1</sup> com 24 leituras e resolução de 4 cm<sup>-1</sup>.

### 3.3.8. Difração de raios-X

As análises foram realizadas no Laboratório LINDEN (UFSC), utilizando-se um difratômetro de raio-X (MiniFlex600 DRX, Rigaku, Japão) equipado com detector de tira de silicone de alta velocidade (radiação  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\lambda_{k\alpha 1} = 1.5406 \text{ \AA}$  and  $\lambda_{k\alpha 2} = 1.5440 \text{ \AA}$ ). O espectro foi gravado a  $25^\circ\text{C}$  entre  $2\Theta = 2^\circ$  e  $70^\circ$  a  $20^\circ/\text{min}$ .

### 3.3.9. Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

As propriedades térmicas dos filmes foram analisadas em um calorímetro (Perkin Elmer Jade®, EUA). As amostras (aproximadamente 10 mg) foram colocadas em painéis de alumínio hermeticamente fechadas e aquecidas à  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , entre  $-30^\circ\text{C}$  à  $180^\circ\text{C}$ , em atmosfera inerte ( $20 \text{ mL}/\text{min}$   $\text{N}_2$ ). Uma panela vazia foi utilizada como referência (FONSECA et al., 2020). Os dados de DSC foram tratados utilizando-se o software Pyris®.

### 3.3.10. Propriedades Mecânicas

Resistência à tração (MPa), alongamento máximo na ruptura (%) e módulo de Young (MPa) dos filmes foram determinados de acordo com as normas ASTM D882-12 (2012), utilizando-se um texturômetro (TA.HD plus, Stable Micro Systems, Reino Unido) equipado com garras fixas. Amostras retangulares (25mm x 50mm) foram fixadas nas garras com separação de 30 mm e movendo-se velocidade de tração de 1mm/s. Foram realizadas onze repetições para cada filme com diferentes concentrações do nanocompósito.

### 3.3.11. Solubilidade em água e desintegração em solo

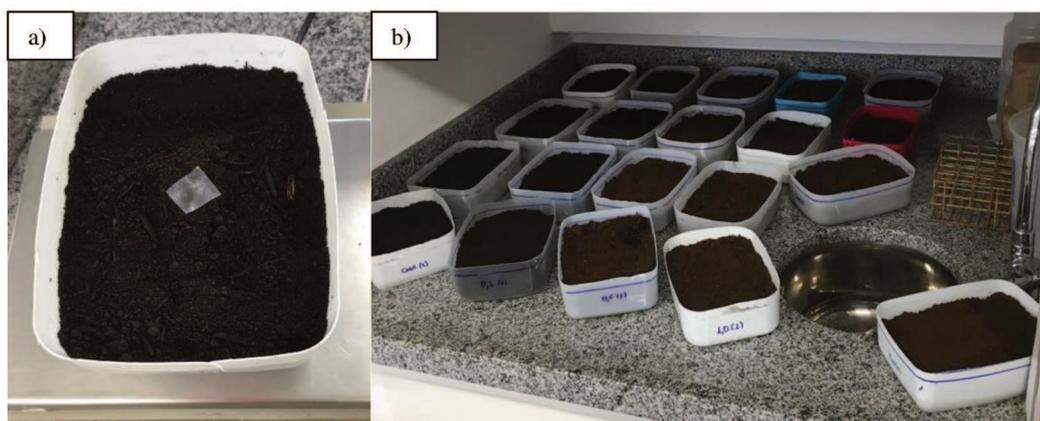
A solubilidade em água foi realizada seguindo-se o método proposto por Blanco-Pascual et al. (2013), no qual amostras de filmes de 40 mm de diâmetro foram secas em estufa com circulação de ar a 105°C por 24h. Em seguida, as amostras foram colocadas em béqueres contendo 50mL de água destilada e acondicionadas a 22°C durante 24h. Após esse período, a solução foi filtrada em papel filtro para recuperar o filme não dissolvido, que foi então seco em estufa a 105°C por 24h. A análise foi realizada em triplicata e a solubilidade foi calculada utilizando-se a Equação 5.

$$S(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \cdot 100 \quad (5)$$

sendo  $M_i$  a massa inicial do filme, expressa em massa seca e  $M_f$  é a massa seca do resíduo de filme não dissolvido em água.

As análises de desintegração em solo foram realizadas com base no método de Jaramillo et al. (2016). Terra adubada foi colocada em potes de polipropileno (10 x 20 x 5 cm) até uma altura de 4 cm. Uma amostra de filme de cada concentração foi pesada e enterrada no solo à uma profundidade de cerca de 1 cm. Os potes plásticos foram mantidos à temperatura ambiente (25°C), conforme ilustrado na Figura 5, e água foi borrifada duas vezes ao dia a fim de manter a umidade. Em diferentes tempos (1, 6, 9 e 12° dia) as amostras foram desenterradas e secas em uma estufa à vácuo a 50°C. Depois disso, elas foram pesadas.

Figura 5- Filmes colocados sobre a terra (a) e seu armazenamento à temperatura ambiente (b).



Fonte: Autor (2020).

### 3.4. TESTES DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi adquirido da Fundação André Tosello (Campinas) em dois tubos de ensaio com ágar inclinado, na forma ativa e com biomassa. A cultura foi armazenada sob refrigeração (2 a 10°C) até seu uso. O meio de cultura *Potato Dextrose Agar* (PDA) (K25-1022, Kasvi) foi utilizado para o crescimento do fungo antes de cada experimento.

#### **3.4.1. Cultivo do *Colletotrichum gloeosporioides* e atividade antifúngica das NPAg *in vitro* e *in vivo***

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Biológica (LiEB, UFSC). Para cada experimento, o fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi cultivado em placas de Petri com o meio PDA durante 14 dias a 24°C, com 12h de fotoperíodo (FURLAN et al., 2010). Após o crescimento as colônias foram raspadas com um rubber e água destilada e então filtradas utilizando-se um funil e gaze esterilizada.

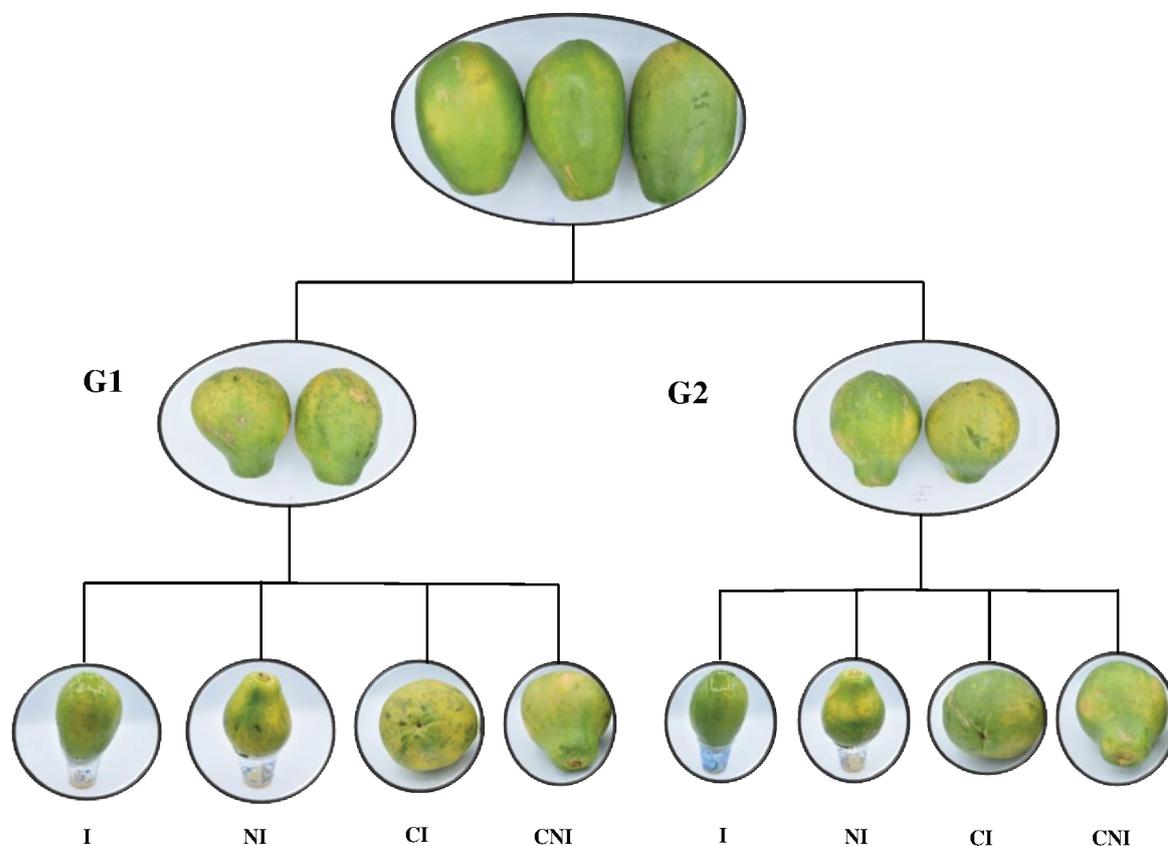
#### **3.4.2. Atividade antifúngica *in vitro* das SFF contendo NPAg**

O teste *in vitro* foi realizado a fim de selecionar a melhor concentração de NPAg para inibir o crescimento de *C. gloeosporioides*. 0,1 mL da suspensão ( $10^6$  esporos/mL) foram distribuídos e espalhados, com uma alça de Drigalski, na superfície de placas de Petri contendo meio PDA. As SFF com diferentes concentrações de NPAg (0,1; 0,25; 0,5 e 1,0 %) foram aplicadas nas placas e espalhadas. Placas de PDA com o fungo inoculado e sem a SFF foram utilizadas como controle. As placas foram encubadas a 24°C por 7 dias (POLTRONIERI; DE AZEVEDO; DA SILVA, 2013).

### 3.5. APLICAÇÃO DAS COBERTURAS ATIVAS EM MAMÃO PAPAYA

Mamões Papaya variedade Golden foram comprados no mercado local em Florianópolis, SC, Brasil. As frutas foram selecionadas de acordo com tamanho, grau de maturação e ausência de danos físicos e separados em dois grupos: sanitizados e não sanitizados, conforme mostrado na Figura 6. O processo de sanitização foi realizado em solução aquosa de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 minutos. Frutas não sanitizadas foram lavadas sob água potável. Em cada grupo haviam quatro diferentes tratamentos: inoculado (I), não-inoculado (NI), controle inoculado (CI) e controle não inoculado (CNI), sendo que o controle corresponde a mamões sem cobertura.

Figura 6- Processo de separação do mamão em grupos: Inoculado (I), Não Inoculado (NI), Controle Inoculado (CI) e Controle Não Inoculado (CNI).



Fonte: Autor (2020).

### 3.5.1. Atividade antifúngica das coberturas

Mamões dos grupos G1 e G2 foram selecionados e feridos superficialmente na parte oposta ao pedúnculo, conforme mostrado na Figura 7, utilizando-se uma espátula, seguido pela inoculação de 10  $\mu\text{L}$  da suspensão de esporos contendo  $1 \times 10^6$  esporos/mL de *C. gloeosporioides* (FAGUNDES et al., 2015). Os mamões inoculados foram incubados à 24°C durante 24h.

Figura 7- Mamão ferido superficialmente na parte oposta ao pedúnculo.



Fonte: Autor (2020).

Depois da incubação, os mamões dos dois grupos foram imersos durante 30 s na SFF contendo 0,25% de NPAg (ver Seção 4.3.), conforme ilustrado na Figura 8. As frutas foram secas durante o armazenamento refrigerado a 10°C.

Figura 8- Mamões inoculados com 10  $\mu$ L de suspensão de esporos imersos na solução de HPMC-NPAg 0,25%.



Fonte: Autor (2020).

Mamões não inoculados foram cobertos seguindo o mesmo procedimento citado anteriormente. As frutas inoculadas e não inoculadas sem cobertura, foram utilizadas como controle. Todas as frutas foram colocadas sobre suportes e armazenadas durante 7 dias a 10°C em uma câmara com controle de umidade relativa (UR) 85-90%, seguido por mais 7 dias a 20°C (85-90% UR), conforme método descrito por Fagundes et al (2015) com modificações.

A incidência da doença foi avaliada visualmente nos dias 2, 4, 7, 10 e 14° e as frutas que mostraram qualquer crescimento micelial foram consideradas deterioradas (FAGUNDES et al., 2015). A severidade da doença foi determinada pela medida do diâmetro da lesão no 7° e 14° dias do período de armazenamento. Os experimentos foram realizados em triplicata.

### 3.6. INFLUÊNCIA DA COBERTURA NA QUALIDADE DA FRUTA

A avaliação da cobertura na qualidade das frutas seguiu o mesmo procedimento de imersão descritos no item 3.5.1. em solução contendo 0,25% de NPAg. As análises de qualidade foram realizadas no dia 0 a temperatura ambiente, no 7° dia a 10°C e no 14° dia a 20°C. As frutas foram avaliadas em análises destrutivas quanto à qualidade da polpa (interna) para o pH, acidez titulável (AT), Sólidos Solúveis Totais (SST) e firmeza e não destrutivas para análises de cor e perda de peso

O pH foi medido utilizando-se um pH-metro (AG 205, Testo, Brasil). AT foi determinada segundo Maringgal (2020). Aproximadamente 40g de polpa de mamão foram homogeneizados em 160mL de água destilada utilizando-se um liquidificador. A mistura foi filtrada sob vácuo e as amostras tituladas com 0,1 mol.L<sup>-1</sup> NaOH, utilizando-se fenoftaleína 1% como indicador até o aparecimento da coloração rosa. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico por 100g de fruta fresca. SST foi medido utilizando-se um refratômetro digital (PAL-BX/RI, Atago, China) e os valores foram expressos em porcentagem (AOAC, 2000). Todas as análises foram realizadas em triplicata para cada grupo e tratamento.

#### 3.6.1. Firmeza

A análise de firmeza foi realizada nos dias 0, 7 e 14 de armazenamento, com o uso de um texturômetro (TAXT2i, Stable Micro System, Reino Unido), calibrado com uma célula de carga de 25kg (SANCHEZ-GONZALEZ et al., 2011).

Uma probe de 2 mm foi utilizada para avaliar a perfuração. A velocidade durante o pré-teste, teste e pós teste foi de  $2 \text{ mm.s}^{-1}$ , com penetração na profundidade de 3 mm durante 10 s (ASMAR et al., 2010). Foram realizadas 3 medidas em diferentes pontos da casca e 4 medidas em pontos diferentes da região da polpa dos mamões. Os resultados foram expressos em Newton (N) e dados pela média entre todas as regiões perfuradas.

### 3.6.2. Análise de cor

A análise de cor da casca do mamão foi feita seguindo o método proposto por Cárdenas-Pérez et al. (2017), com modificações. Os filmes foram colocados em uma câmara com iluminação homogênea e as imagens foram obtidas com uma câmera (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão). As fotos foram tiradas em três regiões diferentes de cada fruta e foram convertidas utilizando-se o *plugin Color Space Converter*, que converte as cores da escala RGB para a escala CIELab. As imagens foram analisadas com o software ImageJ (v. 1.6.0, National Institutes of Health, Bethesda, EUA).  $L^*$  é o índice de luminosidade,  $a^*$  é a coordenada vermelho/verde e  $b^*$  é a coordenada amarelo/azul.

Ao final do 7º dia de armazenamento, retirou-se a cobertura de um fruto de cada grupo sob água corrente, utilizando-se o lado macio de uma esponja. Após 24h, avaliou-se sua coloração.

### 3.6.3. Perda de massa

Mamões não destrutivos de cada grupo foram pesados no primeiro dia (0) e durante o período de armazenamento (7 e 14 dias). A perda de massa ( $PM$ , %) foi calculada utilizando-se a Equação 6:

$$PM (\%) = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

sendo  $m_0$  e  $m_t$  as massas das amostras (g) no tempo de armazenamento inicial e nos dias 7/14 de armazenamento, respectivamente (LICODIEDOFF et al., 2016).

### 3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas de variância (ANOVA) e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) foram realizadas utilizando o software SAS University Edition (versão 6.0.16, SAS®).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARATERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES FORMADORAS DE FILMES (SFF)

Em relação ao pH das SFF, observou-se que este parâmetro diminuiu com o aumento da concentração de NPAg (Tabela 1), devido, provavelmente, ao pH ácido da solução original de NPAg (pH = 2,12).

Tabela 1- pH, viscosidade ( $\mu$ ) e Índice de Polidispersidade (IPD) das SFF soluções formadoras de filmes com diferentes concentrações de nanopartículas de prata (NPAg).

NPAg (%)	pH	$\mu$ (Pa.s)	R <sup>2</sup>	IPD
0	6,74 ± 0,05 <sup>A</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>AB</sup>	0,98	-
0,1	6,51 ± 0,04 <sup>B</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>A</sup>	0,997	0,42 ± 0,03 <sup>A</sup>
0,25	6,27 ± 0,03 <sup>C</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>A</sup>	0,997	0,25 ± 0,02 <sup>BC</sup>
0,5	5,88 ± 0,02 <sup>D</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>AB</sup>	0,997	0,27 ± 0,01 <sup>C</sup>
1,0	5,03 ± 0,03 <sup>E</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>B</sup>	0,998	0,23 ± 0,01 <sup>B</sup>

Todos os valores foram expressos como média ± desvio padrão ( $n = 3$ ).

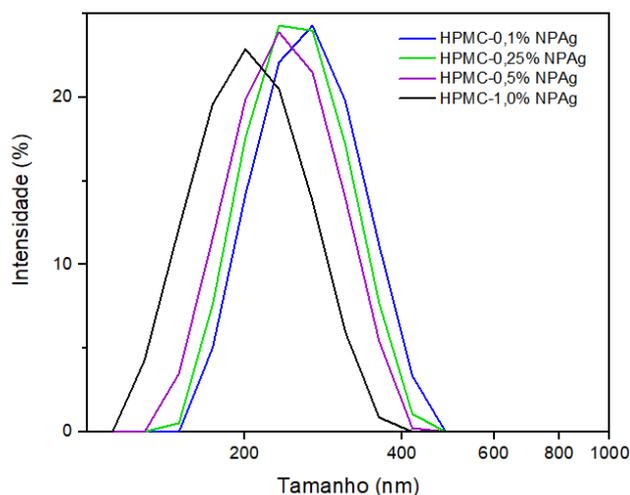
Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas sobrescritas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Fonte: Autor (2020).

No que diz respeito ao tamanho de partícula, observou-se que as SFF contendo diferentes concentrações de NPAg (0,1%, 0,25%, 0,5% e 1,0%) apresentaram uma distribuição monomodal, com tamanho de partícula entre 100 e 500 nm (Figura 9), sendo o índice de polidispersidade (IPD) das soluções afetado pela concentração de NPAg (Tabela 1). Deste modo, SFF contendo 0,1% de NPAg apresentaram maiores valores de IPD (0,416 nm) quando comparadas com outras SFF (valores de IPD entre 0,23 – 0,27). IPD maiores que 0,4 indicam que o sistema tem uma distribuição altamente polidispersa. IPD entre 0,1 e 0,4 sugerem que o sistema pode ser classificado com moderadamente disperso, tendo uma distribuição monomodal (ARDANI et al., 2017). No presente

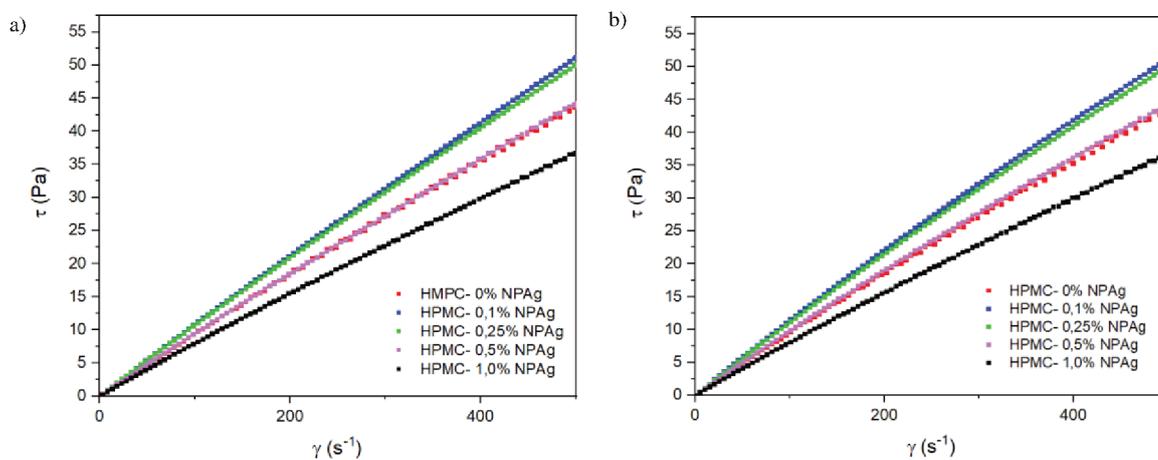
trabalho, a acidificação das SFF pode induzir ligações químicas entre prata e átomos de oxigênio das NPAg e HPMC, respectivamente, reduzindo o IPD das SFF (ver seção 4.2.5).

Figura 9- Distribuição do tamanho de partícula das SFF.



As SFF foram avaliadas com testes de cisalhamento a fim de avaliar a capacidade de espalhamento das soluções. As curvas de fluxo apresentaram um comportamento linear que foi bem ajustado ao modelo da Lei de Newton ( $R^2 \geq 0,997$ ), sendo pouco alterado pela concentração de NPAg (Tabela 1), conforme ilustrado na Figura 10. Além disso, as curvas de fluxo descendentes e ascendentes das SFF apresentaram comportamento similar, sugerindo que esses sistemas são independentes do tempo (CHACUA et al., 2016). Com base nos resultados reológicos, é possível sugerir que as SFF à base de HPMC e NPAg ( $\leq 0,5\%$  NPAg p/p) tenham capacidade de espalhamento similar às soluções puras de HPMC, favorecendo a aplicação de revestimentos na indústria de alimentos (BRAGA et al., 2019; FAGUNDES et al., 2015; FRITZ et al., 2019; SCARTAZZINI et al., 2019).

Figura 10- Curvas de fluxo ascendente (a) e descendente (b).



Fonte: Autor (2020).

Por fim, as SFF apresentaram comportamento não tixotrópico, indicando que as propriedades reológicas desse sistema não são dependentes do tempo. Na literatura, existem controvérsias sobre a existência ou não de histerese em soluções de HPMC. Morell et al. (2015) observou um comportamento tixotrópico em soluções de HPMC-leite, que aumentou com a concentração de HPMC. Por outro lado, Zuidam e Nedovic (2010) afirmam que soluções de HPMC exibem um comportamento não-tixotrópico.

## 4.2. CARATERIZAÇÃO DOS FILMES NANOESTRUTURADOS

### 4.2.1. Análise de cor

Os resultados dos parâmetros de cor para os filmes de HPMC-NPAg (Tabela 2) diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) entre as amostras analisadas, com exceção do parâmetro  $a^*$ , que apresentou diferença significativa apenas para o filme contendo 1,0% de NPAg.

Tabela 2- Análise de cor para os filmes de HPMC-NPAg.

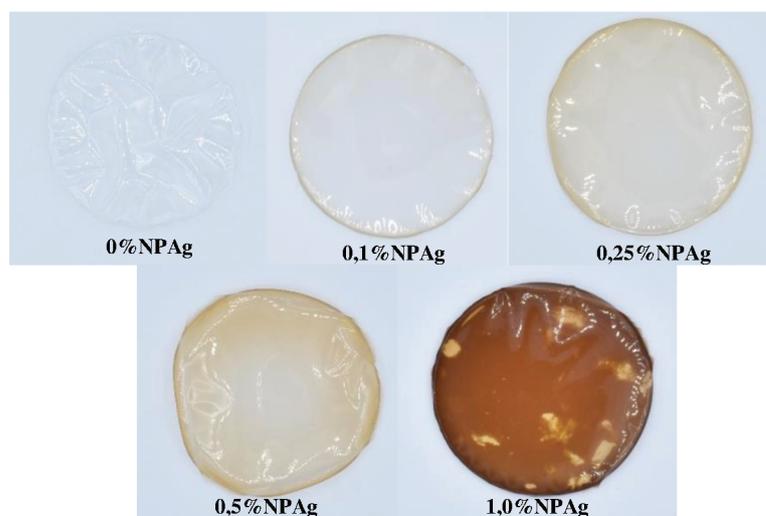
Cor	NPAg (%)				
	0	0,1	0,25	0,5	1,0
L*	87,15±0,15 <sup>a</sup>	85,28±0,32 <sup>b</sup>	84,46±0,31 <sup>bc</sup>	78,12±0,25 <sup>d</sup>	66,02±1,04 <sup>e</sup>
a*	-1,12±0,13 <sup>a</sup>	-1,04±0,29 <sup>a</sup>	-1,03±0,27 <sup>a</sup>	-0,71±0,48 <sup>a</sup>	2,96±0,89 <sup>b</sup>
b*	-8,15±0,25 <sup>a</sup>	-4,72±0,32 <sup>b</sup>	2,77±0,25 <sup>c</sup>	16,01±0,37 <sup>d</sup>	33,80±0,98 <sup>e</sup>
$\Delta E$	17,67±0,17 <sup>a</sup>	15,01±0,29 <sup>b</sup>	13,62±0,15 <sup>c</sup>	28,19±0,15 <sup>d</sup>	46,63±0,88 <sup>e</sup>

Todos os valores foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas de diferentes letras minúsculas sobrescritas diferem significativamente ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Autor (2020).

Os filmes com menores concentrações de NPAg 0,1; 0,25 e 0,5%, apresentaram coloração tendendo ao amarelo e, com o aumento da concentração das nanopartículas, ocorreu mudança de coloração tendendo ao marrom, conforme mostrado na Figura 111. Este resultado pode ser confirmado pelo aumento nos valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ . Observou-se ainda uma diminuição na luminosidade dos filmes, evidenciada pela diminuição do parâmetro  $L^*$ , tornando-se mais opacos em altas concentrações de nanopartículas de prata.

Figura 11- Cor dos filmes de HPMC-NPAg.



Fonte: Autor (2020).

O desenvolvimento de coloração marrom pode ser devido ao efeito *plasmon* ressonante das NPAg, no qual os elétrons das bandas eletrônicas do metal formam um plasma eletrônico que circunda as partículas, podendo ser excitado por luz visível para executar oscilações *plasmon* (BECHTOLD, 2011). Na literatura, é possível encontrar estudos sobre filmes e soluções de NPAg apresentando coloração desde amarela até marrom, variando conforme a concentração utilizada (JIN, 2001; SCHNEID et al., 2015; YADAV; LIU; CHIU, 2019).

#### 4.2.2. Espessura e Morfologia

A espessura dos filmes de HPMC-NPAg foi alterada com a adição de NPAg, observando-se um aumento nesses valores com o aumento da concentração de NPAg, havendo diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a amostra controle e as amostras contendo NPAg (Tabela 3). Este parâmetro pode ser influenciado por diversos fatores, dentre eles a quantidade e tipo de componentes da matriz polimérica e a técnica utilizada (MELO; MOURA; AOUADA, 2016).

Tabela 3 - Análises de caracterização dos filmes de HPMC-NPAg.

<b>NPAg (%)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Ângulo de contato (°)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>	<b>PVA (g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa)</b>
0	0,057 ± 0,025 <sup>C</sup>	36,71 ± 3,68 <sup>B</sup>	25,61 ± 0,28 <sup>C</sup>	0,17 ± 0,03 <sup>A</sup>
0,1	0,064 ± 0,019 <sup>B</sup>	36,59 ± 3,89 <sup>B</sup>	23,07 ± 0,81 <sup>D</sup>	0,16 ± 0,03 <sup>A</sup>
0,25	0,063 ± 0,024 <sup>B</sup>	36,71 ± 5,31 <sup>B</sup>	25,86 ± 0,83 <sup>AC</sup>	0,17 ± 0,07 <sup>A</sup>
0,5	0,075 ± 0,037 <sup>A</sup>	36,76 ± 2,82 <sup>B</sup>	29,24 ± 0,58 <sup>B</sup>	0,20 ± 0,02 <sup>A</sup>
1,0	0,076 ± 0,029 <sup>A</sup>	62,57 ± 5,37 <sup>A</sup>	28,15 ± 1,28 <sup>AB</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>A</sup>

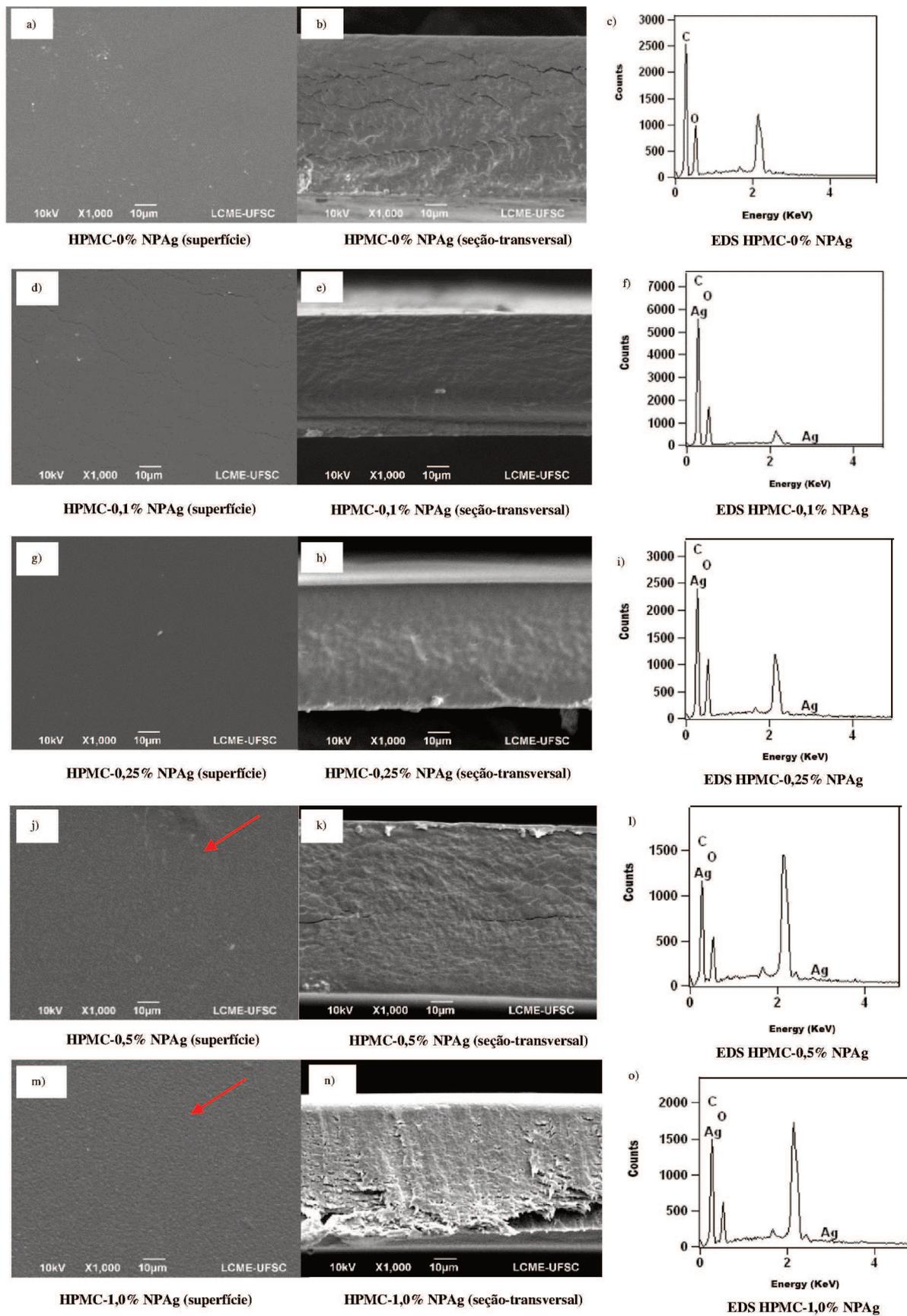
Todos os valores foram expressos como média ± desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas sobrescritas diferem significativamente ( $p < 0.05$ ).

Fonte: Autor (2020).

Arfat et al. (2017) e Roy, Shankar and Rhim (2019) também observaram comportamento similar em filmes de pele de peixe contendo nanopartículas de ouro e prata e filmes de carragena adicionados de NPAg, respectivamente.

As micrografias de MEV obtidas das superfícies e seções transversais dos filmes mostraram que estes materiais apresentaram superfície homogênea, sem separação de fases, indicando que a homogeneização dos componentes foi satisfatoriamente alcançada, conforme ilustrado na Figura 122. Este resultado pode ser devido a ligações químicas entre as cadeias de HPMC e NPAg. Por outro lado, na literatura, nanoargilas, nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e nanocristais de celulose induziram separação de fases em filmes de amido, HPMC e amido/poli (álcool vinílico), respectivamente, como consequência da repulsão eletrostática entre as cadeias poliméricas e as nanopartículas (CANO et al., 2015; FONSECA et al., 2020; VALENCIA et al., 2015)

Figura 12- Micrografia da superfície e seção transversal dos filmes.



Fonte: Autor (2020).

Também foi possível observar nas imagens de superfície (Fig. 12 j e m) e seção transversal (Fig. 12 k e n) uma mudança aparente na rugosidade, conforme a concentração de NPAG foi aumentando, indicando que a incorporação de NPAG na matriz de HPMC gerou o aparecimento de relevos na superfície dos filmes. Resultado similar foi obtido por Fonseca et al. (2019) para filmes de HPMC adicionados de nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. O aparente aumento na rugosidade dos filmes deve-se a formação de aglomerados entre o HPMC e as NPAG durante a secagem do filme.

A análise de EDS evidenciou a presença de sinais de carbono e oxigênio, característicos da estrutura do HPMC, que é um polímero constituído de carbono-hidrogênio-oxigênio (SHI; HUANG, 2016) . Observou-se também que a linha espectral medida para a prata aparece em todos os filmes nos quais as NPAG foram adicionadas, evidenciando sua presença nos filmes

#### **4.2.3. Teor de umidade e Ângulo de contato**

O teor de umidade dos filmes contendo até 0,25% NPAG oscilou entre 23 e 26% (Tabela 3), sendo típicos de filmes de HPMC (FONSECA et al., 2020). Por outro lado, o teor de umidade de filmes contendo 0,5% NPAG aumentou em aproximadamente 14% em comparação ao filme controle. Este resultado está em concordância com os resultados de espessura dos filmes e pode estar associado à formação de aglomerados de HPMC/NPAG estabilizados com moléculas de água. Todavia, o aumento dos valores de umidade não é desejado em materiais de embalagem de alimentos (MATHEW et al., 2019).

Os valores de ângulo de contato para os filmes de HPMC-NPAG ficaram por volta de  $36,71 \pm 5,31^\circ$ , sem efeito da adição das NPAG ( $p > 0,05$ ), indicando que o caráter fortemente higroscópico do HPMC e glicerol controlaram este parâmetro (VALENCIA et al., 2016). Todos os filmes apresentaram superfícies hidrofílicas (ângulo de contato  $< 90^\circ$ ) e são adequados para serem aplicados em produtos alimentícios com teor de umidade intermediário e baixo (JUNG; BHUSHAN, 2006; VALENCIA et al., 2019)

#### **4.2.4. Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA), oxigênio (O<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Os valores de PVA dos filmes de HPMC-NPAG oscilaram entre 0,16 e 0,20 g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa, sem efeito da adição de NPAG ( $p > 0,05$ ). Portanto, a natureza higroscópica do HPMC e do glicerol foi a responsável por controlar a PVA através dos filmes. Estes resultados foram típicos de materiais que contém HPMC em sua composição (FONSECA et al., 2020) e comparáveis aos valores de PVA informados em filmes de nanoestruturas baseados em amido de milho e NPAG (ORTEGA et al., 2017), podendo desta forma ser considerado um material com futuras aplicações em embalagens de alimentos.

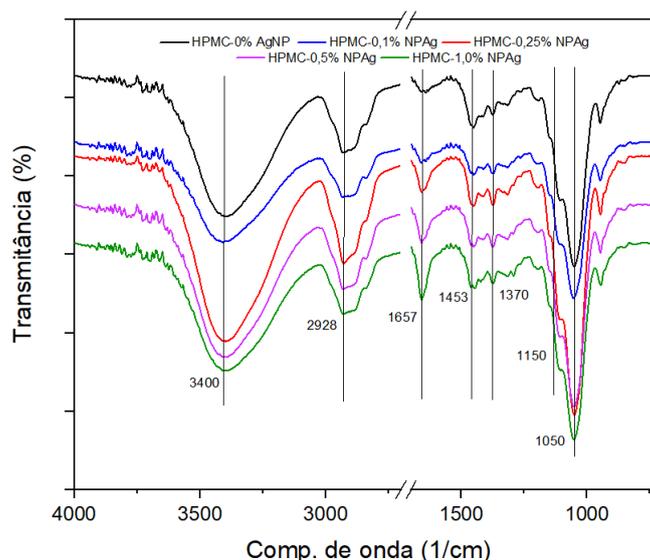
Outras propriedades físico químicas pouco impactadas pelas NPAG foram as permeabilidades ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, que oscilaram entre  $2,31 \cdot 10^{-11}$  e  $2,76 \cdot 10^{-11}$  mol.μm/m<sup>2</sup>.s.Pa e entre  $2,49 \cdot 10^{-10}$  e  $4,12 \times 10^{-10}$  g.μm/m<sup>2</sup>.s.Pa, respectivamente. As permeabilidades ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> foram típicas de filmes de HPMC plastificados com glicerol (SILVA et al., 2019). Em geral, os filmes tiveram permeabilidade ao CO<sub>2</sub> dez vezes maior do que a permeabilidade ao O<sub>2</sub>, podendo este comportamento ser associado ao maior coeficiente de solubilidade do CO<sub>2</sub>, fazendo com que dissolva-se mais facilmente na matriz hidrofílica formada nos filmes (MUJICA-PAZ; GONTARD, 1997). Os resultados de barreira a gases obtidos neste trabalho para os filmes de HPMC-NPAG foram similares aos informados em coberturas aplicadas para o armazenamento de frutas durante sua vida pós colheita (FAGUNDES et al., 2014; TOSATI et al., 2015).

#### 4.2.5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios X (DRX)

O espectro FTIR do filme à base de HPMC apresentou diversas bandas típicas da estrutura de HPMC e glicerol (Figura 13). Observou-se alongamento dos grupos O-H ( $3400\text{ cm}^{-1}$ ), relacionado às ligações de hidrogênio intermoleculares do HPMC e glicerol (SAHOO; CHAKRABORTI; BEHERA, 2012) e alongamento das ligações C-H ( $2928\text{ cm}^{-1}$  e  $1370\text{ cm}^{-1}$ ) devido à presença dos grupos CH e CH<sub>2</sub> da celulose (KADAM et al., 2019; RIBEIRO et al., 2016). Bandas na região entre  $1200$  e  $900\text{ cm}^{-1}$  foram associadas à vibração das ligações C-O, C-C e C-O-H das cadeias de HPMC (FONSECA et al., 2020; SUEIRO et al., 2016).

A mudança mais notável no espectro FTIR dos filmes de HPMC com a adição de NPAg foi o aumento da intensidade no pico de  $1657\text{ cm}^{-1}$ , associado à vibração de alongamento da ligação Ag-O (KUMAR; RANI, 2013). Este resultado sugere que os átomos de prata das NPAg podem formar ligações químicas com os átomos de oxigênio do HPMC.

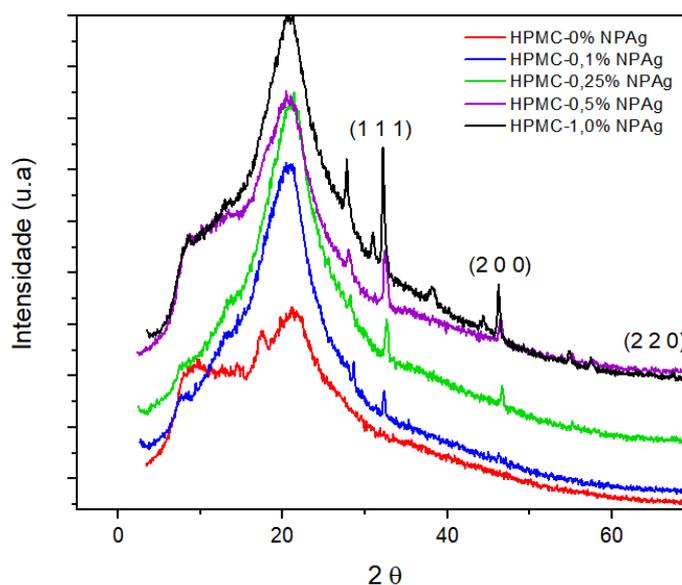
Figura 13- Espectro FTIR dos filmes de HPMC-NPAg.



Fonte: Autor (2020).

Os filmes à base de HPMC apresentaram difratograma típico de material semicristalino (Figura 14), sendo observado um pico em  $2\Theta = 9,5^\circ$ , associado ao empacotamento lateral intermolecular entre as cadeias de HPMC e uma banda em  $2\Theta=21,4^\circ$ , atribuída à dispersão difusa das fibras de HPMC (FONSECA et al., 2020; ROTTA; MINATTI; BARRETO, 2011; VIJAYASHREE; SHESHAPPA RAI; DEMAPPA, 2016). O pico observado previamente em  $2\Theta = 9,5^\circ$  deslocou-se para a esquerda nos filmes com adição de NPAg. Além disso, notou-se um aumento de intensidade na banda  $2\Theta=21,4^\circ$ , bem como novos picos de difração em  $2\Theta = 32,2^\circ$  e  $46,8^\circ$  com a adição de NPAg. Esses picos ( $2\Theta = 32,2^\circ$  e  $46,8^\circ$ ) são característicos da estrutura cúbica de face centrada (CFC) da prata metálica (International Centre for Diffraction Data- ICDD).

Figura 14- Difratogramas de DRX dos filmes de HPMC-NPAg.



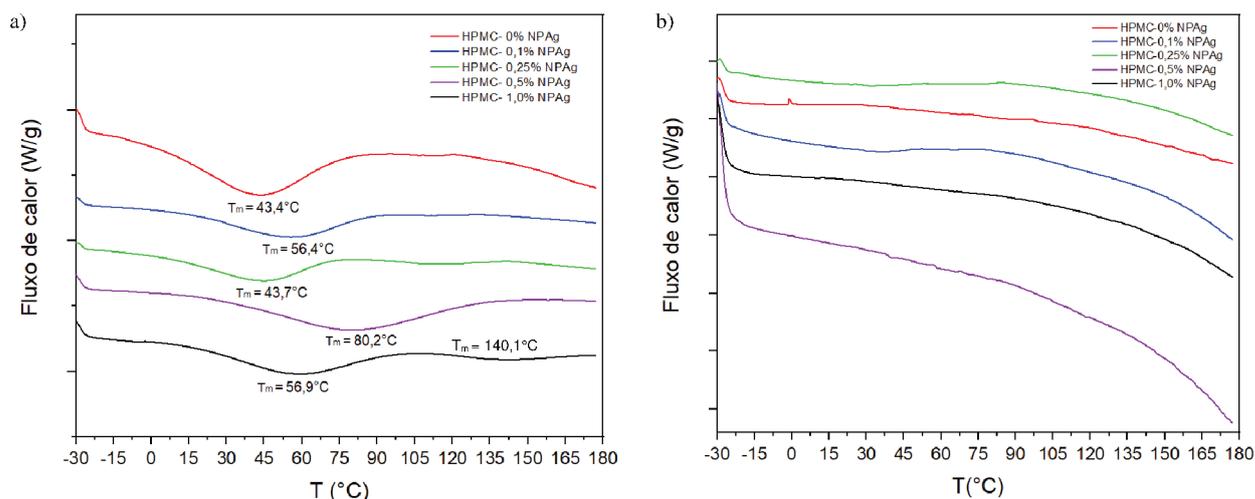
Fonte: Autor (2020).

Os resultados de FTIR e DRX demonstraram que a estrutura dos filmes de HPMC foi modificada com a adição de NPAg, alterando o empacotamento lateral intermolecular entre as cadeias de HPMC por meio de ligações Ag-O.

#### 4.2.6. Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

A análise térmica dos filmes de HPMC-NPAg mostrou, na primeira varredura, curvas relacionadas a materiais semi-cristalinos, tendo transições endotérmicas de primeira ordem relacionadas à fusão da fração cristalina ( $T_m$ ), podendo ser vistas na Figura 15a. Os filmes controle e filmes contendo 0,1 e 0,25% de NPAg mostraram valores de  $T_m$  oscilando entre 43,4 e 56,4°C, sem alterações relevantes. Por outro lado, maiores valores de  $T_m$  foram observados nos filmes contendo 0,5% de NPAg, sugerindo a formação de uma estrutura cristalina mais estável entre HPMC e NPAg.

Figura 15- Termogramas referentes ao primeiro (a) e segundo (b) ciclos de aquecimento dos filmes de HPMC-NPAg.



Fonte: Autor (2020).

Na segunda varredura, as curvas de DSC dos filmes foram típicas de filmes amorfos (Figura 15b), portanto não foi possível visualizar a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). A água, juntamente com o glicerol, age como plastificante, mudando a estrutura física dos filmes através da diminuição das forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas, aumentando sua mobilidade e resultando em menores valores de  $T_g$  ( $T_g < -50$  °C) (TREENATE; MONVISADE; YAMAGUCHI, 2015).

#### 4.2.7. Propriedades mecânicas

De modo geral, as propriedades mecânicas dos filmes não tiveram diferenças significativas com a adição de NPAG ( $p > 0,05$ ). Os valores de módulo de Young ( $E$ ), alongamento na ruptura ( $\epsilon$ ) e máxima resistência à tração ( $\sigma$ ) oscilaram entre  $5,1 \cdot 10^4$  e  $6,8 \cdot 10^4$  MPa, 21,7 e 26,9 MPa e 21,4 e 35,2 %, respectivamente. Estes resultados sugerem que as propriedades de rigidez e resistência do HPMC foram mais substanciais do que as propriedades mecânicas das NPAG nos filmes. No presente trabalho, as propriedades mecânicas dos filmes são comparáveis às informadas para filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) (BUMBUDSANPHAROKE; LEE; KO, 2018), no entanto, elas foram melhores do que as informadas em filmes de colágeno e gelatina adicionados de nanoargilas e nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (FONSECA et al., 2020; VALENCIA et al., 2016, 2019).

#### 4.2.8. Solubilidade em água e teste de desintegração

A solubilidade em água é um parâmetro importante na degradabilidade de filmes poliméricos. Para os filmes contendo NPAG, foi possível observar a dissolução rápida destes no tempo aproximado de 2 h a  $22^\circ\text{C}$ . Todos os filmes de HPMC-NPAG apresentaram 100% de solubilidade em água, não havendo influência da adição das nanopartículas sobre esta propriedade. Esta alta solubilização deve-se ao caráter altamente polar do HPMC, que confere alta hidrofiliabilidade aos filmes (ROTTA et al., 2009). Na literatura, resultados similares são encontrados para o HPMC. Sousa (2016) obteve solubilidade de 99% enquanto que Rotta et al. (2009) observaram a total solubilidade em água para filmes produzidos com HPMC puro e, quando adicionados de quitosana, houve redução da solubilidade em água. Quanto à adição de NPAG, não tem-se dados na literatura sobre a solubilidade em água para filmes de HPMC adicionados destes nanocompósitos, no entanto, estudos realizados com filmes de Carboximetilcelulose-NPAG (FURLANETTO, 2014) mostraram que a adição das nanopartículas diminuiu significativamente a solubilidade dos filmes, devido à redução das interações entre o polímero e as moléculas de água.

A desintegração, assim como a solubilidade, foi rápida para os filmes com e sem NPAg. Após 24h sob terra, não foi possível encontrar os filmes para desenterrar, uma vez que todos já haviam se degradado. Sendo assim, o teste já foi encerrado no dia 1 e os filmes de HPMC-NPAg foram considerados 100% biodegradáveis. O HPMC, por si só, é um material renovável, biocompatível e biodegradável (SILVA et al., 2019). Não há, no entanto, estudos sobre a degradabilidade deste material quando na forma de filmes, bem como sobre o efeito das NPAg na biodegradabilidade desta matriz.

#### 4.3. ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM *COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDES*

A atividade antifúngica foi determinada após o período de incubação. Após esse período, as placas controle, que continham apenas o patógeno inoculado, sem a SFF de NPAg, mostraram a presença do fungo *C. gloeosporioides*, caracterizado pela presença de colônias da cor salmão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.6a**). De todas as diferentes concentrações de NPAg avaliadas (0,1; 0,25, 0,5% e 1,0 %), observou-se que soluções contendo NPAg  $\geq 0,25$  % apresentaram atividade antifúngica (**Erro! Fonte de referência não encontrada.6b**). Assim, a concentração de 0,25 % de NPAg foi a menor concentração na qual houve inibição no crescimento do *C. gloeosporioides*. Esta concentração de NPAg foi escolhida para ser aplicada aos mamões.

Figura 16- Placas sem (a, b, c) e com (d,e) a SFF de HPMC-0,25% NPAg.



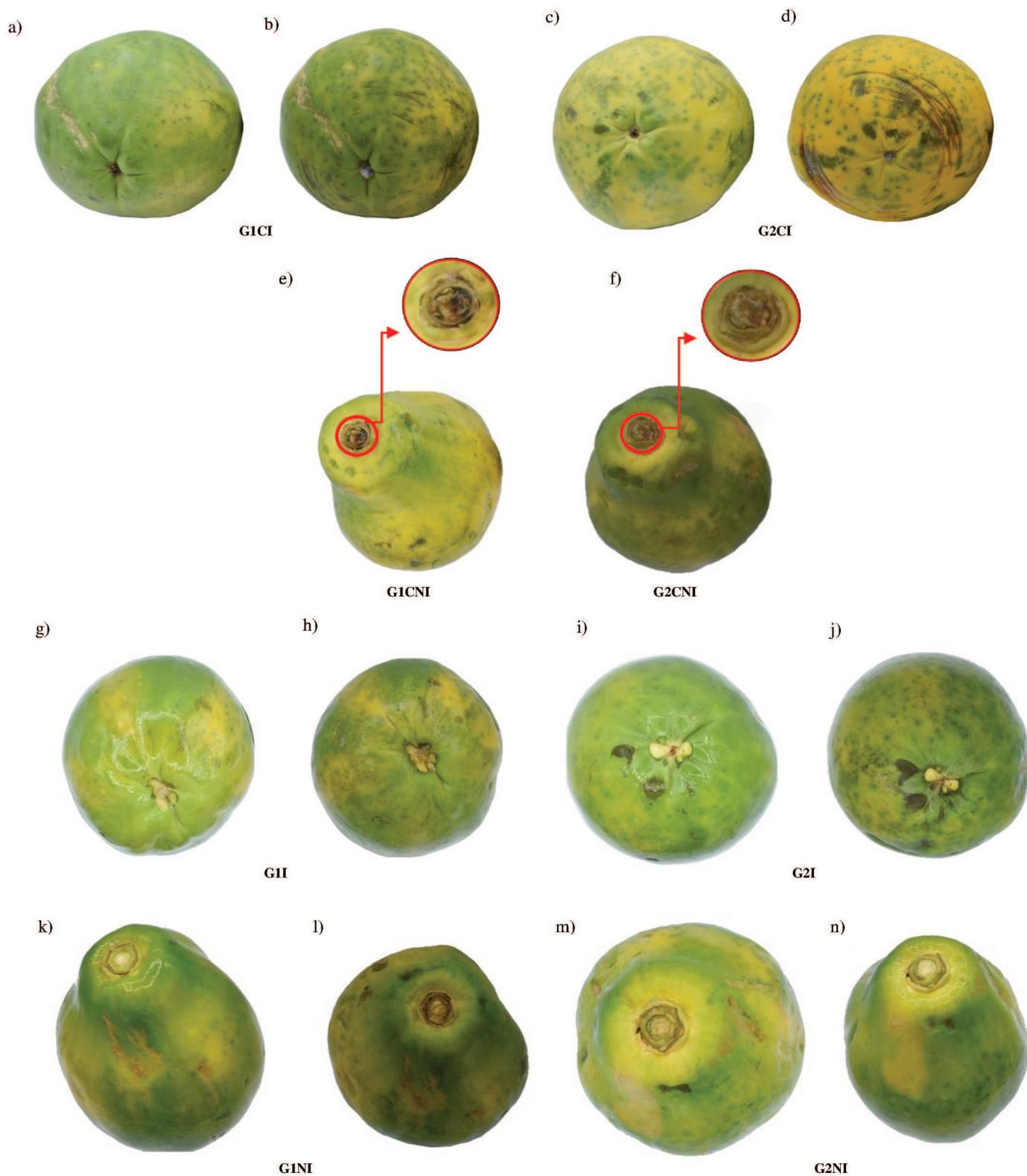
Fonte: Autor (2020).

#### 4.4. EFEITO ANTIFÚNGICO DAS COBERTURAS CONTENDO NPAg

Mamões G1CNI mostraram a presença de *C.gloeosporioides* na região do pedúnculo após 7 dias (a 10°C, Fig 17 e) e mamões do G2CNI após 10 dias (a 20°C, Fig 17f) de armazenamento, respectivamente. Mamões dos grupos G1CI e G2CI apresentaram o crescimento do fungo após 10 dias de armazenamento à 20°C (Figura 17 b,d).

Os frutos dos grupos G1 e G2 (I, NI, ver seção 3.5) não mostraram incidência da doença (0%) após 14 dias de armazenamento (Figura 17 h,j,l,n), sugerindo que a cobertura de HPMC-0,25%NPAg foi efetiva para inibir e prevenir o desenvolvimento do patógeno.

Figura 17- Crescimento do fungo *C.gloeosporioides* nos mamões no dia 0 (a, c, g, i, k e m), dia 7 (e), dia 10 (b, d, f) e dia 14 (h, j, l e n)



#### 4.5. INFLUÊNCIA DA COBERTURA NA QUALIDADE PÓS COLHEITA DOS FRUTOS

Os valores de pH da polpa dos mamões analisados, não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos. Houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), no entanto, dentre os dias de armazenamento (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4). Além disso, os resultados de Acidez Titulável (AT) mostraram um aumento com o tempo de armazenamento, sendo atribuídos às reações de amadurecimento e senescência, típicas de frutos climatéricos como o mamão (TRIGO et al., 2012). O conteúdo de Sólidos Solúveis Totais (SST) das frutas aumentou com o tempo de armazenamento e amadurecimento das frutas, variando entre 9,33 e 11,33 °Brix. Este aumento pode ser atribuído à hidrólise do amido à açúcar, com o avanço da maturação (ZUHAIR et al., 2013). Na presente pesquisa, os resultados de SST estão em concordância com os informados na literatura para mamões Golden em diferentes estágios de maturação (PÊ et al., 2015; ZUHAIR et al., 2013).

Tabela 4- Influência da cobertura à base de HPMC com e sem adição de NPAg na polpa de mamão papaya cv Golden.

Análise	Dias	Tratamentos							
		G1CNI*	G1CI**	G1NI***	G1I****	G2CNI	G2CI	G2NI	G2I
pH	0	5.55±0.01 <sup>Aa</sup>	5.53±0.02 <sup>Aa</sup>	5.62±0.01 <sup>Aab</sup>	5.59±0.01 <sup>Aa</sup>	5.48±0.06 <sup>Ac</sup>	5.46±0.02 <sup>Ac</sup>	5.68±0.02 <sup>Ab</sup>	5.59±0.01 <sup>Aa</sup>
	7	5.51±0.01 <sup>Ba</sup>	5.50±0.03 <sup>Ba</sup>	5.41±0.02 <sup>Bb</sup>	5.51±0.1 <sup>ABc</sup>	5.39±0.02 <sup>Bb</sup>	5.37±0.01 <sup>Bb</sup>	5.58±0.01 <sup>Bd</sup>	5.49±0.02 <sup>Ba</sup>
	14	5.34±0.02 <sup>Cab</sup>	5.32±0.01 <sup>Cab</sup>	5.51±0.01 <sup>Ca</sup>	5.41±0.01 <sup>Ca</sup>	5.18±0.02 <sup>Cb</sup>	5.20±0.03 <sup>Cb</sup>	5.45±0.03 <sup>Ca</sup>	5.43±0.03 <sup>Ca</sup>
AT (g ácido cítrico/100 g polpa)	0	0.054±0.01 <sup>Aa</sup>	0.052±0.02 <sup>Aa</sup>	0.064±0.01 <sup>Ab</sup>	0.068±0.01 <sup>Ac</sup>	0.055±0.01 <sup>Aa</sup>	0.053±0.02 <sup>Aa</sup>	0.071±0.01 <sup>Ad</sup>	0.067±0.01 <sup>Abc</sup>
	7	0.067±0.01 <sup>Bac</sup>	0.065±0.01 <sup>Bac</sup>	0.075±0.01 <sup>Bb</sup>	0.072±0.03 <sup>ABc</sup>	0.073±0.02 <sup>Bab</sup>	0.067±0.01 <sup>Bac</sup>	0.076±0.01 <sup>Ab</sup>	0.066±0.02 <sup>Ac</sup>
	14	0.089±0.01 <sup>Ca</sup>	0.091±0.02 <sup>Ca</sup>	0.081±0.02 <sup>Ca</sup>	0.101±0.01 <sup>Bb</sup>	0.090±0.01 <sup>Ca</sup>	0.089±0.01 <sup>Ca</sup>	0.102±0.01 <sup>Bb</sup>	0.111±0.01 <sup>Bb</sup>
SST (°Brix)	0	9.33±0.21 <sup>Aa</sup>	9.60±0.19 <sup>Aa</sup>	9.83±0.06 <sup>Aa</sup>	9.60±0.26 <sup>Aa</sup>	9.33±0.47 <sup>Aa</sup>	9.61±0.23 <sup>Aa</sup>	9.63±0.21 <sup>Aa</sup>	9.87±0.06 <sup>Aa</sup>
	7	12.70±0.36 <sup>Bab</sup>	12.89±0.12 <sup>Ba</sup>	12.67±0.21 <sup>Bab</sup>	12.77±0.25 <sup>Ba</sup>	12.07±0.06 <sup>Bb</sup>	12.72±0.35 <sup>Bab</sup>	12.93±0.11 <sup>Ba</sup>	12.70±0.35 <sup>Bab</sup>
	14	13.57±0.60 <sup>Ca</sup>	13.62±0.25 <sup>Ca</sup>	13.33±0.25 <sup>Ca</sup>	13.90±0.036 <sup>Ca</sup>	13.77±0.11 <sup>Ca</sup>	13.71±0.24 <sup>Ca</sup>	13.67±0.58 <sup>Ca</sup>	13.70±0.10 <sup>Ca</sup>
Perda de massa (%)	0	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>	0±0 <sup>Aa</sup>
	7	4.01±0.02 <sup>Ba</sup>	3.53±0.02 <sup>Ba</sup>	3.25±1.08 <sup>Ba</sup>	2.61±0.48 <sup>Ba</sup>	3.50±0.03 <sup>Ba</sup>	3.58±0.25 <sup>Ba</sup>	2.74±0.72 <sup>Ba</sup>	2.63±0.36 <sup>Ba</sup>
	14	4.03±0.48 <sup>Ba</sup>	4.05±0.05 <sup>Ba</sup>	3.89±0.74 <sup>Ba</sup>	3.41±0.06 <sup>Ba</sup>	4.03±0.34 <sup>Ba</sup>	4.04±0.03 <sup>Ba</sup>	3.50±0.95 <sup>Ba</sup>	3.20±0.06 <sup>Ca</sup>
Firmeza da polpa (N)	0	1.56±0.49 <sup>Aa</sup>	1.61±0.57 <sup>Aa</sup>	1.49±0.77 <sup>Aa</sup>	1.27±0.41 <sup>Aa</sup>	1.55±0.45 <sup>Aa</sup>	1.51±0.40 <sup>Aa</sup>	1.41±0.59 <sup>Aa</sup>	1.38±0.56 <sup>Aa</sup>
	7	0.72±0.11 <sup>Babc</sup>	0.84±0.07 <sup>Babc</sup>	0.55±2.88 <sup>Bc</sup>	0.61±0.16 <sup>Bac</sup>	1.12±0.27 <sup>ABb</sup>	0.92±0.18 <sup>Babc</sup>	1.01±0.30 <sup>ABab</sup>	0.62±0.11 <sup>Bac</sup>
	14	0.31±0.13 <sup>Ba</sup>	0.41±0.13 <sup>Bab</sup>	0.30±6.12 <sup>Ba</sup>	0.51±0.18 <sup>Bab</sup>	0.82±0.28 <sup>Bb</sup>	0.50±0.17 <sup>Bab</sup>	0.50±0.17 <sup>Bab</sup>	0.60±0.28 <sup>Bab</sup>
Firmeza da casca (N)	0	16.01±2.53 <sup>Aa</sup>	15.51±2.06 <sup>Aa</sup>	13.12±5.87 <sup>Aab</sup>	10.99±1.09 <sup>Aa</sup>	10.98±0.65 <sup>Aa</sup>	11.37±0.39 <sup>Aa</sup>	10.43±0.65 <sup>Aa</sup>	10.67±0.30 <sup>Aa</sup>
	7	11.01±2.62 <sup>ABab</sup>	10.13±0.74 <sup>Bab</sup>	11.47±2.20 <sup>Bb</sup>	8.45±1.21 <sup>Ba</sup>	9.05±0.57 <sup>Bab</sup>	9.38±0.67 <sup>Bab</sup>	8.86±0.51 <sup>Bab</sup>	9.38±0.19 <sup>Bab</sup>
	14	6.10±2.53 <sup>Ba</sup>	6.16±1.79 <sup>Ca</sup>	7.26±3.50 <sup>Ba</sup>	6.24±0.74 <sup>Ca</sup>	6.22±0.86 <sup>Ca</sup>	6.66±0.71 <sup>Ca</sup>	6.31±0.60 <sup>Ca</sup>	6.78±0.34 <sup>Ca</sup>

Os valores foram expressos como média ± desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas sobrescritas, para a mesma análise, diferem significativamente ( $p < 0.05$ ). Médias na mesma linha seguidas de diferentes letras minúsculas sobrescritas, diferem significativamente ( $p < 0.05$ ). Armazenamento 7 d/10°C +7 d/20°C \*CNI: Controle Não Inoculado; \*\*CI: Controle Inoculado; \*\*\*NI: Não Inoculado; \*\*\*\*I: Inoculado Fonte: Autor (2020)

#### 4.6. PERDA DE MASSA

A perda de massa não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os dias 7 e 14 de armazenamento para todos os tratamentos, com exceção do G2I (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4). Frutos controle (CNI e CI dos grupos G1 e G2) registraram as maiores perdas de massa, variando entre 3,50 e 4,01% e entre 4,03 e 4,05% após 7 e 14 dias de armazenamento, respectivamente. Por outro lado, frutos cobertos (I e NI, dos grupos G1 e G2) apresentaram valores de perda de massa oscilando entre 2,61 e 3,25% e entre 3,41 e 3,89% após 7 e 14 dias de armazenamento, respectivamente. A menor perda de massa apresentada pelos frutos cobertos pode ser explicada pela redução da transpiração nesses frutos devido à presença da SFF (REBOUÇAS et al., 2013).

#### 4.7. COR

Os resultados da análise de cor são mostrados na Tabela 5. Foi observado que a coordenada  $L^*$  e a coordenada  $a^*$  diminuíram para todos os mamões e seus tratamentos em comparação com o dia inicial de análise (dia 0), indicando o amadurecimento das frutas. Particularmente, frutas cobertas mostraram menores valores de  $L^*$ , podendo ser devido à leve coloração marrom das SFF (TRIGO et al., 2012). Por outro lado, os valores de  $b^*$ , que representam a tendência à cor amarela, aumentaram com o tempo de armazenamento para os mamões controle (CNI e CI dos grupos G1 e G2), indicando seu amadurecimento. No entanto, valores de  $b^*$  para mamões cobertos permaneceram constantes durante o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ), sugerindo que a cobertura impediu a mudança de cor na casca das frutas. Apesar de não ter havido mudança de cor, os mamões amadureceram, conforme mostrado pelos testes discutidos na seção 4.5

Tabela 5- Influência da cobertura à base de HPMC com e sem adição de NPAg na cor de mamão papaya cv Golden.

Tratamento	Cor	Dias de armazenamento					
		0	2	4	7	10	14
G1 CNI	L*	73,90±2,54 <sup>Aab</sup>	75.31±2.91 <sup>Ab</sup>	74.31±3.68 <sup>Aab</sup>	71.88±4.76 <sup>Aab</sup>	68.01±5.54 <sup>Aa</sup>	70.11±4.22 <sup>Aab</sup>
	a*	-16,40±4,64 <sup>Aa</sup>	-13.37±5.23 <sup>Aab</sup>	-12.83±5.38 <sup>Aab</sup>	-11.14±4.97 <sup>Aab</sup>	-9.89±4.70 <sup>Aab</sup>	-6.61±5.47 <sup>Ab</sup>
	b*	46,57±3,84 <sup>ABa</sup>	56.18±4.28 <sup>Aab</sup>	58.64±6.02 <sup>Ab</sup>	57.74±6.37 <sup>Ab</sup>	60.02±6.02 <sup>Ab</sup>	59.14±6.83 <sup>Ab</sup>
G1 CI	L*	73,01±1,75 <sup>Aab</sup>	74.38±2.49 <sup>Ab</sup>	72.44±2.38 <sup>Aab</sup>	71.70±3.77 <sup>Aab</sup>	67.66±5.07 <sup>Aa</sup>	69.22±4.50 <sup>Aab</sup>
	a*	-15,83±3,67 <sup>Aa</sup>	-11.06±0.94 <sup>Aab</sup>	-10.33±1.72 <sup>Ab</sup>	-8.91±2.06 <sup>Ab</sup>	-8.50±2.89 <sup>Ab</sup>	-6.77±2.87 <sup>Ab</sup>
	b*	47,11±3,37 <sup>ABa</sup>	56.33±3.10 <sup>Ab</sup>	58.82±5.31 <sup>Ab</sup>	58.27±5.51 <sup>Ab</sup>	60.02±6.10 <sup>Ab</sup>	60.68±4.75 <sup>Ab</sup>
G1 NI	L*	57,09±5,25 <sup>BCab</sup>	57.56±6.86 <sup>Bb</sup>	58.79±5.74 <sup>Bb</sup>	50.41±5.86 <sup>BCabc</sup>	47.84±6.40 <sup>BCac</sup>	47.15±5.44 <sup>Bcc</sup>
	a*	-18,22±3,34 <sup>ABa</sup>	-17.99±3.78 <sup>ABa</sup>	-16.56±3.18 <sup>ABa</sup>	-15.28±3.27 <sup>ABa</sup>	-14.57±3.04 <sup>Aa</sup>	-13.40±6.08 <sup>ABa</sup>
	b*	50,90±5,76 <sup>ABa</sup>	47.89±6.42 <sup>ABa</sup>	53.07±5.74 <sup>ABa</sup>	47.72±5.44 <sup>ABCa</sup>	46.90±5.58 <sup>BCDa</sup>	45.51±5.49 <sup>BCDa</sup>
G1 I	L*	49,91±4,64 <sup>BDa</sup>	48.19±5.33 <sup>Cab</sup>	52.13±4.91 <sup>BCa</sup>	41.88±5.67 <sup>BDac</sup>	38.13±4.34 <sup>BDc</sup>	38.21±4.78 <sup>BDc</sup>
	a*	-20,40±3,69 <sup>ABa</sup>	-18.49±3.89 <sup>ABa</sup>	-19.23±4.36 <sup>ABa</sup>	-17.86±3.48 <sup>Ba</sup>	-16.20±3.55 <sup>Aa</sup>	-15.77±3.53 <sup>Aa</sup>
	b*	45,18±3,52 <sup>ABa</sup>	42.76±5.35 <sup>Ba</sup>	45.20±2.31 <sup>Ba</sup>	42.30±4.25 <sup>BCa</sup>	40.80±4.37 <sup>CDa</sup>	40.14±4.68 <sup>CDa</sup>
G2 CNI	L*	73,75±2,60 <sup>Aa</sup>	74.85±3.70 <sup>Aa</sup>	75.19±3.44 <sup>Aa</sup>	68.17±5.73 <sup>Aa</sup>	66.41±6.78 <sup>Aa</sup>	68.86±6.54 <sup>Aa</sup>
	a*	-20,79±4,78 <sup>ABa</sup>	-19.49±6.54 <sup>ABa</sup>	-19.50±7.49 <sup>ABa</sup>	-17.62±6.05 <sup>Ba</sup>	-16.21±6.98 <sup>Aa</sup>	-11.73±6.82 <sup>ABa</sup>
	b*	45,87±4,33 <sup>ABa</sup>	54.84±3.86 <sup>Aa</sup>	55.28±5.83 <sup>Aa</sup>	52.86±6.45 <sup>ABa</sup>	52.09±6.15 <sup>ABa</sup>	55.03±6.59 <sup>ABa</sup>
G2 CI	L*	72,89±2,15 <sup>Aa</sup>	72.56±1.61 <sup>Aa</sup>	71.70±0.96 <sup>Aab</sup>	67.52±3.01 <sup>Abc</sup>	66.02±3.33 <sup>Ac</sup>	63.87±4.22 <sup>Ac</sup>
	a*	-21,79±2,60 <sup>ABa</sup>	-20.34±4.27 <sup>ABa</sup>	-18.96±4.96 <sup>Aa</sup>	-17.01±6.38 <sup>Ba</sup>	-16.15±6.32 <sup>Aa</sup>	-13.26±6.39 <sup>ABa</sup>
	b*	46,72±4,43 <sup>ABa</sup>	50.99±3.32 <sup>Aab</sup>	54.79±5.05 <sup>Aab</sup>	55.67±5.31 <sup>ABb</sup>	55.81±5.17 <sup>ABb</sup>	57.55±6.59 <sup>ABb</sup>

Todos os valores foram expressos como média ± desvio padrão.

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas sobrescritas, para a mesma análise, diferem significativamente ( $p < 0.05$ ). Médias na mesma linha seguidas de diferentes letras minúsculas sobrescritas, diferem significativamente ( $p < 0.05$ ).

Fonte: Autor (2020).

No que diz respeito à mudança de cor em cada mamão que a cobertura foi removida previamente, observou-se um aumento nos valores de  $b^*$  em aproximadamente 2 unidades, indicando que a fisiologia do mamão relacionada foi ativada após a remoção da cobertura. Este comportamento é desejado nos revestimentos de alimentos uma vez que é um material que pode ser utilizado para prolongar a vida pós colheita sem modificar a fisiologia da fruta (FRITZ et al., 2019).

#### 4.8. FIRMEZA

A firmeza da polpa e casca dos mamões diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) durante o tempo de armazenamento para todos os tratamentos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4). Os valores de firmeza para os mamões no primeiro dia de armazenamento foram típicos de frutas nos estágios iniciais de maturação (BRON; JACOMINO, 2006). O amadurecimento de frutas está relacionado a mudanças em sua textura, associadas ao amolecimento. Durante o amadurecimento, ocorrem modificações na pectina e hemicelulose da parede celular, com o aumento da solubilização das pectinas e a perda da firmeza dos tecidos ao longo deste processo (GHAI; GUPTA; GUPTA, 2016). Com base nos resultados de firmeza, é possível sugerir que a SFF contendo 0,25% de NPAg não alterou o amadurecimento dos mamões durante o armazenamento.

## 5. CONCLUSÃO

No presente trabalho, soluções formadoras de filme (SFF) e filmes de nanocompósito à base de HPMC e NPAg foram produzidos e caracterizados com sucesso, bem como o efeito antifúngico de coberturas de HPMC-NPAg contra o crescimento de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamões papaya cv Golden. Os resultados mostraram que a adição de diferentes concentrações de NPAg induziu alterações no pH das SFF e mudou a rugosidade dos filmes. A morfologia da superfície e seção transversal dos filmes indicou dispersão homogênea das NPAg. A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi controlada pelo HPMC e glicerol devido a sua natureza higroscópica. Portanto, a PVA obtida foi típica de materiais de HPMC, bem como a permeabilidade ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, sendo apropriado para a aplicação em frutas. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) dos filmes mostrou ligações Ag-O, sugerindo ligações químicas entre os átomos de prata das NPAg e átomos de oxigênio do HPMC. A adição de NPAg na matriz de HPMC não influenciou na desintegração do filme, fato que pode ser positivo uma vez que é possível obter filmes e coberturas antimicrobianas que não demorem para se degradar no meio ambiente.

Em relação à ação antifúngica das coberturas de HPMC-NPAg a partir do método de sobreposição de ágar *in vitro*, verificou-se que a concentração de 0,25%NPAg foi a concentração mínima de NPAg necessária para inibição do crescimento do fungo, sendo, portanto, utilizada para cobertura dos mamões. Assim, mamões inoculados e não inoculados foram revestidos com a SFF contendo 0,25% NPAg. Durante os 14 dias de armazenamento, não foi observado crescimento fúngico, mostrando a efetividade desta concentração de NPAg na inibição e prevenção do crescimento do fungo *C.*

*gloeosporioides*. Além disso, a cobertura preservou a fisiologia e qualidade pós colheita dos mamões avaliados quanto a cor, firmeza, perda de massa e sólidos solúveis totais.

Deste modo, concluiu-se que a cobertura à base de HPMC-0,25%NPAg pode ser uma alternativa para evitar o desenvolvimento do *C.gloeosporioides* e melhorar a vida útil do mamão cv Golden.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros sugere-se o seguinte:

- Avaliar a toxicidade da solução de NPAg.
- Avaliar a migração das NPAg da cobertura para a polpa do mamão.
- Estudar o efeito da aplicação da cobertura na produção de etileno do mamão.
- Estudar a possibilidade de aplicação dos filmes à base de HPMC e NPAg em outras frutas.

## REFERÊNCIAS

- ALAHAKOON, P. W.; BROWN, A. E.; SREENIVASAPRASAD, S. Cross-infection potential of genetic groups of *Colletotrichum gloeosporioides* on tropical fruits. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, [s. l.], 1994.
- ALMEIDA, Édipo S. **Biossíntese e caracterização de nanopartículas de prata por *Fusarium oxysporum***. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2017.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Washington.
- APPENDINI, Paola; HOTCHKISS, Joseph H. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], 2002.
- ARDANI, H. K. et al. Enhancement of the stability of silver nanoparticles synthesized using aqueous extract of *Diospyros discolor* Willd. leaves using polyvinyl alcohol. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 188, p. 012056, 2017. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1757-899X/188/i=1/a=012056?key=crossref.fa72abd580f8705f87a77411ff11f02e>>
- ARFAT, Yasir Ali et al. Thermo-mechanical, rheological, structural and antimicrobial properties of bionanocomposite films based on fish skin gelatin and silver-copper nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], 2017.
- ASMAR, Simone Abreu et al. Firmeza de mamão tratado com 1-MCP em diferentes tempos de exposição. **Ciência e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 440–444, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542010000200024&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000200024&lng=pt&tlng=pt)>
- AZEREDO, Henriette M. C.; ROSA, Morsyleide F.; MATTOSO, Luiz Henrique C. Nanocellulose in bio-based food packaging applications. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], 2017.
- BAHRAMI, Arash et al. Physico-mechanical and antimicrobial properties of tragacanth/hydroxypropyl methylcellulose/beeswax edible films reinforced with silver nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2019.
- BARBIERI, Marcela Guastalli et al. Análise do desempenho das exportações brasileiras de mamão. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 5, n. 8, p. 12010–12032, 2019.
- BARUD, Hernane. Materiais multifuncionais baseados em celulose bacteriana. **Aleph**, [s. l.], 2010.
- BEATRIZ, Adilson; ARAÚJO, Yara J. K.; DE LIMA, Dênis Pires. Glicerol: Um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 306–319, 2011.
- BECHTOLD, Micheline. **Síntese e caracterização de nanopartículas de prata e aplicação como agente biocida em tinta poliuretânica hidrossolúve**. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2011.
- BLANCO-PASCUAL, N.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; MONTERO, M. P. Effect of different protein extracts from *Dosidicus gigas* muscle co-products on edible films

development. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 118–131, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.019>>

BOCATE, Karla Paiva et al. Antifungal activity of silver nanoparticles and simvastatin against toxigenic species of *Aspergillus*. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], 2019.

BRAGA, Selma dos Passos et al. Application of coatings formed by chitosan and *Mentha* essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2019.

BRON, Ilana U.; JACOMINO, Angelo P. Ripening and quality of “Golden” papaya fruit harvested at different maturity stages. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 389–396, 2006.

BUMBUDSANPHAROKE, Nattinee; KO, Seonghyuk. Nano-Food Packaging: An Overview of Market, Migration Research, and Safety Regulations. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 80, n. 5, p. R910–R923, 2015.

BUMBUDSANPHAROKE, Nattinee; LEE, Wooseok; KO, Seonghyuk. A comprehensive feasibility study on the properties of LDPE-Ag nanocomposites for food packaging applications. **Polymer Composites**, [s. l.], v. 39, n. 9, p. 3178–3186, 2018.

CANO, A. et al. Effect of cellulose nanocrystals on the properties of pea starch–poly(vinyl alcohol) blend films. **Journal of Materials Science**, [s. l.], v. 50, n. 21, p. 6979–6992, 2015.

CÁRDENAS-PÉREZ, Stefany et al. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems Engineering**, [s. l.], 2017.

CAVALCANTE, Noelly Bastos. Atividade Antibacteriana e Antifúngica de Nanopartículas de Prata Produzidas por *Curvularia inaequalis* (Shear) Boedijn. **Universidade Federal do Vale do São Francisco**, [s. l.], p. 78, 2014.

CAYUELA, Angelina; SORIANO, M. Laura; VALCÁRCEL, Miguel. Reusable sensor based on functionalized carbon dots for the detection of silver nanoparticles in cosmetics via inner filter effect. **Analytica Chimica Acta**, [s. l.], 2015.

CHACUA, Leidy M. et al. Mathematical models for prediction of rheological parameters in vinasses derived from sugar cane. **International Agrophysics**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 135–141, 2016.

CHOI, Woo Suk; SINGH, Suman; LEE, Youn Suk. Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of “Formosa” plum (*Prunus salicina* L.). **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], 2016.

CRUZ, Vanessa Aparecida. **Desenvolvimento de geleia de mamão formosa( *Carica papaya* L . ) sob diferentes concentrações e métodos de secagem das sementes**. 2016. [s. l.], 2016.

DA COSTA, Franciscleudo Bezerra et al. Armazenamento Refrigerado Do Mamão Havaí ‘ Golden ’ Produzido Na Chapada Do Apodi – Rn - Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], p. 37–54, 2010.

DAI, Limin; ZHANG, Jun; CHENG, Fang. Cross-linked starch-based edible coating reinforced by starch nanocrystals and its preservation effect on graded Huangguan pears. **Food Chemistry**, [s. l.], n. June, p. 125891, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125891>>

DANTAS, J. L. ...; NETO, N. M. C. Mamão produção. In: TECNOLOGIA, Embrapa comunicação para transferência De (Ed.). **Frutas do Brasil**. 3. ed. Brasília.

DANTAS, Suzana A. F. et al. Doenças fúngicas pós-colheita em mamões e laranjas comercializados na Central de Abastecimento do Recife. **Fitopatologia Brasileira**, [s. l.], v. 28, n. 5, p. 528–533, 2003.

DE MORAES, Samara Boaventura; BOTAN, Rodrigo; LONA, Liliane Maria Ferrareso. Síntese e caracterização de nanocompósitos de poliestireno/hidroxissal lamelar. **Química Nova**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 18–21, 2014.

DE MOURA, Márcia R.; MATTOSO, Luiz H. C.; ZUCOLOTTI, Valtencir. Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], 2012.

DEEPAK, Venkataraman et al. An Insight into the Bacterial Biogenesis of Silver Nanoparticles, Industrial Production and Scale-up. In: **Metal Nanoparticles in Microbiology**. [s.l.] : Metal Nanoparticles in Microbiology, 2011. p. 17–35.

DJIOUA, Tassadit et al. Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 849–855, 2010.

EMAM, Hossam E. et al. Instantly AgNPs deposition through facile solventless technique for poly-functional cotton fabrics. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção Brasileira de Mamão em 2018**. 2018. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/mamao/b1\\_mamao.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mamao/b1_mamao.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa e ABRAS querem reduzir perdas de alimentos no varejo**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45652829/embrapa-e-abras-querem-reduzir-perdas-de-alimentos-no-varejo>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

FABI, João Paulo; DO PRADO, Samira Bernardino Ramos. Fast and furious: Ethylene-triggered changes in the metabolism of papaya fruit during ripening. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 10, n. April, 2019.

FADEL, Hoda H. M. et al. Nanotechnology for enhancing the production of meat-like flavour from enzymatic hydrolyzed soybean protein isolate. **Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 279–292, 2019.

FAGUNDES, Cristiane et al. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], 2014.

FAGUNDES, Cristiane et al. Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings

formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], 2015.

FAKHOURI, Farayde Matta et al. Films and edible coatings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of Crimson grapes. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 369–375, 2007.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAO: 30% de toda a comida produzida no mundo vai parar no lixo**. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-30-de-toda-a-comida-produzida-no-mundo-vai-parar-no-lixo/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Production of Papayas: top 10 producers**. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 3 out. 2019.

FDA - FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Food additives permitted for direct addition to food for human consumption**. Food and Drug Administration. 2016. Disponível em: <<http://www.fda.gov>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

FERNANDES, Ana Paula Stort et al. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 192–199, 2015.

FERREIRA, Francilene Lima. **Caracterização Física , Química , Sensorial e de compostos funcionais em mamão verde do grupo formosa minimamente processado**. 2010. Universidade Brasília, [s. l.], 2010.

FIALHO E MORAES, Allan Robledo et al. Development and evaluation of antimicrobial film on butter conservation. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. SUPPL.1, p. 33–36, 2007.

FONSECA, Jéssica de Matos et al. Hydroxypropyl methylcellulose-TiO<sub>2</sub> and gelatin-TiO<sub>2</sub> nanocomposite films: Physicochemical and structural properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2020.

FORMIGA, Anderson S. et al. Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato’. **Food Chemistry**, [s. l.], 2019.

FRITZ, Alcilene Rodrigues Monteiro et al. Active, Eco-Friendly and Edible Coatings in the Post-Harvest – A Critical Discussion. In: **Polymers for Agri-Food Applications**. [s.l: s.n.]. p. 433–463.

FURLAN, Carla Regina Costa et al. RESISTÊNCIA GENÉTICA DOS ACESSOS DO BANCO ( Colletotrichum gloeosporioides ) 1 GENETIC RESISTANCE OF ACCESSES OF APPLE TREE GERMPLASM. [s. l.], p. 507–514, 2010.

FURLANETTO, Maria Célia Siqueira. Desenvolvimento de filmes de carboximetilcelulose com nanopartículas de prata e avaliação de sua atividade antimicrobiana e toxicidade. [s. l.], p. 147, 2014.

GALO, Joyce De Queiróz Barbosal et al. Conservação pós-colheita de mamão ‘sunrise solo’ com uso de quitosana. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 305–312, 2014.

- GAO, Hao Xiang et al. A functional polysaccharide film forming by pectin, chitosan, and tea polyphenols. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2019.
- GHAI, Kapil; GUPTA, P. K.; GUPTA, A. K. Physiochemical behaviour changes during ripening in fruits of *Trewia nudiflora* Linn. **Perspectives in Science**, [s. l.], 2016.
- GONTARD, Nathalie; GILBERT, Stéphane; CUQ, Jean-Louis. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 57, p. 190–195, 1992.
- HENG, Paul W. S.; WAN, Lucy S. C.; TAN, Yvonne T. F. Relationship between aggregation of HPMC coated spheroids and tackiness/viscosity/additives of the coating formulations. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], 1996.
- HOLCROFT, Deirdre. Water Relations in Harvested Fresh Produce. **The Postharvest Education Foundation White Paper**, [s. l.], n. 15, p. 1–16, 2015.
- HU, Hurang; ONYEBUEKE, Landon; ABATAN, Ayo. Characterizing and Modeling Mechanical Properties of Nanocomposites-Review and Evaluation. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, [s. l.], v. 09, n. 04, p. 275–319, 2010.
- HU, Xiaona et al. The Preparation, Characterization, Anti-Ultraviolet and Antimicrobial Activity of Gelatin Film Incorporated with Berberine-HP- $\beta$ -CD. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s. l.], n. October, p. 124273, 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775719312683>>
- IFUKU, Shinsuke et al. Facile preparation of silver nanoparticles immobilized on chitin nanofiber surfaces to endow antifungal activities. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2015.
- IMRAN, Muhammad et al. Cellulose derivative based active coatings: Effects of nisin and plasticizer on physico-chemical and antimicrobial properties of hydroxypropyl methylcellulose films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2010.
- IMRAN, Muhammad et al. Controlled release of nisin from HPMC, sodium caseinate, poly-lactic acid and chitosan for active packaging applications. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], 2014.
- INTERNATIONAL, ASTM. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting** West Conshohocken, PA, 2012.
- JACOMINO, Angelo Pedro et al. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropano. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 303–308, 2002.
- JAMRÓZ, Ewelina et al. Development of furcellaran-gelatin films with Se-AgNPs as an active packaging system for extension of mini kiwi shelf life. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], 2019.
- JAMRÓZ, Ewelina; KULAWIK, Piotr; KOPEL, Pavel. The effect of nanofillers on the functional properties of biopolymer-based films: A review. **Polymers**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 1–43, 2019.
- JARAMILLO, Carolina Medina et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 151, p. 150–159, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.025>>
- JIANG, Yanfeng et al. Study of the physical properties of whey protein isolate and gelatin composite films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 58, n. 8, p.

5100–5108, 2010.

JIN, R. Photoinduced Conversion of Silver Nanospheres to Nanoprisms. **Science**, [s. l.], v. 294, n. 5548, p. 1901–1903, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1066541>>

JUNG, Yong Chae; BHUSHAN, Bharat. Contact angle, adhesion and friction properties of micro-and nanopatterned polymers for superhydrophobicity. **Nanotechnology**, [s. l.], v. 17, n. 19, p. 4970–4980, 2006.

JÚNIOR, Moacir Fernandes Ferreira. Reciclagem química do bagaço de cana-de- açúcar para a produção de membranas assimétricas de diacetato de celulose. [s. l.], p. 52, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17300>>

KADAM, Deepak et al. Physicochemical and functional properties of chitosan-based nano-composite films incorporated with biogenic silver nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2019.

KADER, Adel A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. California: University of California, 2002.

KAUL, Shreya et al. Role of Nanotechnology in Cosmeceuticals: A Review of Recent Advances. **Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 2018, p. 1–19, 2018.

KHATOON, Umme Thahira et al. Comparative study of antifungal activity of silver and gold nanoparticles synthesized by facile chemical approach. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [s. l.], 2018.

KLANGMUANG, Ploy; SOTHORNVIT, Rungsinee. Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). **Food Bioscience**, [s. l.], 2018.

KUMAR, Harish; RANI, Renu. Structural Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized by Micro emulsion Route. **International Journal of Engineering and Innovative Technology**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 344–348, 2013.

LEE, Keun Taik. **Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials** *Meat Science*, 2010.

LICODIEDOFF, S. et al. Conservation of physalis by edible coating of gelatin and calcium chloride. **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 1629–1634, 2016.

LOAN KHANH, Ly et al. Gelatin-stabilized composites of silver nanoparticles and curcumin: characterization, antibacterial and antioxidant study. **Science and Technology of Advanced Materials**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 276–290, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14686996.2019.1585131>>

LOREVICE, Marcos V.; DE MOURA, Marcia R.; MATTOSO, Luiz H. C. Nanocompósito de polpa de mamão e nanopartículas de quitosana para aplicação em embalagens. **Química Nova**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 931–936, 2014.

MADANI, Babak et al. Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. **Crop Protection**, [s. l.], 2014.

MARINGGAL, Bernard et al. The causal agent of anthracnose in papaya fruit and control

by three different Malaysian stingless bee honeys, and the chemical profile. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], 2019.

MARINGGAL, Bernard et al. Kinetics of quality changes in papayas (*Carica papaya* L.) coated with Malaysian stingless bee honey. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], 2020.

MARTINS, Derliane Ribeiro. OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTOCAGEM DO MAMÃO EM ATMOSFERA CONTROLADA PARA PRESERVAÇÃO DA QUALIDADE E REDUÇÃO DO PROCESSO DE AMADURECIMENTO DERLIANE RIBEIRO MARTINS UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ AGOSTO d. **Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF.**, [s. l.], 2012. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PRODVEGETAL\\_3434\\_1354015217.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PRODVEGETAL_3434_1354015217.pdf)>

MATHEW, Shiji et al. Biodegradable and active nanocomposite pouches reinforced with silver nanoparticles for improved packaging of chicken sausages. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 19, n. August 2018, p. 155–166, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.009>>

MEHL, Hiany; OLIVEIRA, Marcela Mohallem; ZARBIN, Aldo José Gorgatti. Thin and transparent films of graphene/silver nanoparticles obtained at liquid-liquid interfaces: Preparation, characterization and application as SERS substrates. **Journal of Colloid and Interface Science**, [s. l.], 2015.

MELO, Meline Cunha. **Parâmetros físicos, físico-químicos e reológicos do mamão (Carica papaya L.) armazenado em diferentes temperaturas.** 2018. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, [s. l.], 2018.

MENDONÇA, Romário Delbons et al. Características físicas e químicas de goiabas “Cortibel 1” e “Cortibel 4” armazenadas em condições ambientais. **Bragantia**, [s. l.], v. 66, n. 4, p. 685–692, 2007.

MENDY, T. K. et al. Antifungal properties of Aloe vera through in vitro and in vivo screening against postharvest pathogens of papaya fruit. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], 2019.

MORELL, P. et al. Relating HPMC concentration to elicited expected satiation in milk-based desserts. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 45, p. 158–167, 2015.

MORONES, Jose Ruben et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**, [s. l.], v. 16, n. 10, p. 2346–2353, 2005.

MUJICA-PAZ, H.; GONTARD, N. Oxygen and Carbon Dioxide Permeability of Wheat Gluten Film: Effect of Relative Humidity and Temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 45, n. 10, p. 4101–4105, 1997.

MUÑOZ-BONILLA, Alexandra et al. Bio-based polymers with antimicrobial properties towards sustainable development. **Materials**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 1–50, 2019.

NETO, Gabriel Rodrigues de Almeida. **Nanocompósito com matriz polimérica biodegradável para aplicação como sistema de liberação de fármaco e preenchimento ósseo.** 2018. Universidade Estadual do Norte Fluminense, [s. l.], 2018.

NEVES, Ivo Pessoa. **Cultivo do mamão.** [s.l: s.n.]. v. 46 Disponível em: <<http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.Journalarchive/materia1994/46.171?from=CrossRef>>

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes et al. Nutrição, Calagem e Adubação do Mamoeiro Irrigado. **Circular Técnica 69**, [s. l.], n. Figura 1, p. 1–10, 2004.

OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves De; SANTOS, Dyego da Costa. **Tecnologia e processamento de frutas e hortaliças**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://portal.ifrn.edu.br/campus/paodosferros/arquivos/livro-tecnologia-e-processamento-de-frutos-e-hortalicas>>

ORTEGA, Florencia et al. Active composite starch films containing green synthesized silver nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 70, p. 152–162, 2017.

OVES, Mohammad et al. Antimicrobial and anticancer activities of silver nanoparticles synthesized from the root hair extract of *Phoenix dactylifera*. **Materials Science and Engineering C**, [s. l.], 2018.

PAUNONEN, Sara. Strength and barrier enhancements of cellophane and cellulose derivative films: A review. **BioResources**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 3098–3121, 2013.

PÊ, Patrícia Rodrigues et al. Avaliação das características físico-químicas do mamão “Formosa” in natura, osmodesidratado e seco. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 17–21, 2015. Disponível em: <<https://zeoserver.pb.gov.br/gestaounificada/gu/emepa/publicacoes/revista-tca-emepa/edicoes/volume-09-2015/volume-9-numero-3-junho-2015/fitotecnia-crop-science/tca9304.pdf>>

PEIXOTO, Luciana de Souza. **Preparação de compósitos e nanocompósitos poliméricos in situ**. 2012. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2012.

PEKEL, Nursel et al. Radiation crosslinking of biodegradable hydroxypropylmethylcellulose. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2004.

PESSANHA, Kênia Letícia Ferreira. **Polímeros biodegradáveis adicionados de nanopartículas como embalagem para alimentos**. 2016. [s. l.], 2016.

POLTRONIERI, Tathianne Pastana de Sousa; DE AZEVEDO, Luís Antônio Siqueira; DA SILVA, Diene Elen Miranda. Effect of temperature on mycelial growth and conidial production and germination for *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from juçara palm fruits (*Euterpe edulis* Mart). **Summa Phytopathologica**, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 281–285, 2013.

PORAT, Ron et al. **Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers’ homes: Quantifications, causes, and means of prevention** *Postharvest Biology and Technology*, 2018.

PSOMIADOU, Eleni; ARVANITOYANNIS, Ioannis; YAMAMOTO, Noboru. Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methylcellulose (MC) and corn starch and polyols - Part 2. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 1996.

RAO, Lakshmeesha B. et al. Mechanical and antibacterial properties of ZnO nanoparticles incorporated HPMC polymer nanocomposite films. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 767–771, 2015.

REBOUÇAS, Josália Liberato et al. Post-Harvest Conservation of Papaya “Formosa Tainung 01” Conditioned under Different Packaging Systems. **International Journal of Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 08, p. 57–65, 2013.

REIS, Héber Ferreira Dos. Conservação pós-colheita de mamão formosa (*Carica papaya* L.) e controle alternativo in vitro e in vivo de *Colletotrichum gloeosporioides*. [s. l.], p. 128, 2014.

REIS, Ronielli Cardoso et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante de variedades melhoradas de mamão. **Ciencia Rural**, [s. l.], v. 45, n. 11, p. 2076–2081, 2015.

RIBEIRO, Elaine Angélica Mundim et al. Utilização de hemiceluloses catiônicas, obtidas a partir do aproveitamento da palha de milho, associadas com tanino para o tratamento de efluentes de lavanderia industrial. **Química Nova**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 17–24, 2016. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia\\_pdf.asp?aid2=6505&nomeArquivo=AR20160110.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=6505&nomeArquivo=AR20160110.pdf)>

RIBEIRO, Jennifer Gonçalves; SERRA, Ilka Márcia Ribeiro de Sousa; ARAÚJO, Marcela Uli Peixoto. Uso de produtos naturais no controle de antracnose causado por *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão. **Summa Phytopathologica**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 160–164, 2016.

RIBEIRO, Monique Lopes. **Efeito do Processamento Térmico nas Características Físico-Químicas, Nutricionais, Microbiológicas e na Atividade Enzimática de Polpa de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.)**. 2009. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, [s. l.], 2009.

ROTTA, Jefferson et al. Parameters of color, transparency, water solubility, wettability and surface free energy of chitosan/hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) films plasticized with sorbitol. **Materials Science and Engineering C**, [s. l.], 2009.

ROTTA, Jefferson; MINATTI, Edson; BARRETO, Pedro Luiz Manique. Determination of structural and mechanical properties, diffractometry, and thermal analysis of chitosan and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) films plasticized with sorbitol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 450–455, 2011.

ROY, Swarup; SHANKAR, Shiv; RHIM, Jong Whan. Melanin-mediated synthesis of silver nanoparticle and its use for the preparation of carrageenan-based antibacterial films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], 2019.

SABBAH, Mohammed et al. Development and properties of new chitosan-based films plasticized with spermidine and/or glycerol. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 87, n. May 2018, p. 245–252, 2019.

SAHOO, Subhashree; CHAKRABORTI, Chandra Kanti; BEHERA, Pradipta Kumar. Spectroscopic investigations of a Ciprofloxacin/HPMC mucoadhesive suspension. **International Journal of Applied Pharmaceutics**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 1–8, 2012.

SANCHEZ-GONZALEZ, Laura et al. Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], 2011.

SCARTAZZINI, L. et al. Gelatin edible coatings with mint essential oil (*Mentha arvensis*): film characterization and antifungal properties. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 56, n. 9, p. 4045–4056, 2019.

SCARTAZZINI, Laura. **Elaboração de cobertura comestível a partir de resíduo à base de gelatina e avaliação da sua aplicação em *Physalis* (*Physalis peruviana* L.)**.

2014. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2014.

SCARTAZZINI, Laura. **Estudo da atividade antifúngica do óleo essencial de menta incorporado em coberturas comestíveis à base de gelatina para aplicação em morango (Fragaria x ananassa)**. 2018. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2018.

SCHNEID, Andressa C. et al. Silver nanoparticle thin films deposited on glass surface using an ionic silsesquioxane as stabilizer and as crosslinking agent. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 1004–1012, 2015.

SETHILKUMAR, S.; VIJAYAKUMAR, R. M.; KUMAR, S. Advances in Precooling techniques and their implications in horticulture sector. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 24–30, 2015.

SERRANO, Luiz Augusto Lopes; CATTANEO, Laercio Francisco. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 657–959, 2010.

SHANMUGA PRIYA, D. et al. Chitosan-incorporated different nanocomposite HPMC films for food preservation. **Journal of Nanoparticle Research**, [s. l.], v. 16, n. 2, 2014.

SHI, Shih Chen; HUANG, Teng Feng. Raman study of HPMC biopolymer transfer layer formation under tribology test. **Optical and Quantum Electronics**, [s. l.], v. 48, n. 12, p. 1–9, 2016.

SILVA, Milena Nascimento Da et al. Physical and morphological properties of hydroxypropyl methylcellulose films with curcumin polymorphs. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], 2019.

SIMBINE, Emelda Orlando et al. Application of silver nanoparticles in food packages: A review. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 793–802, 2019.

SIQUEIRA, A. P. DE Oliveira. **Uso De Coberturas Comestíveis Na Conservação Pós-Colheita De Goiaba E Maracujá-Azedo**. 2012. 80f. **Dissertação (Mestre em Produção Vegetal)**. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2012., [s. l.], 2012.

SOUSA, Romaildo Santos De. Influência da concentração de óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) nas propriedades de filmes à base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). **Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Alimentos)**, [s. l.], 2016.

SOUZA, Bianca Sarzi De et al. Conservação de mamão “Formosa” minimamente processado armazenado sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 273–276, 2005.

SOUZA, José Thiago Ayres et al. Diagnóstico socioeconômico do consumo de mamão no município de Santa Luzia no semi-árido paraibano. **Engenharia Ambiental**, [s. l.], v. 9, p. 36–46, 2012.

SPAGNOL, Wigberto Antonio et al. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 21, n. 0, 2018.

SUEIRO, Ana Claudia et al. BIODEGRADABLE FILMS OF CASSAVA STARCH, PULLULAN AND BACTERIAL CELLULOSE. **Química Nova**, [s. l.], 2016.

Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-4042.20160118>>

TARAZONA, Andrea et al. Antifungal effect of engineered silver nanoparticles on phytopathogenic and toxigenic *Fusarium* spp. and their impact on mycotoxin accumulation. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], 2019.

TAVERA QUIROZ, M. J. et al. Stability of methylcellulose-based films after being subjected to different conservation and processing temperatures. **Materials Science and Engineering C**, [s. l.], 2013.

TIMMER, L. W.; BROWN, G. E. The Role of *Colletotrichum* spp. in Postharvest Anthracnose of Citrus and Survival of *C. acutatum* on Fruit. [s. l.], p. 5–8, 1998.

TORRES, Mariana. Caracterização e estudo do comportamento térmico do óleo extraído da semente de mamão formosa (*Carica papaya* L.). **Aleph**, [s. l.], 2010.

TOSATI, Juliano Vinícius. **Determinação da Taxa de Respiração de Tomate Cereja e da permeabilidade à gás de filme comestível a base de Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)**. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2013.

TOSATI, Juliano Vinícius et al. Respiration Rate of Cherry Tomatoes and Gas Permeability of Hydroxypropylmethyl Cellulose-Based Coating. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, [s. l.], v. 5, p. 281–287, 2015.

TREENATE, Pitchaya; MONVISADE, Pathavuth; YAMAGUCHI, Masayuki. The effect of glycerol/water and sorbitol/water on the plasticization of hydroxyethylacryl chitosan/sodium alginate films. **MATEC Web of Conferences**, [s. l.], v. 30, 2015.

TRIGO, Juliana Moreno et al. Effect of edible coatings on the preservation of freshcut papayas. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], p. 125–133, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1981-67232012000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1981-67232012000200004&script=sci_arttext)>

USALL, Josep et al. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], 2016.

VALENCIA, Germán Ayala et al. Nanocomposite-forming solutions based on cassava starch and laponite: Viscoelastic and rheological characterization. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 166, p. 174–181, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.006>>

VALENCIA, Germán Ayala et al. Physical and morphological properties of nanocomposite films based on gelatin and Laponite. **Applied Clay Science**, [s. l.], v. 124–125, p. 260–266, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2016.02.023>>

VALENCIA, Germán Ayala et al. Morphological and physical properties of nanobiocomposite films based on collagen loaded with laponite®. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 19, n. November 2018, p. 24–30, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.013>>

VALGIMIGLI, Luca; BASCHIERI, Andrea; AMORATI, Riccardo. Antioxidant activity of nanomaterials. **Journal of Materials Chemistry B**, [s. l.], v. 6, n. 14, p. 2036–2051, 2018.

VIJAYASHREE, K.; SHESHAPPA RAI, K.; DEMAPPA, T. Investigation on nanosized

CuO incorporated hydroxypropyl methylcellulose polymer nanocomposite films. **Indian Journal of Advances in Chemical Science**, [s. l.], v. S1, p. 1–5, 2016.

WRONA, Magdalena et al. Development and characterisation of HPMC films containing PLA nanoparticles loaded with green tea extract for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2017.

YADAV, Mithilesh; LIU, Yu Kuo; CHIU, Fang Chyou. Fabrication of cellulose nanocrystal/silver/alginate bionanocomposite films with enhanced mechanical and barrier properties for food packaging application. **Nanomaterials**, [s. l.], v. 9, n. 11, 2019.

ZHANG, Wanli; JIANG, Weibo. Antioxidant and antibacterial chitosan film with tea polyphenols-mediated green synthesis silver nanoparticle via a novel one-pot method. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2019.

ZHOU, G. H.; XU, X. L.; LIU, Y. **Preservation technologies for fresh meat - A review** *Meat Science*, 2010.

ZUHAIR, R. A. et al. Antioxidant activity and physicochemical properties changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Hongkong) during different ripening stage. **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1653–1659, 2013.

ZUIDAM, N. J.; NEDOVIC, Viktor. **Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing**. [s.l: s.n.].