



**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO ATIVO À BASE DE**  
**FÉCULA DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (*SHINUS***  
***TEREBINTHIFOLIUS RADDI*) APLICADO EM BRÓCOLIS**

**Maria Clara Guimarães**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO ATIVO À BASE DE  
FÉCULA DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (*SHINUS  
TEREBINTHIFOLIUS RADDI*) APLICADO EM BRÓCOLIS**

**MARIA CLARA GUIMARÃES**

*Sob a Orientação da Professora*

**Dr<sup>a</sup>. Nathália Ramos de Melo da Conceição**

*e co-orientação do Professor*

**Dr. Carlos Eduardo de Souza Teodoro**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédia, RJ  
Fevereiro de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G963d Guimaráes, Maria Clara , 1991-  
Desenvolvimento de revestimento ativo à base de fécula de mandioca e óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) aplicado em brócolis / Maria Clara Guimaráes. - Seropédica, 2020.  
99 f.: il.

Orientadora: Nathália Ramos de Melo.  
Coorientador: Carlos Eduardo de Souza Teodoro.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2020.

1. Minimamente processados. 2. Biopolímeros. 3. Embalagem ativa. 4. Pimenta rosa. I. Melo, Nathália Ramos de, 1975-, orient. II. Teodoro, Carlos Eduardo de Souza , 1973-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

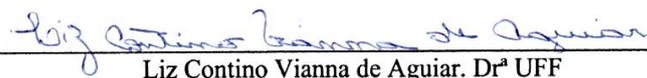
**MARIA CLARA GUIMARÃES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/02/2020

  
\_\_\_\_\_  
Nathália Ramos de Melo. Dr<sup>a</sup>. UFF/UFRRJ  
(Orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa. Dr<sup>a</sup> UFRRJ

  
\_\_\_\_\_  
Liz Contino Vianna de Aguiar. Dr<sup>a</sup> UFF

## DEDICATÓRIA

Dedico todo o esforço que depositei nesta dissertação à minha mãe Neide Luzia Cadinelli Guimarães (*in memoriam*), que não está mais entre nós, mas continua sendo minha maior força na vida. Nunca mediu esforços para lutar por minha educação. Essa vitória é nossa! Serei eternamente grata por cada colo, por cada sorriso e por cada palavra de incentivo. Sua lembrança me inspira e me faz persistir.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades vividas durante esta caminhada.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e ao Laboratório de Embalagem e Tecnologia (Laetec) pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

À Universidade Federal Fluminense (UFF) de Volta Redonda, pelo suporte durante o programa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup> Nathália Ramos de Melo da Conceição pela orientação, pelos conselhos, por todos ensinamentos, incentivos e paciência. Muito obrigada por tudo!

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA-UFRRJ), por todos os ensinamentos, vocês foram parte fundamental desta caminhada.

Ao meu filho Arthur, seu amor é o que me move. Mesmo ainda sem entender, obrigado pela compreensão e carinho durante este período no qual não pude dedicar-lhe a devida atenção.

Ao meu companheiro de vida e amigo de todas as horas, Carlos Eduardo, sem você nada disso seria possível. Obrigada pelo seu incentivo e pela paciência comigo naqueles dias tão atarefados que precederam entrega deste trabalho.

À minha amada mãe, Neide que esteve ao meu lado até o fim, sempre com uma palavra de incentivo e conforto nos dias em que eu ligava chorando achando que não seria possível. Sempre acreditou mais em mim do que eu mesma. Obrigada por suas orações e bênçãos. Sei que a senhora está comemorando mais uma conquista nossa aí de cima!

Aos meus irmãos, Bruno José e Anna Beatriz, exemplos de amor, carinho, honestidade e perseverança, modelos a serem seguidos. Orgulho de ser irmã de vocês!

A minha família pelo apoio. Em especial, à minha querida prima Sabrina Guimarães, pelas mensagens de bom dia com dizeres que incentivavam e tornavam a manhã mais bonita. À minha tia (dinda) Maria Cristina, que sempre foi uma segunda mãe para mim. Obrigada por cada palavra de apoio e incentivo.

Às minhas parceiras de laboratório, Joyce Motta, Dayana Ketrin, Lara Aiex, Jéssica Batista e Agnes Rufino. Obrigada por toda ajuda e risadas, vocês deixaram a caminhada mais leve e o dia mais feliz. Obrigada Joyce, por me passar um pouco do seu conhecimento em laboratório e por estar sempre disposta a ajudar.

À minha amiga Bianca Escobar, pelos cafés no meio da tarde entre um experimento e outro que sempre rendiam boas risadas e histórias. Obrigada por sempre estar disponível para ouvir meus problemas, muitas vezes deixando os seus de lado para me apoiar. Obrigada, você é luz na minha vida.

A todos que de alguma forma torceram e torcem pela minha vitória e que sempre acreditaram em mim. O meu mais sincero obrigada! Essa conquista também é de vocês!!

## RESUMO

GUIMARÃES, Maria Clara. **Desenvolvimento de revestimento ativo à base de fécula de mandioca e óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) aplicado em brócolis.** 2020. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

O uso de revestimentos comestíveis na conservação de vegetais na condição pós-colheita, sejam intactos ou minimamente processados, têm sido apontados como uma tecnologia emergente e de grande potencial. Visto isto, o projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um revestimento ativo comestível a base de fécula de mandioca com óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) para aplicação em brócolis minimamente processado (MP). Foram avaliadas características da fécula de mandioca como base para revestimento e a efetividade antimicrobiana do óleo essencial (OE) de aroeira frente as principais bactérias deteriorantes de vegetais (*Erwínia carotovora*, *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). A fécula de mandioca apresentou boa viscosidade para ser utilizada como revestimento e o OE efetivo contra as bactérias avaliadas. O OE foi incorporado no revestimento sem a necessidade do dispersante Tween<sup>®</sup> 80 e o revestimento ativo também apresentou atividade antimicrobiana contra todas as bactérias deteriorantes testadas. Devido aos resultados encontrados, avaliou-se a efetividade da aplicação desse revestimento ativo sobre floretes de brócolis MP, com objetivo avaliar a vida útil do vegetal durante 12 dias de armazenamento, a 10°C. Foram feitas análises físico-químicas e microbiológicas para verificar o potencial do revestimento ativo. Os brócolis MP revestidos com fécula de mandioca incorporados com OE de aroeira tendo revestimento apresentaram maior dureza dos talos, menor perda de massa e de ácido ascórbico, manutenção da cor dos floretes, além de ter apresentado um menor desenvolvimento de microrganismos. Os resultados deste estudo sugerem que o revestimento possui potencial para ser aplicado como cobertura comestível em vegetais minimamente processado (VMP) em escala comercial.

Palavras-chave: biopolímeros, embalagem ativa, pimenta rosa.

## ABSTRACT

GUIMARÃES, Maria Clara. **Development of active coating cassava starch and aroeira essential oil (*Shinus terebinthifolius* Raddi) applied in broccoli.** 2020. 97p Dissertation (Master in Science and Food Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, University Federal Rural of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020

The use of edible coatings in the preservation of vegetables in the postharvest condition, whether intact or minimally processed, has been identified as an emerging technology of great potential. In view of this, the project aimed to develop an active edible cassava starch-based coating with mastic essential oil (*Shinus terebinthifolius* Raddi) for application to minimally processed (MP) broccoli. Cassava starch characteristics were evaluated as the basis for coating and antimicrobial effectiveness of the essential oil of aroeira against the main deteriorating bacteria of plants (*Erwinia carotovora*, *Pseudomonas syringae* and *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*). Cassava starch showed good viscosity to be used as a coating and effective EO against the evaluated bacteria. The EO was incorporated into the coating without the need for Tween<sup>®</sup> 80 dispersant and the active coating also showed antimicrobial activity against all spoilage bacteria tested. Due to the results found, the effectiveness of the application of this active coating on MP broccoli rapiers was evaluated in order to evaluate the useful life of the plant during 12 days of storage at 10 °C. Physicochemical and microbiological analyzes were performed to verify the potential of the active coating. Cassava starch-coated MP broccoli incorporated with aroeira EO having coating showed higher stalk hardness, lower loss of mass and ascorbic acid, maintenance of the color of the rapiers, as well as a lower development of microorganisms. The results of this study suggest that the coating has the potential to be applied as edible cover minimally processed vegetables (MPV) on commercially.

Keywords: active packaging, biopolymers, pink pepper

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Revestimentos comestíveis e ativos aplicados em vegetais.....	20
--	----

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Formulações dos revestimentos ativos.....	36
--	----

<b>Tabela 2.</b> Viscosidade da fécula de mandioca .....	40
--	----

<b>Tabela 3.</b> Atividade antimicrobiana dos revestimentos à base de fécula de mandioca incorporados com diferentes concentrações de OE de aroeira frente a bactérias deteriorantes de vegetais.....	59
---	----

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Formulações dos revestimentos ativos de fécula de mandioca com óleo essencial de aroeira .....	55
---	----

<b>Tabela 2.</b> Perda de massa (%) dos brócolis minimamente processados armazenados a $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por dias.....	12 77
--	----------

<b>Tabela 3</b> Teor de umidade (%) dos brócolis minimamente processados armazenadas a $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por 12 dias.....	62
---	----

<b>Tabela 4.</b> Teor de clorofila “a” ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.....	65
--	----

<b>Tabela 5.</b> Teor de clorofila “b” ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.....	66
--	----

<b>Tabela 6.</b> Valores médios de clorofila total ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.....	82
--	----

<b>Tabela 7.</b> Parâmetros de cor dos floretes de brócolis minimamente processado submetidos aos diferentes tratamentos.....	68
---	----

<b>Tabela 8.</b> Teor de vitamina C (mg/100g), ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos.....	70
<b>Tabela 9.</b> Valores de pH, ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos. ....	71
<b>Tabela 10.</b> Valores de ácido málico, ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos.....	88
<b>Tabela 11.</b> Desenvolvimento de microrganismos psicrotróficos nos brócolis minimamente processado submetidos a diferentes tratamentos.....	73

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Viscosidade da pasta de fécula de mandioca, segundo análise feita em Rapid Visco Analyser (RVA).....40
- Figura 2.** Micrografia do revestimento de fécula de mandioca (50µm) observados pelo microscópio óptico com aumento de 100x em diferentes temperaturas de aquecimento.....41
- Figura 3.** Espectro FTIR-ATR do revestimento a base de fécula de mandioca com diferentes concentrações de OE de aroeira.....42
- Figura 4.** Halos de inibição do revestimento de fécula de mandioca ativo com OE de aroeira. As placas com C+ representam as placas com revestimento ativo com adição do emulsificante Tween® 80 e as placas com C- representam as placas com revestimento sem Tween® 80....60

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** Aplicação da cobertura. A) Imersão dos floretes de brócolis no revestimento; B) Secagem dos floretes de brócolis com cobertura; C) Disposição dos floretes de brócolis nas bandejas; D) Produto embalado.....72
- Figura 2.** Imagens dos brócolis com diferentes tratamentos, tingidos com solução de iodo. A) Sem revestimento, B) Revestimento com 3% de fécula de mandioca, C) Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira, D) Vista frontal dos floretes de brócolis.....76
- Figura 3.** Força Máxima de Penetração (N), dos floretes de brócolis ao longo de 12 dias de armazenamento. ....79
- Figura 4.** Concentração de oxigênio (%), das bandejas de brócolis ao longo dos 12 dias de armazenamento. ....80
- Figura 5.** Cor dos floretes de brócolis após 12 dias de armazenamento à 10±2°C. R1: Floretes sem revestimentos; R2: Floretes revestidos com fécula de mandioca; R3: floretes revestidos com fécula de mandioca e OE de aroeira .....84

## LISTA DE ABREVIACÕES

ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados  
ABS - Absorbância  
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
ATR - Reflexão total atenuada  
ATT - Acidez total titulável  
BHI - Brain heart infusion broth  
BPF - Boas práticas de fabricação  
CA - Cera de abelha  
CMC – Carboximetilcelulose  
CMI- Concentração Mínima Inibitória  
COOH<sup>-</sup> - Ácido carboxílico  
cP - Centipasse  
FLV - Folhas, legumes e verduras  
FTIR - Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier  
GRAS - Generally recognized as safe  
HPMC - hidroxipropilmetilcelulose  
LAE - Lauroyl arginate ethyl  
N - Newton  
NH<sub>3</sub> - Amônia  
OE - Óleo essencial  
OEA - Óleo essencial de aroeira  
OH - Hidroxila  
PVC - Policloreto de vinila  
RVA - Rapid visco analyser  
UR - Umidade relativa  
VMP - Vegetais minimamente processados

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIÇÕES.....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
<b>CAPÍTULO I: REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO DE VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS.....</b>	<b>6</b>
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. PANORAMA GERAL.....	9
2. VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS.....	10
3. REVESTIMENTOS OU COBERTURAS COMESTÍVEIS.....	12
3.1 Lipídeos.....	15
3.2 Proteínas.....	16
3.3 Polissacarídeos.....	16
4. ADITIVOS E ATIVAÇÃO DOS REVESTIMENTOS.....	17
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
<b>CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA FÉCULA DE MANDIOCA COMO BASE PARA DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO ATIVO ANTIBACTERIANO INCORPORADO COM ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (SHINUS TERNBITHIFOLIUS RADDI).....</b>	<b>31</b>
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	33
1. INTRODUÇÃO.....	34

<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	35
2.1 Produção do revestimento.....	36
2.2 Teor de Amilose da fécula de mandioca.....	36
2.3 Análise viscoamilográfica da fécula de mandioca.....	37
2.4 Análise microscópica do revestimento .....	37
2.5 Espectroscopia de reflexão total atenuada por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR) do revestimento .....	38
2.6 Atividade Antibacteriana do revestimento.....	38
2.7 Análises Estatísticas .....	38
<b>3 RESULTADOS</b> .....	39
3.1 Teor de amilose da fécula .....	39
3.2 Análise viscoamilográfica da fécula .....	39
3.3 Microscopia óptica do revestimento .....	41
3.4 Espectroscopia de reflexão total atenuada por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR) dos filmes de fécula de mandioca com OE de aroeira.....	42
3.5 Atividade antimicrobiana dos filmes ativos.....	43
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46
<b>CAPÍTULO III: REVESTIMENTO ATIVO À BASE DE FÉCULA DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (SHINUS TERENBITHIFOLIUS RADDI) APLICADO EM BRÓCOLIS MINIMAMENTE PROCESSADO</b> .....	50
<b>RESUMO</b> .....	51
<b>ABSTRACT</b> .....	52
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	53
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	54
2.1 Matéria-prima.....	54
2.2 Produção do revestimento ativo.....	54
2.2.1 Preparo dos vegetais.....	55

2.2.2	Aplicação do revestimento .....	55
2.2.3	Verificação da uniformidade do revestimento .....	56
2.3	Caracterização dos vegetais revestidos.....	56
2.3.1	Perda de massa .....	56
2.3.2	Teor de Umidade.....	57
2.3.3	Dureza .....	57
2.3.4	Concentração de O <sub>2</sub> no interior da embalagem .....	57
2.3.5	Propriedades de cor dos floretes de brócolis .....	57
2.3.6	Teor de clorofila .....	58
2.3.7	Vitamina C (ácido ascórbico).....	58
2.3.8	Determinação da Acidez total titulável (ATT).....	58
2.3.9	pH.....	59
2.3.10	Avaliação microbiológica dos vegetais minimamente processados .....	59
2.4	Análises Estatísticas .....	59
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
3.1	Verificação da uniformidade do revestimento.....	60
3.2	Perda de massa .....	60
3.3	Teor de umidade.....	61
3.4	Dureza .....	62
3.5	Concentração de Oxigênio (O <sub>2</sub> ).....	63
3.6	Teor de Clorofila e parâmetros de cor .....	65
3.7	Vitamina C (Ácido Ascórbico) .....	70
3.8	Acidez Total Titulável e pH.....	71
3.9	Análise microbiológica .....	72
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>80</b>

<b>ANEXO A – Laudo técnico do óleo essencial de Pimenta Rosa .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>82</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O consumo de frutas e hortaliças tem aumentado em todo o mundo em função de alterações nos hábitos de vida da sociedade moderna, que a cada dia busca uma alimentação mais saudável. Alimentos saudáveis prontos para consumo ou que exigem pouco ou nenhum preparo para serem consumidos com segurança, estão sendo cada vez mais demandados, principalmente pela conveniência e praticidade que estes produtos oferecem, tanto no momento da compra quanto na hora de consumir (MORETTI, 2007).

Entre os alimentos saudáveis, o consumo de brócolis apresentou um impulso nos últimos anos, demonstrando que existe um potencial de mercado para esta hortaliça. Sua importância econômica no agronegócio tem sido crescente, além de tratar-se de um vegetal rico em vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides, glucosinolato e fibras. Compostos estes que ganharam atenção por estarem relacionados com a prevenção de câncer, doenças cardiovasculares e por apresentarem propriedades antioxidantes para eliminação de radicais livres (GONÇALVES et al., 2011; REIS et al., 2017).

Todavia, esses vegetais apresentam alta perecibilidade em consequência da alta atividade metabólica bem como os procedimentos de transporte de manuseio (ASSIS e BRITTO, 2014). Devido a essa rápida deterioração, novas tecnologias como o desenvolvimento de embalagens alimentícias que possam proteger o alimento da degradação química e microbiana agindo como uma camada de proteção completa vêm sendo sugeridas com o intuito de minimizar a perda destes alimentos (SARANTÓPOULOS e COFCEWICZ, 2016; SOARES et al., 2009)

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis baseado na combinação de biopolímeros tem atraído a atenção devido à sua abundância e ao potencial de substituição em relação a alguns produtos petroquímicos na embalagem de frutos e hortaliças (KALIA e PARSHAD, 2015).

O uso de coberturas comestíveis (filmes e revestimentos) têm recebido atenção de pesquisadores nos últimos anos, devido principalmente às suas propriedades de barreira, como controle das trocas gasosas com o ambiente ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ); controle de transferência de umidade; retenção de aditivos, bem como no controle da contaminação e desenvolvimento de microrganismo (SOARES *et al.*, 2009).

Revestimentos a base de amido de mandioca vem despontando pesquisas (CAZÓN et al., 2017; SOUZA et al., 2013; VERSINO et al., 2016). Na indústria de alimentos, a utilização

da fécula de mandioca como matéria-prima para produção de filmes e revestimentos tem aumentado nos últimos anos, devido ao seu menor custo e algumas propriedades inerentes como alta viscosidade, alta transparência, resistência à acidificação o que a torna uma alternativa à substituição dos outros amidos. Além disso, podem ser removidas com água e são provenientes de fontes renováveis (LUCHESE et al., 2018; SOUSA et al., 2019; SOUZA et al., 2014).

Os óleos essenciais (OE) são definidos como líquidos aromáticos extraídos de material vegetal, formados por diversos componentes (UGALDE, 2014). São aditivos naturais considerados GRAS (Generally recognized as safe) que podem ser adicionados em matrizes poliméricas para obtenção de materiais ativos antimicrobianos, quando estes deterem tal função. Estes materiais podem ter a função de prevenir, retardar ou inibir o desenvolvimento dos microrganismos (BEY-OULD SI SAID et al., 2016). Por ser um aditivo natural derivado de fonte natural, a utilização de OE como uma substância ativa em revestimentos causa maior aceitação entre os consumidores comparado aos aditivos químicos sintéticos (COLE et al., 2014).

Há evidência de que cerca de 35% dos óleos essenciais de plantas possuem atividade antimicrobiana e 65% possuem atividades antifúngicas, podendo atuar na preservação do alimento (LIMA et al., 2006; STIEVEN, MOREIRA E SILVA, 2009).

A *Shinus terebinthifolius* Raddi, pertence à família das Anacardiaceae, popularmente conhecida como aroeira, aroeira-vermelha ou pimenta rosa, é nativa da América do Sul, encontrada em abundância no litoral Nordeste do Brasil, Argentina e Paraguai. (ULIANA et al., 2016). Este óleo apresenta composição química predominante de hidrocarbonetos monoterpenos (85%), sendo seus componentes majoritário o  $\delta$ -3-careno, limoneno,  $\alpha$ -felandreno,  $\alpha$ -pineno, mirceno e  $\rho$ -cimeno (COLE et al., 2014; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013).

Dannenberg et al., (2017), mostraram que OE de aroeira nas concentrações de 2, 4 e 6% adicionados aos filmes de acetato de celulose foram ativos contra *L. monocytogenes* e *S. aureus* em todos os meios avaliados: difusão em meio sólido (ágar), dispersão em meio líquido (caldo), volatilização (micro-atmosfera) e “*in situ*” (mussarela fatiada)

A associação de revestimento biodegradáveis, a exemplo de fécula de mandioca, com óleos essenciais, pode sugerir uma alternativa na conservação pós-colheita de alimentos frescos (LIMA et al., 2012) e minimamente processados (ALIKHANI, 2014).

Embora estudos tenham utilizado óleos essenciais como aditivos naturais incorporados à revestimentos ativos de fécula de mandioca (ARAÚJO E SHIRAI, 2016; BOTELHO et al.,

2016; COELHO et al., 2017; FAI et al., 2016; SOUSA et al., 2019; SOUZA et al., 2013), o uso do OE de aroeira como agente nesses revestimentos ainda é pouco explorado.

Devido ao escasso número de trabalhos encontrados utilizando o óleo essencial de aroeira aplicados na indústria de alimentos e nenhum trabalho relacionando esse óleo ao revestimento de fécula de mandioca em brócolis, o trabalho tem como objetivo desenvolver um revestimento ativo a base de fécula de mandioca incorporado com OE de aroeira para aplicar em brócolis minimamente processado visando estender sua validade comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIKHANI, M. Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. **Food Science and Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 210–217, 2014.
- ARAÚJO, V. R.; SHIRAI, M. A. Aplicação de revestimento comestível de quitosana em brócolis minimamente processado. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, 2016.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. De. Review: edible protective coatings for fruits: fundamentals and applications. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/bjft.2014.019>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- BEY-OULD SI SAID, Z. et al. Essential oils composition, antibacterial and antioxidant activities of hydrodistilled extract of Eucalyptus globulus fruits. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 167–175, 2016.
- BOTELHO, L. N. S. et al. Quality of guava cv. ‘Pedro Sato’ treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 214–220, 2016.
- CAZÓN, P. et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, 2017.
- COELHO, C. C. DE S. et al. Aplicação de revestimento filmogênico à base de amido de mandioca e de óleo de cravo-da-índia na conservação pós-colheita de goiaba ‘pedro sato’. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 25, n. 6, p. 479, 2017.
- COLE, E. R. et al. Chemical composition of essential oil from ripe fruit of Schinus terebinthifolius Raddi and evaluation of its activity against wild strains of hospital origin. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 3, p. 821–828, 2014.
- DANNENBERG, G. DA S. et al. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 314–318, 2017.
- FAI, A. E. C. et al. Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 194–204, 2016.
- GONÇALVES, E. M. et al. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. Italica) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. **International Journal of Refrigeration**, v. 34, n. 8, p. 2136–2144, 2011.
- KALIA, A.; PARSHAD, V. R. Novel trends to revolutionize preservation and packaging of fruits/fruit products: microbiological and nanotechnological perspectives. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 2, p. 159–182, 2015.
- LIMA, A. B. DE et al. Conservação pós-colheita de manga “Tommy Atkins” orgânica sob recobrimentos bio-orgânicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 704–710, 2012.

LIMA, I. DE O. et al. Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre espécies de *Candida*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 197–201, 2006.

LUCHESE, C. L. et al. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834–839, 2018.

MORETTI, C. L. (ED.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, SEBRAE, 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. et al. Efeito fungitóxico do óleo essencial de aroeira da praia (*Schinus terebinthifolius* RADDI) sobre *Colletotrichum gloeosporioides*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 1, p. 150–157, 2013.

REIS, L. C. R. DOS et al. Influência do uso de atmosfera modificada nas características físico-químicas de brócolis minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 3, p. 44–58, 2017.

SARANTÓPOULOS, C.; COFCEWICZ, L. S. **Embalagens Ativas para Produtos Perecíveis**: 28.

SOARES, N. D. F. F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370–378, 2009.

SOUSA, H. A. DE F. et al. Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. **Nutrition & Food Science**, v. 49, n. 5, p. 911–924, 2019.

SOUZA, A. C. *et al.* Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 346–352, 2013.

SOUZA, M. R. A. et al. **Utilização de revestimento biodegradável a base de resíduo de frutas e hortaliças na conservação de cenoura (*Daucus carota* L.) minimamente processada** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais...** Florianópolis, SC: 2014

STIEVEN, A. C.; MOREIRA, J. J. S.; SILVA, C. F. Óleos essenciais de uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess): avaliação das atividades microbiana e antioxidante. **Eclética Química**, v. 34, n. 3, p. 7–16, 2009.

UGALDE, M. L. Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais. p. 168, 2014.

ULIANA, M. P. et al. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 235–240, 2016.

VERSINO, F. et al. Starch-based films and food coatings: An overview. **Starch/Staerke**, v. 68, n. 11–12, p. 1026–1037, 2016.

# **CAPÍTULO I: REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO DE VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS**

Maria Clara Guimarães<sup>1</sup>; Joyce Fagundes Gomes Motta<sup>1</sup>; Dayana Ketrin Silva Francisco Madella<sup>1</sup>; Lívia de Aquino Garcia Moura<sup>1,2</sup>; Carlos Eduardo de Souza Teodoro<sup>2</sup>; Nathália Ramos de Melo<sup>1,2</sup>

1 Departamento de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP: 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

2 Departamento de Engenharia de Agronegócios, Universidade Federal Fluminense, CEP: 27255-125, Volta Redonda, RJ, Brasil.

Artigo submetido à Revista Food and Bioprocess Technology em fevereiro de 2020.

## RESUMO

O mercado de vegetais minimamente processados (VMP) vem crescendo nas últimas décadas. Esse crescimento está relacionado com a mudança no estilo de vida e hábitos alimentares dos consumidores, que buscam alimentos práticos e saudáveis para consumo. Manter as características e qualidade dos VMP é um dos principais desafios dos produtores e comerciantes. Etapas do processamento mínimo como descascamento e corte aumentam a perecibilidade desses VMP, aumentando reações oxidativas e elevação da sua taxa metabólica.

Nessa linha, pesquisas voltadas para desenvolvimento de tecnologias que reduzam essas reações ganharam destaque. Filmes e revestimentos comestíveis produzidos de fontes naturais surgiram como embalagens alternativas para aplicações em alimentos e receberam atenção devido às suas vantagens como natureza biodegradável e renovável, disponibilidade e custo. O uso de revestimentos comestíveis na conservação de vegetais na condição pós-colheita, sejam intactos ou minimamente processados, têm sido apontados como uma tecnologia emergente e de grande potencial, visto que conseguem controlar a atmosfera interna dos VMP. Biopolímeros como polissacarídeos, lipídeos e proteínas têm sido avaliados na formulação desses revestimentos. A escolha do material apropriado dependerá das características do vegetal, do biopolímero e dos objetivos almejados para o revestimento.

Esta revisão, apresenta alguns exemplos de aplicação, os principais tipos de coberturas comestíveis e técnicas de aplicação utilizadas em VMP com base na literatura, com o intuito de auxiliar uma escolha que possa gerar uma maior eficiência da cobertura.

Palavras-chaves: Aditivos, biopolímeros, embalagens de alimentos.

## **ABSTRACT**

The minimally processed vegetable (MPV) market has been growing in recent decades. This growth is related to the change in lifestyle and eating habits of consumers who seek practical and healthy food for consumption. Maintaining the characteristics and quality of MPVs is a major challenge for producers and traders. Minimal processing steps such as peeling and cutting increase the perishability of these MPVs, thus increasing oxidative reactions and their metabolic rate. On this account, research focused on the development of technologies that reduce these reactions gained prominence. Edible films and coatings produced from natural sources have emerged as alternative packaging for food applications and have received attention due to their advantages, such as their biodegradable and renewable nature, availability, and cost. The use of edible coatings for the preservation of vegetables in the postharvest condition, whether intact or minimally processed, has been identified as an emerging technology of great potential as they can control the internal atmosphere of MPVs. Biopolymers such as polysaccharides, lipids, and proteins have been evaluated in the formulation of these coatings. The choice of appropriate material will depend on the characteristics of the plant, the biopolymer, and the intended objectives of the coating. This review presents some application examples, the main types of edible coatings, and the application techniques used in MPVs based on the literature, to assist a choice that can generate greater coating efficiency.

Keywords: additives, biopolymers, food packaging

## 1. PANORAMA GERAL

A maioria dos vegetais pós-colheita, especialmente os provenientes de ambientes tropicais, apresentam aceleração da maturação e deterioração em consequência das mudanças bioquímicas e fisiológicas bem como de procedimentos de acondicionamento e práticas de manuseio adotada (ASSIS; BRITTO, 2014).

No Brasil, estima-se que aproximadamente 10% dos alimentos produzidos são perdidos ou desperdiçados. As perdas e desperdício são maiores nas cadeias de frutas e hortaliças, entre 30% e 50%, em razão de serem alimentos altamente perecíveis, que exigem maiores cuidados no manuseio e transporte (LUGULLO; SALLES, 2018).

Segundo a Associação Brasileira de supermercados (ABRAS), em 2015 as perdas, nas redes varejistas do setor de frutas e hortaliças, foram de 8,29% do faturamento líquido, sendo a maior perda entre todos os departamentos. Em 2016, a seção de FLV (frutas, legumes e verduras) continuou representando as maiores perdas, com índice de 6,09%. Este resultado, no entanto, está abaixo da média registrada no estudo anterior, sinalizando melhorias na gestão e operação deste setor.

Estas melhorias se devem principalmente pela utilização de tecnologias aplicadas na pós-colheita de vegetais, que objetivam manter a qualidade através dos parâmetros aparência, textura, sabor, valor nutritivo e segurança alimentar, bem como reduzir perdas qualitativas e quantitativas entre a colheita e o consumo (SPAGNOL et al., 2018).

O desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias que promovam a redução das perdas pós-colheita são fundamentais para a economia, visto que além de reduzir as perdas, elevam a competitividade e buscam atender às qualidades de um mercado cada vez mais exigente (SANTOS, 2012).

Diferentes processos físico-químicos têm sido estudados com o intuito de serem utilizados na manutenção da qualidade dos alimentos, sendo necessária uma embalagem adequada para a conservação e comercialização do produto (BOTREL et al., 2010). Os filmes e revestimentos comestíveis têm demonstrado ser uma técnica eficaz na conservação de frutas e hortaliças (JIA et al., 2009).

Pesquisas recentes têm explorado o potencial dos filmes e revestimentos comestíveis para manter a qualidade e estender a vida útil de produtos frescos. A aplicação destas barreiras semipermeáveis tem demonstrado eficácia em vários frutos tropicais perecíveis, tais como banana (SOUSA et al., 2019), pêssego (JIAOA et al., 2019), maçã (VIEIRA et al., 2019),

cenoura (FAI et al., 2016; SHIGEMATSU et al., 2018), mamão (NARSAIAH et al., 2015) e acerola (FERREIRA et al., 2016).

Embora seja uma tecnologia emergente, a aplicação de revestimentos em vegetais, com o objetivo de estender sua preservação, não constitui exatamente em uma prática nova.

Emulsões derivadas de óleos minerais vem sendo empregadas desde o século XIII na China, com o objetivo de estender a conservação de frutos cítricos e outros produtos perecíveis que eram transportados por longas distâncias, principalmente por via marítima (HARDENBURG, 1967).

Na década de 1950, a cera de carnaúba foi amplamente empregada para esse fim, mas devido à aparência fosca resultante de sua aplicação, para melhor resultado visual, polietileno e parafinas foram adicionados. Nos anos de 1960, ceras e vernizes processados a partir de gomas solúveis em água se tornaram populares no revestimento de cítricos e frutas em geral (ASSIS; BRITTO, 2014).

As coberturas denominadas comestíveis como conhecidas hoje são mais recentes e datam das décadas finais do século passado. Essas ganharam espaço em função da expansão da oferta de produtos processados e da necessidade de maior conservação (GOMES et al., 2017).

A busca por produtos produzidos a partir de recursos renováveis e sustentáveis que são biodegradáveis tornou-se uma parte importante do esforço para reduzir o impacto da embalagem dos alimentos sobre o meio ambiente (PINHEIRO et al., 2010), a fim de reduzir o acúmulo de materiais sintéticos. Neste contexto, os revestimentos comestíveis baseados em polissacarídeos, lipídios e proteínas aparecem como potenciais substitutos de embalagens sintéticas, devido à sua disponibilidade abundante e renovável, de baixo custo, a natureza biodegradável e biocompatível (TRESSELER et al., 2009; SHANKAR; RHIM, 2016).

## **2. VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS**

O mercado de frutas e hortaliças aumentou significativamente, sendo o segmento de vegetais minimamente processados (VMP) o que mais expandiu. Essa tendência se justifica pela praticidade, que atualmente tem sido o foco principal dos consumidores. Esses alimentos têm a vantagem de serem comercializados já limpos e cortados (NASCIMENTO et al., 2014).

O propósito dos VMP é fornecer ao consumidor um produto similar ao fresco com uma vida útil prolongada e, concomitantemente, garantir a segurança do produto, mantendo a qualidade nutritiva e sensorial (BOTREL et al., 2010).

O processamento mínimo envolve as etapas de descaroçamento, lavagem, corte, embalagem e armazenamento (NARSAIAH et al., 2015; FAI et al., 2016). A manutenção da qualidade de vegetais minimamente processados envolve controle desde a produção da matéria-prima até a exposição no mercado consumidor.

Os vegetais, sejam íntegros ou minimamente processados, são extremamente perecíveis e mais suscetíveis à deterioração pós-colheita devido à alto teor de umidade (80-90%), limitando o período de armazenamento e a vida útil, causando grandes perdas econômicas em todo o mundo (ALOTAIBI; TAHERGORABI, 2018). Embora esses VMP apresentem praticidade e facilidade ao consumidor, o processamento mínimo aumenta sua perecibilidade visto que há um aumento das reações oxidativas e elevação da sua taxa metabólica (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Segundo Temiz e Ayhan (2017), os danos mecânicos provocam o aumento da atividade respiratória e da produção de etileno, tendo como consequência o aumento de alguns efeitos bioquímicos, tais como: descoloração enzimática, perda de textura, alteração de sabor, oxidação lipídica e perda de valor nutricional.

De acordo com Nascimento *et al.* (2014), essas alterações que prejudicam a qualidade dos VMP devem ser diminuídas, por ser um alimento pronto para consumo, sem nenhuma tecnologia adicional, manter suas características é um dos principais desafios dos produtores e comerciantes.

A adoção de Boas Práticas de Fabricação (BPF) pode garantir que os VMP apresentem maior vida útil e não apresentem risco para saúde (GOMES et al., 2017).

Além da adoção de BPF, pesquisas objetivando o desenvolvimento de técnicas que minimizem essas perdas e mantenham a qualidade dos vegetais têm sido promissoras e servido como foco para o desenvolvimento de tecnologias e técnicas de preservação, como refrigeração, embalagem de atmosfera controlada e embalagem de atmosfera modificada, processamento de alta pressão, revestimentos e filmes comestíveis (ANSORENA; MARCOVICH; ROURA, 2011; LUVIELMO; LAMAS, 2012; DO PRADO et al., 2018; PEREIRA et al., 2018) .

A temperatura influencia a taxa de respiração, a produção de etileno, a transpiração e a atividade enzimática. Por isso é fundamental que os vegetais sejam mantidos sob refrigeração, a fim de aumentar o tempo de armazenamento, minimizando injúrias provocadas pelo processamento (TURHAN, 2010).

O uso de revestimento e filmes comestíveis é uma outra técnica utilizada que prolonga o prazo de validade dos VMP e que vem ganhando popularidade e aceitabilidade devido a

conscientização em relação aos efeitos ambientais nocivos dos resíduos não biodegradáveis resultantes das embalagens, (ASSIS; BRITTO, 2014; GALUS; KADZINKA, 2015; GHIDELLI et al., 2018; SHIGEMATSU et al., 2018).

Geralmente são formados a partir de substâncias naturais e biodegradáveis, que são as mais aceitáveis pelo consumidor devido à sua natureza não poluente.

Revestimentos e filmes comestíveis são termos usados na área alimentar e, muitas vezes sem distinção. Entretanto, é importante distingui-los: o filme é uma película preparada separadamente do alimento, formada pela secagem da solução do biopolímero, que posteriormente é aplicado; enquanto que o revestimento ou cobertura são camadas finas de biopolímeros formados diretamente na superfície de alimentos inteiros ou minimamente processados podendo ser por aspersão ou imerso (PINHEIRO et al., 2010; HAMZAH et al., 2013).

Nos últimos anos, com a crescente popularização dos produtos minimamente processados, essa tecnologia está ganhando espaço em todo o mundo e novas formulações vêm sendo pesquisadas.

Devido a adição de uma barreira protetora sobre o vegetal recém-processado, a utilização de revestimentos comestíveis em VMP pode reduzir sua perda de água e taxa respiratória, mantendo a textura, sem alterar os componentes originais do alimento. (ORIANI et al., 2014; SAKI et al., 2019).

### **3. REVESTIMENTOS OU COBERTURAS COMESTÍVEIS**

As principais funções dos revestimentos comestíveis aplicados em VMP são: controlar a atmosfera interna dos gases, reduzir a taxa de respiração do vegetal e servir como uma barreira ao vapor de água, minimizando a perda de umidade e retardando a desidratação do vegetal. Deste modo, se retardam a senescência do produto e conseqüentemente aumentam sua validade comercial pós-colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os revestimentos comestíveis não contribuem para a poluição ambiental devido à sua natureza biodegradável em comparação aos polímeros sintéticos convencionais (NARSAIAH et al., 2015).

Na preparação dos revestimentos, as formulações devem ser líquidas ou viscosas e capazes de cobrir uniformemente a superfície do produto, além de apresentar peculiaridades como: ser “invisíveis”, ter aderência suficiente para não serem facilmente removidos no manuseio e não introduzirem alterações no sabor ou aromas originais.

Por passarem a fazer parte do alimento a ser consumido, os materiais empregados na produção dos revestimentos devem ser considerados GRAS (Generally Recognized as Safe), ou seja, serem atóxicos e seguros para o consumo (SOARES et al., 2009).

Embora o processo de preparação destes revestimentos requeira protocolos e sequências reativas específicas, o revestimento em si é um procedimento simples e passível de aplicação em larga escala.

Revestimentos comestíveis podem ser aplicados por diferentes métodos, como: *panning*, pulverização ou aspensão (spray) e imersão (dipping), sendo o último mais utilizado.

O processo de *panning* consiste em depositar o produto a ser revestido em um recipiente grande e rotativo, chamado de “pan”. A solução de revestimento é então colocada com auxílio de uma concha ou pulverizada no recipiente rotativo e o produto ou alimento é depositado dentro desse recipiente para receber uniformemente a solução de revestimento sobre a sua superfície do material alimentar. O revestimento é seco por ar forçado ou ambiente (GESCHWINDNER; DROUVEN, 2009). Produtos, particularmente pequenos como nozes e passas, são revestidos por *panning* (TALBOT, 2009).

O método aspensão é usado para aplicar uma camada espessa ou fina sobre a superfície do alimento de uma maneira uniforme. Diferente de outros sistemas, o revestimento por spray pode trabalhar com grandes áreas de superfície. A pulverização permite depositar vários tipos de soluções ou suspensões aquosas, como lipídios liquefeitos (RODRIGUES; FERNANDES, 2012).

O método de aplicação por imersão envolve submergir o alimento em um tanque de imersão que contenha a solução filmogênica. Este método é vantajoso quando o produto requer um revestimento total, pois permite obter boa uniformidade em torno de uma superfície complexa e rugosa. Após imersão e drenagem, a solução é seca sobre o produto à temperatura e tempo determinado com ou sem circulação de ar forçada (ANDRADE; SKURTYS; OSORIO, 2012).

Todavia, problemas podem ocorrer usando o método de imersão, incluindo diluição do revestimento, acúmulo de resíduos e crescimento de microrganismos no tanque de imersão (ASSIS; BRITTO, 2014; ZHONG; CAVENDER; ZHAO, 2014). Outra desvantagem do método é que a solução pode diluir a camada externa da superfície dos alimentos e degradar sua funcionalidade. Por exemplo, a camada natural de cera de frutas e legumes pode ser removida após a imersão (JIANG et al., 2019). Este método é usado principalmente para frutas, legumes e carnes (ANDRADE; SKURTYS; OSORIO, 2012; ZHONG; CAVENDER; ZHAO,

2014; TAVASSOLI-KAFRANI; SHEKARCHIZADEH; MASOUDPOUR-BEHABADI, 2016).

A performance do revestimento depende principalmente de suas propriedades físicas (viscosidade, densidade, tensão superficial) e das características dos alimentos a serem revestidos (ZHONG; CAVENDER; ZHAO, 2014).

Conhecimento das interações superficiais entre os materiais formadores de revestimento e a superfície do produto são essenciais para que a adesão e o desempenho do revestimento sejam otimizados em termos de barreira e propriedades mecânicas (ASSIS; BRITTO, 2014; HASSAN et al., 2018).

Adesão e durabilidade do revestimento são importantes para que os vegetais realmente recebam o benefício dos revestimentos, devendo permanecer aderido à superfície do alimento durante o armazenamento e transporte (NARSAIAH et al., 2015; SARANTÓPOULOS; COFCEWICZ, 2016).

As bases utilizadas na formação dos revestimentos, podem ser classificados em duas categorias: hidrofílicos (solúveis em água) e hidrofóbicos (insolúveis em água).

Os hidrofílicos são caracterizados por materiais que apresentam ligações covalentes polares. São estruturas nas quais há a predominância dos grupos amino ou hidroxila e carboxila ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{OH}$  e  $\text{COO}^-$ ). Por serem hidrofílicos, apresentam boa solubilidade em meio aquoso. Alguns exemplos desses materiais são os polissacarídeos como amido, goma xantana e celulose. São revestimentos indicados para superfícies fatiadas, frutas com aspectos brilhantes e com presença de cargas superficiais (ASSIS; BRITTO, 2014).

Já os revestimentos hidrofóbicos são os materiais cujas ligações tendem a ser eletricamente neutras, ou seja, não apresentam configurações polares definidas. Nesta classe, se encontram os revestimentos a base de proteínas (gelatina, proteína do soro do leite, zeína) ou lipídios (cera de abelha, cera de carnaúba). Neste caso, é necessário a utilização de solventes apolares, como a acetona, o álcool e o hexano. Esses revestimentos são mais indicados para recobrir vegetais com alta taxa de transpiração (ASSIS; BRITTO, 2014).

As matérias-primas utilizadas na formação dos revestimentos comestíveis podem ser de origem vegetal, animal ou formarem um híbrido com a combinação de ambos, a escolha depende das características do alimento a ser revestido e do objetivo desejado com o revestimento a ser aplicado (GALUS; KADZINKA, 2015; LEITE et al., 2015; SAPPER; CHIRALT, 2018).

Os polissacarídeos, os lipídios e as proteínas de origens diversas têm sido as matérias-primas mais comumente empregadas na formulação dos revestimentos e filmes comestíveis. As diferentes bases utilizadas apresentam tanto vantagens como desvantagens específicas de cobertura (AKSU et al., 2016; SCHMID; MÜLLER, 2018).

Para aumentar a barreira ao vapor de água, lipídios podem ser adicionados à formulação de base proteica, contudo o revestimento obtido dessa combinação (lipídeo-proteína) é geralmente opaco, instável e frágil. Todavia, estudos relatam que a adição de um polissacarídeo na formulação de revestimentos a base de lipídeo e proteína elimina esses problemas e mantém as qualidades de cada componente (ENUJIUGHA; OYINLOYE, 2018; RUBILAR et al., 2015).

### 3.1 Lipídeos

Os lipídeos são caracterizados por serem hidrofóbicos, onde predominam moléculas com estruturas cujas ligações tendem a ser neutras. Na presença de água, podem se aglomerar e excluir as moléculas polares. Esses materiais, apresentam excelente propriedade de barreira a oxigênio e água. São indicados para o revestimento de vegetais com alta taxa de transpiração, nas quais a degradação ocorre essencialmente por perda de água, levando a desidratação e alteração do aspecto superficial (RUBILAR et al., 2015; TREVISANI et al., 2017). Os principais tipos de lipídeos utilizados como base em revestimentos são cera de carnaúba, cera de abelha (FAGUNDES et al., 2015; TREVISANI et al., 2017; HAGER et al., 2019).

Formiga *et al.* (2019), estenderam a vida útil de goiabas vermelhas 'Pedro Sato' em 6 dias usando revestimentos comestível de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e cera de abelha (CA). Os revestimentos reduziram a perda de massa, mantiveram a cor verde e aumentaram a firmeza em comparação ao fruto controle.

Miranda-Linares *et al.* (2018), mostraram que o uso de revestimento ativo a base de nanopartículas de cera de carnaúba e goma-xantana obteve um efeito positivo sobre os parâmetros de qualidade relacionados com a conservação eficiente e a extensão da vida útil de tomates armazenados a 12 °C devido à modificação das propriedades da barreira, permitindo uma redução sobre alterações no metabolismo. González-Reza *et al.* (2018), mostraram que o mesmo revestimento reduziu o índice de escurecimento e perda de firmeza de goiaba, mostrando que o mesmo apresenta um alto potencial para uso em cortes fresco de frutas.

### 3.2 Proteínas

As proteínas são divididas em duas categorias: fibrosas e globulares. As proteínas fibrosas são insolúveis em água e são os principais materiais nas estruturas de tecido animal, enquanto as proteínas globulares são solúveis em água e solúveis em soluções aquosas de ácidos, bases ou sais e desempenham várias funções em sistemas vivos. Já as proteínas globulares apresentam a capacidade de desdobrarem e se cruzarem como novas estruturas poliméricas, sendo assim excelentes bases para revestimentos e filmes (SCOPES, 1994; HAN, 2014).

Comparando com polissacarídeos e lipídeos, os revestimentos a base de proteínas apresentam maior estabilidade e frequentemente maior durabilidade (SCHMID; MÜLLER, 2018).

Para os revestimentos de base proteica, geralmente o solvente usado para sua formulação se limita ao etanol, água ou a sua combinação (SCOPES, 1994). A interação cadeia a cadeia determina a força do revestimento, as interações mais altas produzem revestimentos mais fortes, mas são menos permeáveis a vapores, líquidos e gases. Portanto, os revestimentos à base de proteínas são considerados bloqueadores de oxigênio altamente eficazes, mesmo com baixa umidade relativa (UR) (ZINK et al., 2016; SCHMID; MÜLLER, 2018).

Diferentes tipos de proteína têm sido utilizados para produzir revestimentos comestíveis, que incluem proteína de soro de leite, glúten de trigo, gelatina, zeína de milho, caseína e proteína de soja (HASSAN et al., 2018).

Yousuf e Srivastava (2019), associaram revestimento a base de proteína de soja isolada com mel e avaliaram sua eficácia em abacaxis frescos. O revestimento incorporado com mel causou sinergicamente maior retenção de compostos fenólicos, além de ajudar a retardar o desenvolvimento microbiano. Ghidelli *et al.* (2018), também constataram que a aplicação do revestimento à base de proteína isolada de soja e caseína pode prolongar a vida útil da berinjela minimamente processada.

Scartazzini *et al.* (2019), mostraram que revestimentos comestíveis à base de gelatina incorporados com óleo essencial de menta mostraram ser eficaz na inibição do desenvolvimento dos microrganismos *Botrytis cinerea* e *Rhizopus stolonifer*.

### 3.3 Polissacarídeos

Os polissacarídeos, como a celulose, amido, quitosana, goma xantana e a pectina são também caracterizados como materiais hidrofílicos. São polímeros amplamente utilizados para

preparar filmes ou revestimentos comestíveis (CAZÓN et al., 2017). Os polissacarídeos funcionam como bloqueadores eficazes de oxigênio, devido à sua forma de rede polimérica ligada a hidrogênio bem ordenada, todavia eles não se comportam bem como barreiras à umidade (COLTELLI et al., 2016; HASSAN et al., 2018).

Os revestimentos de polissacarídeos são incolores, têm uma aparência livre de óleo e um conteúdo calórico menor, podem ser aplicados para prolongar o prazo de validade de frutas, vegetais, mariscos ou produtos à base de carne, reduzindo significativamente a desidratação, o escurecimento da superfície e a oxidação (CAZÓN et al., 2017).

Recentemente, Falcó et. al (2019), observaram que a combinação de carragena e extrato de chá verde apresentou atividade antiviral significativa contra o norovírus murino, um substituto cultivável do norovírus e o vírus da hepatite A em framboesa e mirtilo armazenados a 10 ° C e 25 ° C por 7 dias e 14 dias, respectivamente.

Um outro estudo demonstrou a eficácia da goma de caju combinada com carboximetilcelulose (CMC) no aumento do prazo de validade das goiabas armazenadas em temperatura ambiente (FORATO et al., 2015). Os resultados mostraram que o tratamento com goma de caju tem um efeito antimicrobiano, indicando que a proliferação de fungos no mesocarpo / pericarpo foi reduzida em comparação com frutas controle. Além disso, o revestimento retardou a degradação interna e manteve a aparência externa da fruta durante 12 dias de armazenamento.

#### **4. ADITIVOS E ATIVAÇÃO DOS REVESTIMENTOS**

O desenvolvimento de embalagens para alimentos com propriedades particulares tem motivado a aplicação de diversos aditivos com intuito de alterar as características poliméricas a que se deseja, sejam propriedades físicas, mecânicas ou a inserção de funções ativas no material, propiciando melhoria nas propriedades desejadas (LEE; DANGARAN; KROCHTA, 2002; VITAL et al., 2018).

Boa elasticidade e flexibilidade, com alta tenacidade e baixa fragilidade, é um pré-requisito para revestimentos comestíveis de forma a evitar rachaduras durante o manuseio e armazenamento (SAPPER; CHIRALT, 2018).

A rigidez do polímero é resultante de suas interações intra e intermoleculares (Forças de Van der Walls e ligações de hidrogênio). Os plastificantes desfazem tais interações aumentando a distância entre as cadeias, conseqüentemente aumentando a flexibilidade do material (RODRIGUES; FERNANDES, 2012; BOTELHO et al., 2016). Os compostos mais

utilizados compreendem os polióis (glicerol e sorbitol), lipídios e derivados (ácidos graxos, ésteres e fosfolipídios) (MALI et al., 2005; SAPPER; CHIRALT, 2018; SHARMA et al., 2019). A concentração pode variar de 10% a 60%, dependendo do hidrocolóide (GALUS; KADZINKA, 2015).

Emulsificantes podem ser adicionados às soluções de revestimento para melhorar a molhabilidade e permitir a aplicação de um revestimento mais uniforme. A adição de surfactante ou emulsificantes aumenta a capacidade do revestimento de suprimir o amadurecimento. O emulsificante mais comumente utilizado em preparações de revestimento comestível é o Tween 80 (FAGUNDES et al., 2015).

Dentre os materiais aditivados, as ditas embalagens ativas para alimentos, são embalagens com tecnologia que permite a interação com modificação nas condições do alimento de forma desejável, sendo importantes para preservar o frescor e obter maior validade comercial dos produtos (SOARES et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2014).

Estas embalagens podem ser incorporadas com aditivos ou tê-los imobilizados com intuito de promover funções ativas como: absorvedor de oxigênio, dióxido de carbono, etileno, umidade, odor e aromas desagradáveis; liberar etanol, sorbatos, antioxidantes e/ou outros conservantes e compostos antimicrobianos (HAN, 2014; VITAL et al., 2018).

Tecnologias alternativas vem sendo estudas como a utilização da nanotecnologia, a incorporação de probióticos e a utilização de óleos essenciais e novos surfactantes como agentes antimicrobianos.

A utilização da nanotecnologia ocupou um lugar importante na indústria de alimentos, com a redução do tamanho, há um aumento na área da superfície, o que leva à modificação de propriedades com potencial eficácia na preservação de vegetais frescos (GONZÁLEZ-REZA et al., 2018).

Os revestimentos produzidos com nanopartículas de quitosana aplicados às maçãs apresentaram resultados positivos com alteração na taxa respiratória dos frutos, diminuindo a produção de etileno (33%), além de controlar a atividade enzimática da polifenol oxidase e peroxidase (SAHRAEI KHOSH GARDESH et al., 2016). O efeito da incorporação de nanocompósitos de Ag-quitosana em revestimentos comestíveis na qualidade do melão fresco ao longo de 13 dias a 5 °C foi estudado por Ortiz-Duarte, Pérez-Cabrera, Artés-Hernández, & Martínez-Hernández, (2019). A taxa de respiração do melão recém-cortado foi reduzida, além de reduzir também o desenvolvimento de microrganismos do fruto após os tratamentos com revestimento.

O uso do revestimento comestível com probióticos é um método que visa desenvolver alimentos funcionais e ajuda a estender o prazo de validade dos vegetais (GUNASEKARA et al., 2011; PAVLI et al., 2018; PEREIRA et al., 2018).

Estudo realizado por Khodaei & Hamidi-Esfahani, (2019), mostrou que o uso de probióticos como composto bioativo em revestimentos comestível a base de carboximetilcelulose (CMC) sendo este um transportador para fornecer uma quantidade adequada de *Lactobacillus plantarum* em morangos frescos, não apenas melhorou a vida útil da fruta, mas também pode garantir a funcionalidade e propriedades sanitárias do alimento. Em outro estudo, realizado por Oregel-Zamudio et al., (2017), foi verificada a eficácia dos métodos combinados de preservação; revestimento comestível de cera de candelilla e bactérias de biocontrole, esta combinação reduziu significativamente os danos causados por *Rhizopus stolonifer* prolongando a vida útil de morangos.

Os óleos essenciais (OE) extraídos de plantas e especiarias mostram atividade antimicrobiana e antioxidante, o que os tornam componentes de interesse na indústria de alimentos. A maioria destes são categorizado como GRAS (Generally Recognized as Safe), ou seja, atóxico e seguros para o consumidor, podendo ser incorporado aos alimentos como um conservante natural (HASSAN et al., 2018).

O revestimento comestível ativo a base de alginato de sódio e óleo essencial de capim-limão aplicados em maçãs “Fuji” minimamente processadas reduziu significativamente a taxa de produção de etileno, retardando o escurecimento da fruta (SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)

O Lauroyl arginate ethyl (LAE) é um novo surfactante derivado do ácido láurico e da arginina. Sua principal utilização é como conservante em alimentos. Este pode ser usado sozinho ou em conjunto com outros conservantes, tais como enzimas, óleos essenciais, sorbatos, benzoatos, etc. (Muriel-Galet et al., 2016). O LAE foi incorporado com sucesso em sistemas convencionais de polímero para inibir várias bactérias patogênicas (OTERO et al., 2014; GAIKWAD et al., 2017; XU et al., 2018).

A Tabela 1 exemplifica de maneira geral bases que são utilizadas para formação de revestimentos, o composto ativo e a função desse revestimento no alimento.

**Tabela 1.** Revestimentos comestíveis e ativos aplicados em vegetais.

<b>Base do revestimento</b>	<b>Composto Ativo</b>	<b>Função do Revestimento</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>
<b>Polissacarídeos</b> Ágar-ágar	Inerente à base	Proteger a banana contra doenças fúngicas pós-colheita causadas por <i>Colletotrichum musae</i> e <i>Fusarium moniliforme</i>	(HUSSEIN ZIEDAN et al., 2018)
Alginato de sódio	Extrato de ruibarbo	Melhorar a qualidade pós-colheita e prolongar a vida útil dos frutos de pêssego.	(LI et al., 2019)
Amido	Óleo essencial de capim-limão;	Manter as características físico-químicas e inibir o crescimento microbiano no mamão papaya;	(ALOTAIBI E TAHERGORABI, 2018);
Carragena	Nanopartículas de ZnO; Ácido ascórbico	Reduzir as deteriorações físicas e biológicas da manga; Adiar alterações da cor, sabor e textura de pêras minimamente processadas;	(BARRIOBERO et al., 2018); (HAMZAH et al., 2013);

**Continua próxima página**

## Continuação

Celulose (carboximetilcelulose)	Extratos de folhas e sementes de moringa	Melhorar a qualidade pós-colheita do abacate e reduzir a iminência de doenças	(TESFAY et al., 2018)
Quitosana	Óleo essencial de timol;	Manter a qualidade de figos frescos ao longo do tempo;	(SAKI et al., 2019)
<b>Proteínas</b>			
Gelatina	Amla em pó; Gel de aloe vera e extrato de chá preto e verde	Diminuir a taxa de oxidação do óleo durante a fritura de bananas chips; Manter as características físico-químicas e sensoriais e inibir o desenvolvimento microbiano em laranjas minimamente processadas e refrigeradas	(ISHRA; KALITA, 2017); (RADI et al., 2017)
Proteína do soro do leite concentrada (WPC)	Ácido cítrico e ácido ascórbico-	Ação antioxidante evitando o escurecimento de maçãs minimamente processadas.	(AMARAL, 2014)
Proteína do soro do leite isolada (WPI)	Extrato de Alecrim	Redução do teor de acrilamida e melhora na firmeza de batatas fritas	(TRUJILLO-AGUDELO et al., 2019)

**Continua próxima página**

**continuação**

Zeína	Ácido benzóico	Conservar os atributos físico-químicos e retardar o crescimento de microrganismos em abóboras fatiadas	(HAGER et al., 2019)
<b>Lipídeos</b>	Hidroxipropilmetilcelulose	Estender a vida útil de goiabas vermelhas 'Pedro Sato'.	(FORMIGA et al., 2019)
Cera de abelha			
Cera de carnaúba	Monolaurato de glicerol; Inerente à base	Prolongar a validade comercial de jujubas indianas e manter a qualidade destas frutas; Manter a qualidade física e físico-química de laranjas 'Valencia Delta' durante o armazenamento	(CHEN, SUN E YANG, 2019); (PEREIRA, MACHADO E COSTA, 2016)

Fonte: Elaborado pelos autores

## 5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este artigo revisou os estudos atuais sobre as aplicações pós-colheita de revestimentos comestíveis para VMP. Vários estudos revelaram que os revestimentos comestíveis preservam com eficiência a qualidade dos alimentos e prolongam sua validade comercial.

Para que o revestimento comestível tenha eficácia no seu recobrimento variáveis como o tipo de vegetal e o método de aplicação devem ser levados em consideração. Não existe um revestimento único que atenda todas as necessidades de todos os vegetais, nem um método universal para aplicação. É necessário saber as características do vegetal a ser recoberto para que o revestimento aja de maneira esperada.

A adição de aditivos e/ou a combinação de diferentes bases, deve levar em consideração a otimização de propriedades físicas e mecânicas, de barreira e reológicas do revestimento. Assim como para possível ativação do material deve ser considerado a qualidade e segurança do VMP, para que este possa atuar como um veículo importante de embalagem, mantendo seu frescor e prolongando sua validade comercial.

Apesar dos benefícios da aplicação de revestimentos comestíveis em VMP, as aplicações comerciais ainda são limitadas. Perspectivas futuras incluem a produção de revestimentos comestíveis em larga escala, visto que são uma boa opção para a adição de funcionalidade aos vegetais minimamente processados, uma vez que podem ser realizados de maneira homogênea, segura e com baixo custo de produção.

É necessário explorar mais o campo de pesquisas de produção revestimentos comestíveis compostos, contendo duas ou mais combinações de técnicas e aditivos, que aprimore e/ou adicione funcionalidades exclusivas aos VMP.

Com a existência de uma preocupação global no aspecto da saúde e meio ambiente, estudos que objetivem o desenvolvimento de revestimentos comestíveis com bases ambientalmente amigáveis e aditivados com compostos naturais e/ou orgânicos, devem ser explorados continuamente, visando oferecer ao consumidor cada vez mais um alimento seguro e de qualidade.

Sendo assim conclui-se que desenvolver cada vez mais tecnologias que não apenas mantenham a qualidade e segurança dos VMP, mas que também agregue valor comercial e nutricional, são importantes é necessárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. **O termômetro das perdas do setor**. Disponível em: <<http://www.abrasnet.com.br/economia-e-pesquisa/perdas/pesquisa-2017/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- AKSU, F. et al. Effects of different packaging techniques on the microbiological and physicochemical properties of coated pumpkin slices. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 549–554, 2016.
- ALOTAIBI, S.; TAHERGORABI, R. Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 203–209, 2018.
- AMARAL, D. P. do. **Revestimento ativo antiescurecimento à base de proteína do soro de leite aplicado em maçãs minimamente processadas**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, RJ.
- ANDRADE, R. D.; SKURTYYS, O.; OSORIO, F. A. Atomizing Spray Systems for Application of Edible Coatings. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 3, p. 323–337, 2012.
- ANSORENA, M. R.; MARCOVICH, N. E.; ROURA, S. I. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, n. 1, p. 53–63, 2011.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. De. Review: edible protective coatings for fruits: fundamentals and applications. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97, 2014.
- BARRIOBERO, J. et al. Edible coatings with antioxidant properties for fresh-cut ‘Conference’ pear. **Acta Horticulturae**, n. 1209, p. 165–172, 2018.
- BOTELHO, L. N. S. et al. Quality of guava cv. ‘Pedro Sato’ treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 214–220, 2016.
- BOTREL, D. A. et al. Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1814–1820, 2010.
- CAZÓN, P. et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, 2017.
- CHEN, H.; SUN, Z.; YANG, H. Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam.) fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 157–164, 2019.
- CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 274p.

COLTELLI, M.-B. et al. State of the art in the development and properties of protein-based films and coatings and their applicability to cellulose based products: an extensive review. **Coatings**, v. 6, n. 1, p. 1, 2016.

DO PRADO, I. N. et al. Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 4945–4955, 2018.

FAGUNDES, C. 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**, v. 193, p. 249–257, 2015.

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

FALCÓ, I. et al. On the use of carrageenan matrices for the development of antiviral edible coatings of interest in berries. **Food Hydrocolloids**, v. 92, p. 74–85, 2019.

FERREIRA, M. S. L. et al. Edible films and coatings based on biodegradable residues applied to acerolas (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 5, p. 1634–1642, 2016.

FORATO, L. A. et al. Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 5, p. 68–74, 2015.

FORMIGA, A. S. et al. Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato’. **Food Chemistry**, v. 290, p. 144–151, 2019.

GAIKWAD, K. K. et al. Development of antimicrobial polyolefin films containing lauroyl arginate and their use in the packaging of strawberries. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 1706–1716, 2017.

GALUS, S.; KADZINKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Foods Science & Technology**, v. 45, p. 273–283, 2015.

GESCHWINDNER, G.; DROUVEN, H. Manufacturing processes: Chocolate panning and inclusions. In: **Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products**. Amsterdã: Elsevier Ltd., 2009. p. 397–413.

GHIDELLI, C. et al. Controlling enzymatic browning of fresh-cut eggplant by application of an edible coating and modified atmosphere packaging. **Acta Horticulturae**, v. 1209, p. 239–245, 2018.

GOMES, T. C. et al. Uso de cobertura à base de fécula de mandioca na conservação da qualidade pós-colheita de mamões. p. 1, 2017.

GONZÁLEZ-REZA, R. M. et al. Effect of solid lipid nanoparticles coating on shelf life of refrigerated fresh-cut guava. In: Acta Horticulturae, **Anais...International Society for Horticultural Science**, 2018.

GUNASEKARA, R. A. Y. S. A. et al. Stereology and computer assisted three-dimensional reconstruction as tools to study probiotic effects of *Aeromonas hydrophila* on the digestive tract of germ-free *Artemia franciscana* nauplii. **Journal of Applied Microbiology**, v. 110, n. 1, p. 98–105, 2011.

HAGER, J. V. et al. Edible corn-zein-based coating incorporated with nisin or lemongrass essential oil inhibits *Listeria monocytogenes* on cultured hybrid striped bass, morone chrysops × morone saxatilis, filets during refrigerated and frozen storage. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 50, n. 1, p. 204–218, 2019.

HAMZAH, H. M. et al. Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). **Postharvest Biology and Technology**, v. 75, p. 142–146, 2013.

HAN, J. H. Edible Films and Coatings. In: **Innovations in Food Packaging**. Elsevier, p. 213–255, 2014.

HARDENBURG, R. E. **Wax and related coatings for horticultural products; a bibliography**. Washington: U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, 1967.

HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

HUSSEIN ZIEDAN, E. S. et al. Agar-agar a promising edible coating agent for management of postharvest diseases and improving banana fruit quality. **Journal of Plant Protection Research**, v. 58, n. 3, 2018.

ISHRA, P. M.; KALITA, D. Assessment of pre-treatment of edible coatings prepared from gelatine and polyphenols (extracted under optimized conditions from amla fruit powder) on stability of banana chips. **Acta Alimentaria**, v. 46, n. 2, p. 196–205, 2017.

JIA, C. G. et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 28–37, 2009.

JIANG, A. et al. Red LED irradiation maintains the postharvest quality of broccoli by elevating antioxidant enzyme activity and reducing the expression of senescence-related genes. **Scientia Horticulturae**, v. 251, p. 73–79, 2019.

JIAOA, W. et al. Preparation of a chitosan-chlorogenic acid conjugate and its application as edible coating in postharvest preservation of peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, n. 154, p. 129–136, 2019.

KHODAEI, D.; HAMIDI-ESFAHANI, Z. Influence of bioactive edible coatings loaded with *Lactobacillus plantarum* on physicochemical properties of fresh strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 156, 2019.

- LEE, S. Y.; DANGARAN, K. L.; KROCHTA, J. M. Gloss stability of whey-protein/plasticizer coating formulations on chocolate surface. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1121–1125, 2002.
- LEITE, B. S. F. et al. Revestimento comestível à base de goma xantana, compostos lipofílicos e/ou cloreto de cálcio na conservação de morangos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 4, p. 1027–1036, 2015.
- LI, X. et al. Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108685, 2019.
- LUGULLO, M.; SALLES, S. **Cedes lança livro sobre perdas e desperdício de alimentos**. Disponível em: <[https://www2.camara.leg.br/camaranoticias/institucional/materias/educacao/569745-cedes-lanca-nesta-quarta-feira-\(12\)-livro-sobre-perdas-e-desperdicio-de-alimentos.html](https://www2.camara.leg.br/camaranoticias/institucional/materias/educacao/569745-cedes-lanca-nesta-quarta-feira-(12)-livro-sobre-perdas-e-desperdicio-de-alimentos.html)>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- LUVIELMO, M.; LAMAS, S. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8–15, 2012.
- MALI, S. et al. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 157–164, 2005.
- MEINDRAWAN, B. et al. Nanocomposite coating based on carrageenan and ZnO nanoparticles to maintain the storage quality of mango. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 140–146, 2018.
- MIRANDA-LINARES, V. et al. Solid lipid nanoparticles based edible coating for saladette tomato preservation. In: Acta Horticulturae, **Anais...International Society for Horticultural Science**, 2018.
- NARSAIAH, K. et al. Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 212–218, 2015.
- NASCIMENTO, K. de O. et al. Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. **Acta Tecnológica**, v. 9, p. 48–61, 2014.
- OREGEL-ZAMUDIO, E. et al. Effect of candelilla wax edible coatings combined with biocontrol bacteria on strawberry quality during the shelf-life. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 273–279, 2017.
- ORIANI, V. B. et al. Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 2, p. 189–194, 2014.
- ORTIZ-DUARTE, G. et al. Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. **Postharvest Biology and Technology**, v. 147, p. 174–184, 2019.
- OTERO, V. et al. Evaluation of two antimicrobial packaging films against *Escherichia coli* O157: H7 strains invitro and during storage of a Spanish ripened sheep cheese (Zamorano). **Food Control**, v. 42, p. 296–302, 2014.

PAVLI, F. et al. Probiotic incorporation in edible films and coatings: Bioactive solution for functional foods. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 1, 2018.

PEREIRA, G. S.; MACHADO, F. L. D. C.; COSTA, J. M. C. Quality of ‘ Valencia Delta ’ orange after degreening and coating with wax. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 936–940, 2016.

PEREIRA, J. O. et al. Impact of whey protein coating incorporated with Bifidobacterium and Lactobacillus on sliced ham properties. **Meat Science**, v. 139, p. 125–133, 2018.

PINHEIRO, A. C. et al. Utilização de revestimentos/filmes edíveis para aplicações alimentares. **Boletim da Biotecnologia**, p. 18–29, 2010. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16725/1/3559.pdf>>. Acessado em: 03 mar. 2019.

RADI, M. et al. Effect of gelatin-based edible coatings incorporated with Aloe vera and black and green tea extracts on the shelf life of fresh-cut oranges. **Journal of Food Quality**, v. 2017, p 1-10, 2017.

RODRIGUES, S. (Ed.), FERNANDES, F. (Ed.). **E-book: Advances in Fruit Processing Technologies**. Boca Raton: CRC Press, 2012. 472p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1201/b12088>>. Acessado em: 03 mar. 2019.

RUBILAR, J. F. et al. Physical properties of emulsion-based hydroxypropyl methylcellulose/whey protein isolate (HPMC/WPI) edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 123, p. 27–38, 2015.

SAHRAEI KHOSH GARDESH, A. et al. Effect of nanochitosan based coating on climacteric behavior and postharvest shelf-life extension of apple cv. Golab Kohanz. **LWT - Food Science and Technology**, v. 70, p. 33–40, 2016.

SAKI, M. et al. Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2019.

SALVIA-TRUJILLO, L. et al. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 105, p. 8–16, 2015.

SANTOS, E. C. M. **Filmes biodegráveis de galactomanana: uso na conservação de frutos**. 2012. 124f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba.

SAPPER, M.; CHIRALT, A. Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. **Coatings**, v. 8, n. 5, p. 152, 2018.

SARANTÓPOULOS, C.; COFCEWICZ, L. S. **Embalagens Ativas para Produtos Perecíveis**: Disponível em: <[http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/cetea/informativo/v28n3/artigos/v28n3\\_artigo3.pdf](http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/cetea/informativo/v28n3/artigos/v28n3_artigo3.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2018.

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

SCHMID, M.; MÜLLER, K. Whey Protein-Based Packaging Films and Coatings. In: **Whey Proteins**, Elsevier, p 407-437, 2018.

SCOPES, R. K. **Protein purification : principles and practice**. 3. ed. New York: Springer-Verlag, 1994. 380p.

SHANKAR, S.; RHIM, J. W. Preparation of nanocellulose from micro-crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar-based composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 135, p. 18–26, 2016.

SHARMA, P. et al. **Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review** **International Journal of Vegetable Science**, 2019. . Disponível em: <[www.emeraldinsight.com/0034-6659.htm](http://www.emeraldinsight.com/0034-6659.htm)>. Acesso em: 27 set. 2019.

SHIGEMATSU, E. et al. Edible coating with probiotic as a quality factor for minimally processed carrots. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3712–3720, 2018.

SOARES, N. D. F. F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370–378, 2009.

SOUSA, H. A. de F. et al. Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. **Nutrition & Food Science**, v. 49, n. 5, p. 911–924, 2019.

SPAGNOL, W. A. et al. Reducing losses in the fruit and vegetable chains by the analysis of shelf life dynamics. **J. Food Technology**, v. 21, 2018.

TALBOT, G. **Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products**, Amsterdã: Elsevier Ltd, 2009. 453p.

TAVASSOLI-KAFRANI, E.; SHEKARCHIZADEH, H.; MASOUDPOUR-BEHABADI, M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 360–374, 2016. .

TEIXEIRA, B. et al. Characterization of fish protein films incorporated with essential oils of clove, garlic and organum: Physical, antioxidant and antibacterial properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 533–539, 2014.

TEMIZ, A.; AYHAN, D. K. **Enzymes in Minimally Processed Fruits and Vegetables**. 2. ed. Boston, MA: Springer, 2017.

TESFAY, S. Z. et al. Carboxyl methylcellulose (CMC) incorporated with moringa leaf and seed extracts as new postharvest organic edible coating for avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. **Acta Horticulturae**, v. 1201, n. Cmc, p. 161–168, 2018.

TRESSELER, J. F. M. et al. Avaliação da qualidade microbiológica de hortaliças minimamente processadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. spe, p. 1722–1727, 2009.

TREVISANI, M. et al. Effects of beeswax coating on the oxidative stability of long-ripened Italian salami. **Journal of Food Quality**, v. 2017, 2017.

TRUJILLO-AGUDELO, S. et al. Evaluation of the application of an edible coating and different frying temperatures on acrylamide and fat content in potato chips. **Journal of Food Process Engineering**, ago. 2019.

TURHAN, K. N. Is Edible Coating an Alternative to MAP for Fresh and Minimally Processed Fruits? **Acta Horticulturae**, n. 876, p. 299–305, 2010.

VIEIRA, A. et al. Edible Coatings Enriched with Essential Oils on Apples Impair the Survival of Bacterial Pathogens through a Simulated Gastrointestinal System. **Foods**, v.8, n. 57, p. 1–12, 2019.

VITAL, A. C. P. et al. Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 4945–4955, 2018.

XU, X. H. et al. Mechanisms of  $N\alpha$ -lauroyl arginate ethyl ester against *Penicillium digitatum* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3675–3682, 2018.

YOUSUF, B.; SRIVASTAVA, A. K. Impact of honey treatments and soy protein isolate-based coating on fresh-cut pineapple during storage at 4 °C. **Acta Horticulturae**, v. 1209, p. 239–245, 2019.

ZHONG, Y.; CAVENDER, G.; ZHAO, Y. Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 1–8, 2014.

ZINK, J. et al. Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 9, p. 1–45, 2016.

**CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA FÉCULA  
DE MANDIOCA COMO BASE PARA DESENVOLVIMENTO DE  
REVESTIMENTO ATIVO ANTIBACTERIANO INCORPORADO COM  
ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (SHINUS TERENBITHIFOLIUS  
RADDI)**

Maria Clara Guimarães<sup>1</sup>; Carlos Eduardo de Souza Teodoro<sup>2</sup>; Joyce Fagundes Gomes Motta<sup>1</sup>;  
Nathália Ramos de Melo<sup>1,2</sup>

1 Departamento de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,  
CEP: 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

2 Departamento de Engenharia de Agronegócios, Universidade Federal Fluminense, CEP:  
27255-125, Volta Redonda, RJ, Brasil.

Artigo submetido à Revista Food and Bioprocess Technology em fevereiro de 2020.

## RESUMO

Têm-se buscado por métodos naturais para conservação de vegetais. Revestimentos processados a partir de polímeros naturais não tóxicos têm se firmado como uma nova categoria de materiais de grande potencial para aplicação como revestimentos protetores comestíveis pós-colheita sobre vegetais. Este estudo teve como objetivo avaliar as características da fécula de mandioca como base para revestimento e a ação antibacteriana desse revestimento incorporado com óleo essencial (OE) de aroeira frente as principais bactérias deteriorantes de vegetais: *Erwínia carotovora*, *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Foi preparado uma solução filmogênica com 3% de amido de mandioca (v/v) adicionada ou não de 0,1% de Tween<sup>®</sup> 80 (v/v) e diferentes concentrações do OE de aroeira (10,15 e 20%). Para caracterização do revestimento, foram realizadas as análises de espectroscopia de reflexão total atenuada por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR), análise de amilose e amilopectina, e análise viscoamilográfica (RVA) da fécula de mandioca. Para avaliação da atividade antimicrobiana, foi realizado o teste de difusão em disco, onde o disco foi substituído pelo próprio revestimento, devido sua viscosidade. Os ensaios foram realizados em triplicata. O teste de variância (ANOVA) foi usado para análise estatística. A fécula de mandioca apresentou boa viscosidade para ser utilizada como revestimento. A análise de FTIR mostrou que o OE de aroeira foi incorporado ao revestimento como o desejado. Constatou-se a presença de atividade antimicrobiana contra todas as bactérias testadas, apresentando maior inibição (~14mm) para *P. syringae* e menor (~9mm) para *E. carotovora*. A adição de Tween<sup>®</sup> 80 como dispersante reduziu a atividade antimicrobiana da solução filmogênica. Utilizando de uma tecnologia com componentes naturais, à solução filmogênica de fécula de mandioca pode ser incorporado OE de aroeira podendo vir a ser utilizado como material ativo na conservação de vegetais visando a extensão de sua validade comercial.

Palavras-chave: antimicrobiano, embalagem ativa, pimenta rosa

## ABSTRACT

They have been looking for natural methods for vegetable conservation. Coatings processed from non-toxic natural polymers have established themselves as a new category of high potential materials for application as post-crop edible protective coatings on vegetables. The aim of this study was to evaluate the characteristics of cassava starch as a base for coating and the antibacterial action of this coating incorporated with aroeira essential oil (EO) against the main deteriorating bacteria of plants: *Erwínia carotovora*, *Pseudomonas syringae* and *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*. A filmogenic solution was prepared with 3% cassava starch (v / v) added or not with 0.1% Tween<sup>®</sup> 80 (v / v) and different mastic EO concentrations (10.15 and 20%). For coating characterization, Fourier Transform Attenuated Infrared Total Reflection Spectroscopy (FTIR-ATR), amylose and amylopectin analysis, and cassava starch viscoamylographic analysis (RVA) were performed. For evaluation of antimicrobial activity, the disk diffusion test was performed, where the disk was replaced by the coating itself, due to its viscosity. Assays were performed in triplicate. The variance test (ANOVA) was used for statistical analysis. Cassava starch showed good viscosity to be used as a coating. FTIR analysis showed that mastic EO was incorporated into the coating as desired. Antimicrobial activity was found against all bacteria tested, showing higher inhibition (~ 14mm) for *P. syringae* and lower (~ 9mm) for *E. carotovora*. The addition of Tween<sup>®</sup> 80 as a dispersant reduced the antimicrobial activity of the filmogenic solution. Using a technology with natural components, the cassava starch filmogenic solution can be incorporated into the aroeira OE and may be used as an active material in the conservation of vegetables aiming at extending its commercial validity.

Keywords: active packaging, antimicrobial, Brazilian pepper

## 1. INTRODUÇÃO

Nos setores da indústria alimentícia, a preservação dos alimentos é extremamente importante e a contaminação microbiana tem uma influência significativa na qualidade dos alimentos, pois esta pode comprometer a segurança, devido à presença de bactérias patogênicas e status de preservação, através do desenvolvimento de bactérias deteriorantes que reduzem o prazo de validade do produto (DEHGHANI; HOSSEINI; REGENSTEIN, 2018).

Nos sistemas alimentares modernos, técnicas avançadas de embalagem desempenham um grande papel na manutenção da qualidade do alimento durante o armazenamento. Entre as técnicas, o revestimento comestível se destaca devido à sua natureza não poluente (SHARMA et al., 2019). Os revestimentos comestíveis incorporados de aditivos quando em contato com a superfície do alimento, local onde a maioria das reações químicas e microbiológicas ocorre, pode liberar de forma gradativa para o alimento, o aditivo que lhe foi incorporado (SOARES et al., 2009).

O revestimento comestível ativo antimicrobiano é uma tecnologia promissora de embalagem ativa que pode ser aplicada para aumentar a segurança desses alimentos utilizando antimicrobianos naturais (CHEN; SUN; YANG, 2019; SOUSA et al., 2019; YOUSUF; SRIVASTAVA, 2019). Dentre diversos outros produtos naturais, extratos vegetais e óleos essenciais vêm sendo largamente estudados para uso como conservantes naturais de alimentos e, têm demonstrado promissoras propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antiparasitárias (ALIKHANI, 2014; OTERO et al., 2014; BOTELHO et al., 2016; VIEIRA et al., 2019). A incorporação de óleos essenciais (OEs) à matriz polimérica torna-se uma alternativa no desenvolvimento de revestimentos ativos na proteção do alimento de interesse, proporcionando ação antimicrobiana e antioxidante (COELHO et al., 2017).

*Schinus terebinthifolius* Raddi é uma planta medicinal conhecida no Brasil como “aroeira da praia” ou “pimenta rosa”, utilizada na medicina popular como antitérmica, analgésica, depurativa no tratamento de doenças do sistema urogenital. Por outro lado, a literatura científica relata que essa planta apresenta atividade antimicrobiana, anti-inflamatória e antiulcerogênica (ULIANA et al., 2016; ENNIGROU et al., 2018).

O OE de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) têm se mostrado eficiente no controle antimicrobiano. Dannenberg et al.(2016) demonstraram o efeito antimicrobiano e antioxidante *in vitro* dos óleos essenciais dos frutos de pimenta rosa verde e maduros, com atividade antimicrobiana contra seis bactérias patógenas, sete bactérias de deterioração, entre elas *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *E. coli*, *S. aureus*.

Os revestimentos comestíveis tendo o amido como biopolímero para sua formação tem sido considerado um com maior devido ao seu baixo custo, biodegradabilidade e alta disponibilidade (PINHEIRO et al., 2010; FARIAS et al., 2012; LIMA et al., 2012; BOTELHO et al., 2016).

A produção de revestimentos a partir da fécula de mandioca tem sido selecionada como a matéria-prima mais adequada comparado com outros amidos, por formar películas resistentes e transparentes; além de apresentarem eficientes barreiras à perda de água, resistência à acidificação além de proporcionar bom aspecto e brilho intenso, tornando frutos e hortaliças comercialmente atrativos. Tendo em vista a importância do desenvolvimento de novas formas de preservação de alimentos, que sejam eficientes, de baixo custo e fácil obtenção, antimicrobianos naturais constituem, atualmente, uma das principais áreas de pesquisa de interesse para a indústria de alimentos (LIMA et al., 2012). A associação de revestimento biodegradáveis, a exemplo de fécula de mandioca, com óleos essenciais, pode sugerir uma alternativa na conservação pós-colheita de alimentos frescos e minimamente processados (ALIKHANI, 2014).

Embora estudos tenham utilizado óleos essenciais como aditivos naturais incorporados à revestimentos ativos de amido de mandioca (SOUZA et al., 2013; ARAÚJO; SHIRAI, 2016; FAI et al., 2016; COELHO et al., 2017), o uso de pimenta-rosa como agente nesses revestimentos ainda é pouco explorado. Dannenberg et al., (2017) estudou o efeito do óleo de pimenta-rosa como agente em filme a base de celulose aplicado em queijo e verificou que o filme apresentava efeito antimicrobiano frente aos microrganismos testados. Sendo assim, o óleo essencial de aroeira em revestimentos comestíveis pode vir a ser um material de embalagem adequado, ativo em termos de atividade antimicrobiana.

Devido ao escasso número de trabalhos encontrados utilizando o óleo essencial de aroeira associado a revestimentos comestíveis aplicados na indústria de alimentos, o presente trabalho, objetivou-se avaliar as características desse revestimento comestível à base de fécula de mandioca e óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) e a ação bactérias deteriorantes de vegetais *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo determinou algumas características da fécula de mandioca e a atividade antibacteriana do revestimento desenvolvido a base de fécula de mandioca incorporado com

OE de aroeira sobre as principais bactérias deteriorantes de vegetais: *Erwínia carotovora*, *Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. As cepas microbianas foram provenientes da coleção do Laboratório de Biotecnologia do Departamento de Engenharia de Agronegócios da Universidade Federal Fluminense, de Volta Redonda – RJ. O óleo essencial dos frutos maduros de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) foi adquirido da empresa Ferquima® e a fécula de mandioca obtida do mercado regional de Volta Redonda-RJ.

## 2.1 Produção do revestimento

A solução de recobrimento foi preparada segundo Oriani et al., (2014), com modificações. Adicionou-se 3% de fécula de mandioca (FM) (m/v) e 30% de glicerol (m/v) em relação a massa de fécula, em solução aquosa. Para completa dispersão dos componentes do revestimento, a solução foi homogeneizada sob agitação a 80°C por 15min, resfriada em banho de gelo até atingir a temperatura ambiente de 25°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) seguindo do óleo essencial de aroeira (10 a 20% m/m) e da adição ou não de 0,1% de Tween® 80 (m/m), sendo agitado no agitador magnético (Labtec, Brasil) até completa homogeneização (Tabela 1).

Os volumes de OE utilizados para o desenvolvimento do revestimento ativo foram determinados a partir de testes prévios, sendo que o volume máximo de OE usado foi o que solubilizou completamente no revestimento.

**Tabela 1.** Formulações dos revestimentos ativos

Amostra	Fécula (g)	Água (mL)	Glicerol ( $\mu\text{L}$ )	Tween® 80 ( $\mu\text{L}$ )	OE aroeira (%)
<b>FG</b>	1,5	50	450	0	0,00
<b>G1</b>	1,5	50	450	0	0,30
<b>G2</b>	1,5	50	450	0	0,45
<b>G3</b>	1,5	50	450	0	0,60
<b>FT</b>	1,5	50	450	50	0,00
<b>T1</b>	1,5	50	450	50	0,30
<b>T2</b>	1,5	50	450	50	0,45
<b>T3</b>	1,5	50	450	50	0,60

Onde: FM: Fécula de mandioca; OE: óleo essencial de aroeira FG: FM+glicerol; G1: FM+glicerol+0,3%OE; G2: FM+glicerol+0,45%OE; G3: FM+glicerol+0,6%OE; FT: FM+glicerol+1%T80; T1: FM+glicerol+1%T80+0,3%OE; T2: FM+glicerol+1%T80+0,45%OE; T3: FM+glicerol+1%T80+0,6%OE.

## 2.2 Teor de Amilose e amilopectina da fécula de mandioca

A fécula de mandioca foi caracterizada pelo conteúdo de amilose determinado por método colorimétrico, conforme descrito por Racines; Pérez; Medina, (1989), com adaptações. Uma amostra de 100 mg de fécula foi transferida para balão volumétrico de 100 mL, sendo

acrescida de 1 mL de álcool etílico 96% GL, 9 mL de solução de NaOH 1 N e colocada em banho-maria a 100 °C por 10 min, sendo resfriada durante 30 min em temperatura ambiente e o volume corrigido com água destilada (Solução 1). Uma alíquota de 5 mL foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, sendo adicionado 1 mL de ácido acético 1M e 2 mL de solução de iodo 2% (p/v) que foi preparada três horas antes da análise, sendo, então, completado o volume com água destilada. Para a construção da curva analítica, foi utilizado 40 mg de amilose 70% pura (Sigma) submetida ao mesmo procedimento utilizado para amostra de fécula. Foram retiradas alíquotas de 1, 2, 3, 4, e 5 mL da Solução 1 e acrescidos de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1 mL de ácido acético e de 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2 mL de iodo, respectivamente, completando-se o volume a 100 mL com água destilada. A leitura de absorvância foi realizada 30 min após adição da solução de iodo a 610 nm.

O percentual de amilopectina foi calculado através da diferença do percentual de amilose

$$\% \text{amilopectina} = 100\% - \% \text{amilose}$$

**Equação 1**

### **2.3 Análise viscoamilográfica da fécula de mandioca**

A propriedade de pasta da fécula de mandioca foi analisada de acordo com Dias-Martins (2019). Usando o equipamento Rapid Visco Analyzer (RVA) série 4 (Newport Scientific PTY Ltd, Warriewood, Austrália). Aproximadamente 3 g de fécula foram adicionados a 25 g de água destilada. O perfil de temperatura incluía inicialmente misturar e manter com giro de 160 rpm a 25 °C por 2 min, aquecido a 95 °C (mantido por 3 min) e depois resfriado a 25 °C, tendo gradiente de aquecimento de 6 °C / min, totalizando 20 min de análise. Os valores de viscosidade máxima, quebra, viscosidade final e retrocesso (tendência de retrogradação) foram expressos em centipoise (cP). As análises foram feitas em duplicata, com repetição.

### **2.4 Análise microscópica do revestimento**

Para verificar o comportamento do revestimento a base de fécula de mandioca sob diferentes temperaturas, alíquotas de 1,5mL do revestimento foram retiradas a 60°C, 70°C e 80°C e analisadas em microscópio óptico (Olympus SC30, Japão) numa resolução de 100X. As análises foram feitas em duplicatas, com repetição do experimento.

## **2.5 Espectroscopia de reflexão total atenuada por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR) do revestimento**

Para análise FTIR dos revestimentos, foi feita uma película dos revestimentos. Os filmes foram elaborados pelo o método "casting". 20 ml das soluções filmogênicas foram espalhadas em placa de acrílico e secas à temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 48 horas a depender do revestimento. Após a secagem, os filmes foram destacados das placas e armazenados sob vácuo para posterior análise. Foram obtidos filmes dos revestimentos segundo a Tabela 1.

A análise química estrutural dos filmes foi realizada utilizando FTIR-ATR (FT / IR-4700, Jasco Corporation) no modo de reflexão total atenuada (ATR), de acordo com Moura; Mattoso; Zucolotto, (2012) e Ramos et al., (2013) com modificações. Os espectros foram obtido na faixa de comprimento de onda de  $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ,  $4\text{ cm}^{-1}$  resolução e com 32 digitalizações.

Para determinar o valor dos picos correspondentes aos grupos funcionais dos s filmes foi utilizado o software Spectra Manager. As análises foram feitas em duplicata, com repetição.

## **2.6 Atividade Antibacteriana do revestimento**

Para avaliar a atividade antimicrobiana utilizou-se a metodologia descrita na NCCLS (2003), com modificações. Incubou-se as bactérias (*Erwínia carotovora*, *Pseudomas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) em caldo BHI (Brain Heart Infusion), a  $28^\circ\text{C}$  por 24 horas. Os inóculos foram ajustados obtendo-se uma suspensão bacteriana com turvação equivalente ao tubo 0,5 da Escala Mac Farland ( $1 \times 10^8$  UFC/mL).

O microrganismo foi inoculado em toda a superfície do meio Ágar Muller-Hinton.  $50\ \mu\text{L}$  dos revestimentos foram colocados na superfície do ágar semeado em 4 pontos equidistantes da placa de petri. As placas foram incubadas na estufa tipo BOD (Tecnal-TE371, Brasil) a  $28^\circ\text{C}$  por 48 horas.

Os resultados foram analisados medindo-se o diâmetro do halo de inibição de crescimento das bactérias, incluindo o diâmetro do revestimento. Os resultados foram expressos em milímetros pela média aritmética dos valores dos halos obtidos em triplicata, com repetição.

## **2.7 Análises Estatísticas**

Os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), as diferenças determinadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) usando o software o Sisvar 7.0 (DEX-UFLA, Lavras, Brasil).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Teor de amilose e amilopectina da fécula

O percentual da concentração de amilose e amilopectina da fécula de mandioca foi de  $28,11\% \pm 0,01\%$  e  $71,89\% \pm 0,02\%$ , respectivamente.

Estes estão em concordância com dados disponíveis na literatura. Nunes e Jesus (2009), encontraram 28,21% de amilose para fécula de mandioca da cultivar eucalipto. No trabalho de Alves et al., (2007), também avaliando a fécula de mandioca os valores encontrados de teor de amilose (20, 8%) e amilopectina (79, 2 %) foram similares ao encontrado neste trabalho. O motivo das concentrações de amilose e amilopectina apresentarem variabilidade segundo Mali; Grossmann; Yamashita (2010), pode ter se dado pela fonte de amido que foi utilizado para análise, pois a esses percentuais dependem da fonte de extração.

A capacidade e o tipo de formação de gel estão diretamente relacionados ao teor de amilose e amilopectina nos amidos. A estrutura linear da amilose favorece a formação de ligações de hidrogênio entre as hidroxilas de cadeias poliméricas adjacentes, permitindo uma maior força de tensão e viscosidade. Já a amilopectina, possui cadeias ramificadas em sua estrutura e dificulta a interação entre os mesmos. Portanto quanto maior a quantidade de amilose presente na base para produção de revestimentos e filmes, maior tenderá a ser viscosidade e a força de tensão desse material. Por consequência, a interação entre os polímeros aumentada favorece a formação de pastas opacas e filmes mais resistentes (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Várias propriedades reológicas do amido e materiais à base de fécula dependem fortemente da proporção amilose/amilopectina, como gelatinização, retrogradação, e outras performances químicas e físicas (ZOU et al., 2012).

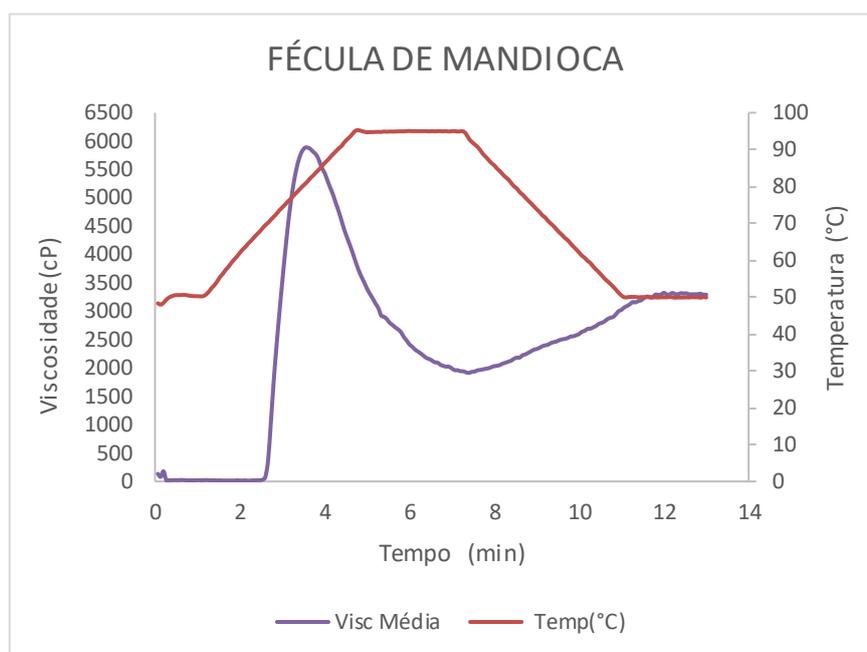
A fécula de mandioca analisada do presente estudo possui uma boa proporção de amilose/amilopectina (PARRA; RIBOTTA; FERRERO, 2015) e, portanto, o gel formado dessa base pode apresentar uma boa característica de gelatinização, sendo mais maleável do que rígida.

### 3.2 Análise viscoamilográfica da fécula

Na Tabela 2 são mostradas as principais propriedades de pasta da fécula de mandioca, ilustrados na Figura 1.

**Tabela 2.** Viscosidade da fécula de mandioca

Tipo de fécula	Pico de viscosidade (cP)	Quebra de viscosidade (cP)	Viscosidade Final (cP)	Tendência a retrogradação (cP)	Tempo de pico (min)	Temperatura de pasta (°C)
Mandioca	5885,5	972	3294	1412	3,6	69,5



**Figura 1.** Viscosidade da pasta de fécula de mandioca, segundo análise feita em Rapid Visco Analyser (RVA).

A fécula de mandioca apresentou alto valor de quebra, evidenciando baixa estabilidade térmica e mecânica, ou seja, em temperatura elevada e sob agitação os grânulos da fécula têm sua estrutura rompida, aumentando assim sua viscosidade (viscosidade final) (Figura 1). A temperatura de gelatinização (69 °C), reflete essa menor estabilidade interna do grânulo de fécula. O pico de viscosidade também está associado à gelificação, ou seja, ao grau de inchaço grânulo durante o aquecimento. Segundo Parra; Ribotta; Ferrero (2015), amidos com maior capacidade de dilatação apresentam pico de viscosidades maiores, como foi encontrado na fécula.

Temos observado que para o desenvolvimento de um revestimento, é desejado que o mesmo tenha uma boa viscosidade para uma melhor aderência e recobrimento ao alimento. Os resultados de RVA da fécula, mostraram que ela poder vir a ser uma boa base para a produção de revestimentos, devido a sua viscosidade.

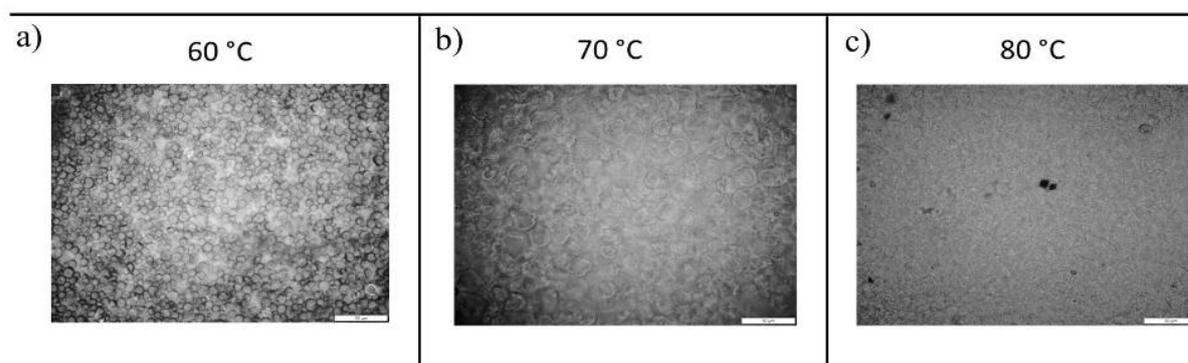
O amido estudado apresentou reduzida tendência a retrogradação (Tabela 2). Uma das características do amido de mandioca é sua menor tendência a

retrogradação e portanto, acaba sendo bem empregado pela indústria alimentícia a qual busca esta propriedade, uma vez que uma alta retrogradação afeta a textura, aceitabilidade e digestibilidade dos alimentos processados com amidos (HORNUNG et al., 2016). A retrogradação está relacionada a liberação de água, que pode danificar o gel formado o que reduziria a viscosidade, portanto uma baixa tendência a retrogradação, evita a danificação do gel formado, dando mais um indício da viabilidade de sua utilização para formação de revestimento (THAO; NOOMHORM, 2011).

Resultados semelhantes foram encontrados na literatura, com valores aproximados de temperatura 68,10 °C, tendência de retrogradação de 1,518cP, viscosidade final de 3307cP e quebra de 883cP (ANDRADE et al., 2014; PARRA; RIBOTTA; FERRERO, 2015).

### 3.3 Microscopia óptica do revestimento

O comportamento geral dos grânulos fécula de mandioca submetida a diferentes temperaturas pode ser observado na Figura 2.



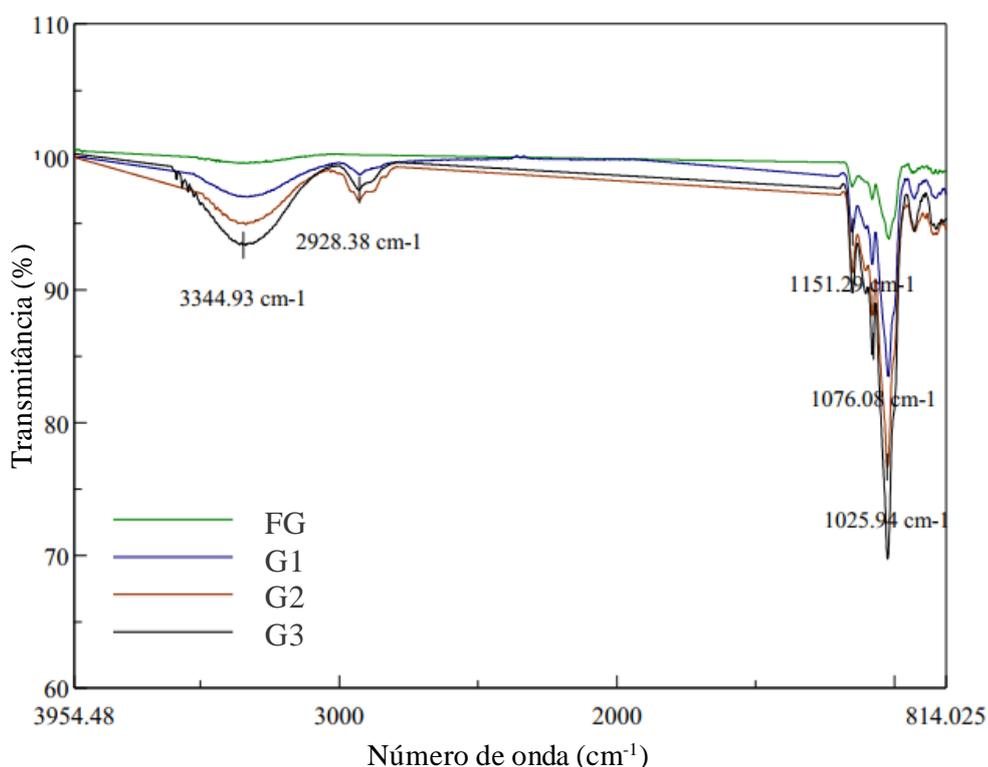
**Figura 2.** Micrografias do revestimento de fécula de mandioca (50µm) observadas pelo microscópio óptico com aumento de 100x em diferentes temperaturas de aquecimento.

Na Figura 2b é possível observar aumento de inchamento dos grânulos devido aumento da temperatura indicando dependência desse fator para capacidade de retenção de água. Este fato está relacionado à maior vibração das moléculas do grânulo de amido sob altas temperaturas, o que causa o rompimento das ligações intermoleculares e permite que os sítios de ligação liberados possam realizar a união de ligações do hidrogênio com a molécula de água (FENNEMA, 2000).

Como pode ser observado na Figura 2c, a 80°C, não há mais grânulos de fécula, sugerindo que os mesmo incharam até o rompimento, sendo solubilizados. Segundo Guillon e Champ (2000), a solubilidade tem efeito na funcionalidade do amido e, principalmente, na estabilidade da viscosidade, diminuindo a retrogradação, conforme foi discutido no item 3.2.

### 3.4 Espectroscopia de reflexão total atenuada por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR) dos filmes de fécula de mandioca com OE de aroeira.

Os filmes foram avaliados para determinar a presença de grupos funcionais por meio de bandas, que explicam sua estrutura (Figura 3). É possível perceber que houve interação entre a matriz polimérica e óleo essencial adicionado, uma vez que novos picos surgiram em regiões distintas do controle. Nota-se também diferença na amplitude entre as amostras com OE nas bandas de absorção que surgiram.



**Figura 3.** Espectro FTIR-ATR do revestimento a base de fécula de mandioca com diferentes concentrações de OE de aroeira

A interação entre o óleo e o revestimento pode ser verificada devido ao surgimento de bandas adicionais em regiões de comprimento de onda de 2908  $\text{cm}^{-1}$  a 2930  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas que surgiram nesse comprimento são característica da deformação axial C-H, que se deu provavelmente pela interação dos monoterpenos do OE com o revestimento.

Os espectros apresentaram bandas de absorção em regiões características da fécula semelhante ao encontrado em outros trabalhos (AHMED; HIREMATH; JACOB, 2016; JARAMILLO et al., 2016; MIRANDA et al., 2016; SELIGRA et al., 2016). A larga banda na região de 3.400-3.300  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à absorção dos grupos hidroxilas da D-glicose presente

no amido (WANG et al., 2009). As absorções em 1.150- 1.000  $\text{cm}^{-1}$  têm sido relacionadas a deformações de grupos C-OH (FARIAS et al., 2012).

### 3.5 Atividade antimicrobiana dos filmes ativos

O revestimento ativo à base de fécula de mandioca incorporado com óleo essencial de aroeira apresentou atividade antibacteriana contra todas as bactérias gram-negativas analisadas, com maior inibição à *Pseudomonas syringae* e menor em *Erwinia carotovora* (Tabela 3, Figura 4).

**Tabela 3.** Atividade antimicrobiana dos revestimentos à base de fécula de mandioca incorporados com diferentes concentrações de OE de aroeira frente a bactérias deteriorantes de vegetais.

		Microrganismos/Halos de inibição (mm)								
		<i>E. caratovora</i>			<i>P. syringae</i>			<i>X. campestris</i>		
%OE		0,3	0,45	0,6	0,3	0,45	0,6	0,3	0,45	0,6
Revestimentos	C/ Tween80	8,585 <sup>ab</sup>	9,385 <sup>aAB</sup>	9,95 <sup>aA</sup>	9,125 <sup>ba</sup>	9,785 <sup>ba</sup>	10,315 <sup>ba</sup>	9,925 <sup>ba</sup>	10,440 <sup>aA</sup>	10,525 <sup>aA</sup>
	S/ Tween80	8,970 <sup>ab</sup>	9,835 <sup>aAB</sup>	9,835 <sup>aA</sup>	14,370 <sup>aA</sup>	14,825 <sup>aA</sup>	15,410 <sup>aA</sup>	11,620 <sup>aA</sup>	11,540 <sup>aA</sup>	11,485 <sup>aA</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre a utilização de Tween® 80 para mesmas concentrações de OE; Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as diferentes concentrações de OE para o mesmo tratamento pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Foi incluído diâmetro de revestimento no diâmetro do halo de inibição

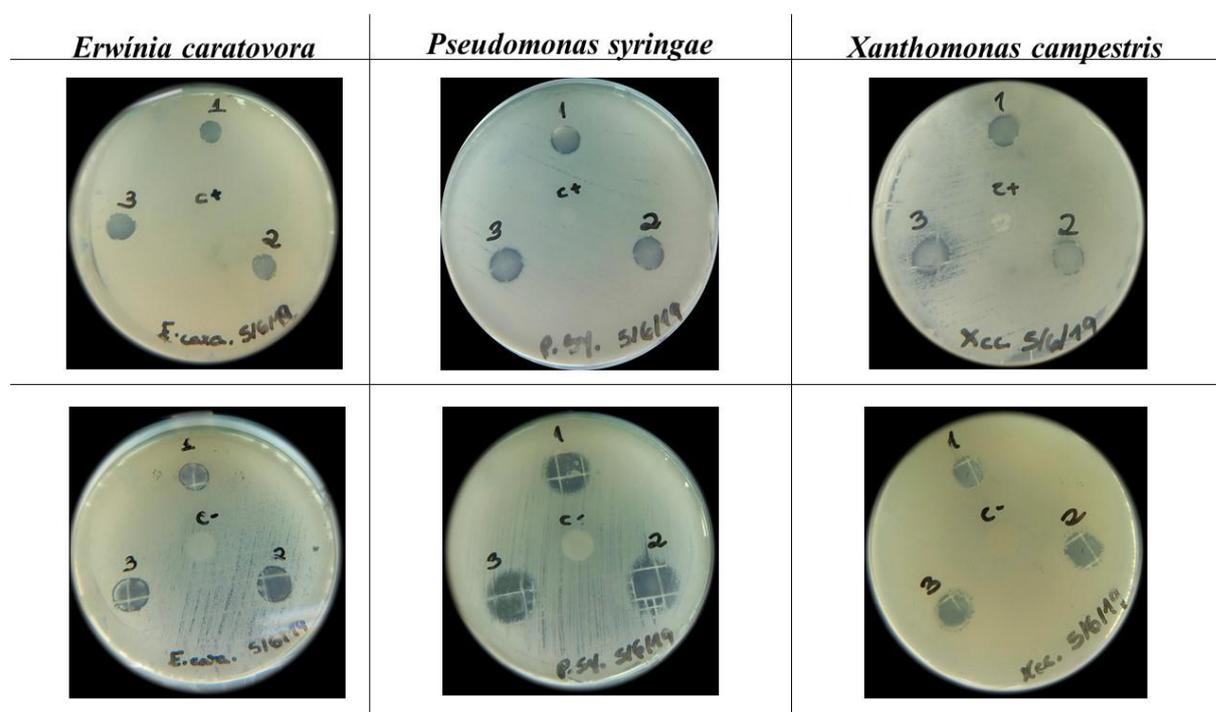
Como sugerido pela análise de FTIR, houve interação entre o OE de aroeira e a matriz polimérica, o que pode ter contribuído com a ativação do revestimento; uma vez que como o que pode ser observado na Figura 4, os tratamentos controles C<sup>+</sup> e C<sup>-</sup> não exibiram halos de inibição, inferindo-se que a fécula de mandioca, o glicerol e o emulsificante não apresentam atividade antimicrobiana.

Foi verificada diferença ( $p < 0,05$ ) para a atividade antimicrobiana *in vitro* do revestimento com adição do emulsificante Tween®80 contra as bactérias *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris* (tabela 3). O emulsificante reduziu significativamente em mais de 30% a eficiência do revestimento ativo para *P. syringae* e em 15% para *X. campestris*. O mesmo não foi observado para *Erwinia carotovora* que não apresentou diferença entre as formulações.

Hood; Wilkinson; Cavanagh (2003) relataram que o agente dispersante pode influenciar na suscetibilidade da bactéria ao óleo essencial. Existem hipóteses propostas para explicar esta influência, destacando alteração da permeabilidade da membrana celular do microrganismo

causada pelo Tween<sup>®</sup>80, atuando antagonisticamente com os componentes do OE e interação entre o emulsificante com o óleo essencial, que pode reduzir ou aumentar o potencial antimicrobiano. Portanto, deduz-se que possa ter ocorrido interações entre o OE de aroeira e o Tween<sup>®</sup>80, dificultando a liberação dos agentes antimicrobianos para o meio de cultura ou o emulsificante alterou a permeabilidade da membrana celular dos microrganismos.

Exceto para *E.carotovora*, onde a melhor concentração de OE foi a de 20%, para as demais bactérias, a concentração de óleo essencial no revestimento não apresentou diferença significativa atividade antimicrobiana do mesmo, é possível utilizar uma concentração menor do OE, no caso do estudo 0,3% (v/v) para que o revestimento se torne ativo.



**Figura 4** Halos de inibição do revestimento de fécula de mandioca ativo com OE de aroeira. As placas com C+ representam as placas com revestimento ativo com adição do emulsificante Tween<sup>®</sup> 80 e as placas com C- representam as placas com revestimento sem Tween<sup>®</sup> 80

A estrutura da célula microbiana deve ser considerada ao se avaliar a atividade antimicrobiana. Estudos relatam que os micro-organismos gram-positivos são mais sensíveis aos OEs que os gram-negativos. Segundo os autores, isso se deve ao fato de os micro-organismos gram-negativos possuírem parede celular com membrana externa que dificulta a penetração de OEs (NAZZARO et al., 2013). Alkan; Yemenicioğlu (2016), mostraram OE de aroeira alterou a permeabilidade e integridade da parede celular de bactérias gram-positivas e gram-negativas, indicando que um dos mecanismos de ação do OE é o dano à parede celular.

Os monoterpenos ou sesquiterpenos e seus derivados oxigenados presentes nos OEs são considerados potenciais agentes antimicrobianos (BAJPAI; SHARMA; BAEK, 2013; DIAO et al., 2014). O OE do fruto maduro de aroeira tem como componentes majoritários o  $\beta$ -mirceno (41%),  $\beta$ -cuvibeno (12%) e limoneno (9%) (DANNENBERG et al., 2019). O principal componente do OE de aroeira ( $\beta$ -mirceno = 41%) é descrito na literatura como um componente importante para a atividade antimicrobiana (SWAMY; AKHTAR; SINNIHAH, 2016).

## 4 CONCLUSÃO

Com o presente estudo, foi possível verificar que a fécula de mandioca apresenta boas características como o teor de amilose e a viscosidade, tendo bom indício para ser utilizado como base para produção de revestimentos, como o que foi desenvolvido. Foi possível incorporar com eficácia o OE de aroeira ao revestimento comestível sem a necessidade de adição do emulsificante Tween<sup>®</sup> 80, formando um revestimento ativo com menos aditivos químicos. A incorporação do OE de aroeira ao revestimento comprova seu potencial efeito antimicrobiano frente as bactérias testadas neste trabalho e demonstra que esse revestimento ativo tem potencial para atuar como conservante nos alimentos. Conclui-se que esse revestimento comestível ativo pode ser utilizado para aplicação em vegetais afim de controlar a deterioração bacteriana, prolongando sua vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, J.; HIREMATH, N.; JACOB, H. Antimicrobial, rheological, and thermal properties of plasticized polylactide films incorporated with essential oils to inhibit *Staphylococcus aureus* and *Campylobacter jejuni*. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 2, p. 419–429, 2016.
- ALIKHANI, M. Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. **Food Science and Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 210–217, 2014.
- ALKAN, D.; YEMENICIOĞLU, A. Potential application of natural phenolic antimicrobials and edible film technology against bacterial plant pathogens. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 1–10, 2016.
- ALVES, V. D. et al. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 941–946, 2007.
- ANDRADE, M. M. P. et al. Effects of heat-moisture treatment on organic cassava starch: Thermal, rheological and structural study. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 3, p. 2115–2122, 2014.
- ARAÚJO, V. R.; SHIRAI, M. A. Aplicação de revestimento comestível de quitosana em brócolis minimamente processado. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, 2016.
- BAJPAI, V. K.; SHARMA, A.; BAEK, K. H. Antibacterial mode of action of *Cudrania tricuspidata* fruit essential oil, affecting membrane permeability and surface characteristics of food-borne pathogens. **Food Control**, v. 32, n. 2, p. 582–590, 2013.
- BOTELHO, L. N. S. et al. Quality of guava cv. ‘Pedro Sato’ treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 214–220, 2016.
- CHEN, H.; SUN, Z.; YANG, H. Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 157–164, 2019.
- COELHO, C. C. de S. et al. Aplicação de revestimento filmogênico à base de amido de mandioca e de óleo de cravo-da-índia na conservação pós-colheita de goiaba ‘Pedro Sato’. **Revista engenharia na agricultura**, v. 25, n. 6, p. 479, 2017.
- DANNENBERG, G. da S. et al. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 314–318, 2017.
- DANNENBERG, G. da S. et al. Essential oil from pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi): Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action. **Food Control**, v. 95, p. 115–120, 2019.
- DEGHANI, S.; HOSSEINI, S. V.; REGENSTEIN, J. M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. **Food Chemistry**, v. 240, p. 505–513, 2018.

- DIAO, W. R. et al. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). **Food Control**, v. 35, n. 1, p. 109–116, 2014.
- DIAS-MARTINS, A. M. et al. Impacts of ohmic heating on decorticated and whole pearl millet grains compared to open-pan cooking. **Journal of Cereal Science**, v. 89, p. 120–129, 2019.
- ENNIGROU, A. et al. Assessing the fatty acid, essential oil composition, their radical scavenging and antibacterial activities of *Schinus terebinthifolius* Raddi leaves and twigs. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 4, p. 1582–1590, 2018.
- FAI, A. E. C. et al. Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 194–204, 2016.
- FARIAS, M. G. et al. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata*). **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 546–552, 2012.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2010. 900p.
- HOOD, J. R.; WILKINSON, J. M.; CAVANAGH, H. M. A. Evaluation of common antibacterial screening methods utilized in essential oil research. **Journal of Essential Oil Research**, v. 15, n. 6, p. 428–433, 2003.
- HORNUNG, P. S. et al. Investigation of the photo-oxidation of cassava starch granules. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 123, n. 3, p. 2129–2137, 2016.
- JARAMILLO, C. M. et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150–159, 2016.
- LIMA, A. B. de et al. Conservação pós-colheita de manga “Tommy Atkins” orgânica sob recobrimentos bio-orgânicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 704–710, 2012.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137–156, 2010.
- MIRANDA, D. et al. O envelhecimento populacional brasileiro: desafios e consequências sociais atuais e futuras. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 19, n. 3, p. 507–519, 2016.
- MOURA, M. R. de; MATTOSO, L. H. C.; ZUCOLOTTI, V. Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 520–524, 2012.
- NAZZARO, F. et al. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. **Pharmaceuticals**, v. 6, n. 12, p. 1451–1474, 2013.
- NCCLS. **Padronização dos Testes de Sensibilidade a Antimicrobianos por Disco-difusão**. 8. ed., v. 2, 2000.

NUNES, L. B.; JESUS, W. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca de região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 1, p. 129–134, 2009.

ORIANI, V. B. et al. Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 2, p. 189–194, 2014.

OTERO, V. et al. Evaluation of two antimicrobial packaging films against *Escherichia coli* O157: H7 strains invitro and during storage of a Spanish ripened sheep cheese (*Zamorano*). **Food Control**, v. 42, p. 296–302, 2014.

PARRA, A. F. R.; RIBOTTA, P. D.; FERRERO, C. Starch–apple pomace mixtures: pasting properties and microstructure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 9, p. 1854–1863, 2015.

PINHEIRO, A. C. et al. Utilização de revestimentos/filmes edíveis para aplicações alimentares. **Boletim da Biotecnologia**, p. 18–29, 2010. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16725/1/3559.pdf>>. Acessado em: 03 mar. 2019.

RACINES, C. P. M.; PÉREZ, F. E. C.; MEDINA, L. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditutorial sobre el mismo tema**. Cali: CIAT, 1989. 75p.

RAMOS, Ó. L. et al. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 110–122, 2013.

SELIGRA, P. G. et al. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 66–74, 15, 2016.

SHARMA, P. et al. Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: A review. **International Journal of Vegetable Science**, v. 25, n. 3, p. 295–314, 2019.

SOARES, N. D. F. F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370–378, 2009.

SOUSA, H. A. de F. et al. Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. **Nutrition & Food Science**, v. 49, n. 5, p. 911–924, 2019.

SOUZA, A. C. et al. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 346–352, 2013.

SWAMY, M. K.; AKHTAR, M. S.; SINIAH, U. R. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: An updated review. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, p. 1–21, 2016.

THAO, H.; NOOMHORM, A. Modeling and effects of various drying methods on sweet potato starch properties. **Walailak Journal Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 139–158, 2011.

ULIANA, M. P. et al. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus*

*terebinthifolius* Raddi) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 235–240, 2016.

VIEIRA, A. et al. Edible coatings enriched with essential oils on apples impair the survival of bacterial pathogens through a simulated gastrointestinal system. **Foods**, v. 8, n. 2, p. 57, 2019.

WANG, N. et al. Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, n. 1, p. 68–73, 2009.

YOUSUF, B.; SRIVASTAVA, A. K. Impact of honey treatments and soy protein isolate-based coating on fresh-cut pineapple during storage at 4 °C. **Acta Horticulturae**, v. 1209, p. 239–245, 2019.

ZOU, W. et al. Effects of amylose/amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1583–1588, 2012.

**CAPÍTULO III: REVESTIMENTO ATIVO À BASE DE FÉCULA DE  
MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA (SHINUS  
TERENBITHIFOLIUS RADDI) APLICADO EM BRÓCOLIS  
MINIMAMENTE PROCESSADO**

Maria Clara Guimarães<sup>1\*</sup>, Jéssica R. S. Carvalho de Souza<sup>2</sup>, Lara Leal Aiex<sup>2</sup>, Joyce Fagundes Motta<sup>1</sup>, Carlos Eduardo de Souza Teodoro<sup>2</sup>, Nathália Ramos de Melo<sup>1,2</sup>

1 Departamento de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP: 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

2 Departamento de Engenharia de Agronegócios, Universidade Federal Fluminense, CEP: 27255-125, Volta Redonda, RJ, Brasil.

## RESUMO

O processamento mínimo oferece praticidade a uma grande variedade de vegetais como os brócolis. Contudo, este processamento causa um aumento na perecibilidade do produto, devido aos danos mecânicos como o corte ou descascamento aumentando a taxa respiratória e também deixando o vegetal mais susceptível a diversas fontes de contaminação microbológica. Neste sentido, coberturas comestíveis a base de biopolímeros ativados com aditivos naturais estão sendo cada vez mais estudados com o objetivo de auxiliar na conservação de vegetais minimamente processados. Este trabalho teve como objetivo aplicar um revestimento comestível a base de fécula de mandioca e OE de aroeira em brócolis minimamente processado e avaliar a sua vida útil durante 12 dias de armazenamento refrigerado. Para isso foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas, tais como: umidade, dureza, concentração de O<sub>2</sub>, cor, pH, perda de massa, teor de ácido ascórbico, acidez total titulável (ATT), teor de clorofila e contagem de psicotróficos. Os brócolis minimamente processados revestidos com fécula de mandioca incorporados com OE de aroeira apresentaram menor perda de massa e de ácido ascórbico, manteve a dureza dos talos, a cor dos floretes, além de ter apresentado uma menor multiplicação de microrganismos. Os resultados deste estudo sugerem que o revestimento possui potencial para ser aplicado como cobertura comestível em vegetais minimamente processado em escala comercial.

Palavras-chaves: biopolímeros, vegetais minimamente processado, vida útil.

## **ABSTRACT**

Minimal processing offers convenience to a wide variety of vegetables such as broccoli. However, this process causes an increase in the perishability of the product due to mechanical damage, such as cutting or peeling, respiratory rate and also making the plant more susceptible to various sources of microbiological contamination. In this sense, edible toppings based on biopolymers activated with natural additives are being increasingly studied in order to assist in the conservation of minimally processed vegetables. The objective of this work was to apply an edible cassava starch and aroeira OE coating to minimally processed broccoli and to evaluate its shelf life during 12 days of refrigerated storage. For this, physical, chemical and microbiological analyzes were performed, such as: absorption, duration, O<sub>2</sub> concentration, color, pH, mass loss, ascorbic acid content, total titratable acidity (TTA), chlorophyll content and psychrotrophil count. Minimally processed broccoli coated with cassava starch incorporated with aroeira OE, less mass loss and ascorbic acid, maintain a stalks duration, a color of rapiers, and have suffered less multiplication of microorganisms. The results of this study suggested that either the coating has the potential to be applied as edible cover on minimally processed vegetables on a commercial scale.

Keywords: biopolymers, minimally processed vegetables, shelf life

## 1. INTRODUÇÃO

O brócolis (*Brassica oleracea*) é uma hortaliça de grande consumo e importância econômica no mercado brasileiro, sendo consumido principalmente “in natura” ou minimamente processado (CARDOSO; VIEIRA; CAROSO, 2018). Se destaca pela presença de glucosinolatos, flavonóides, vitaminas C, E e A e pela propriedade antioxidante (DOS REIS et al., 2017). Todavia, o brócolis tem uma vida pós-colheita curta (estando disponibilizado no mercado no entorno de 3 a 4 dias), ocorrendo alterações como o amolecimento dos talos e degradação da clorofila, levando a mudança de cor (AQUINO et al., 2011).

Uma tecnologia alternativa cada vez mais divulgada e avaliada como um procedimento viável para estender a vida útil de vegetais minimamente processados (VMP) é o emprego de revestimentos comestíveis (SHARMA et al., 2019). Esses revestimentos têm como objetivo apresentar uma atuação funcional e coadjuvante, contribuindo para a preservação da textura e do valor nutricional, reduzindo as trocas gasosas superficiais e a perda ou ganho excessivo de água (ASSIS; BRITTO, 2014; HASSAN et al., 2018).

Os revestimentos comestíveis produzidos de fontes naturais como os polissacarídeos, proteínas e lipídios mostram-se potenciais substitutos de embalagens sintéticas, devido à sua disponibilidade, a natureza biodegradável e o fato de serem renováveis (COELHO et al., 2017). Entre eles, o amido é considerado um dos mais promissores materiais devido ao seu baixo custo, abundância, variedade de fontes e boas propriedades de formação de filme (GUTIÉRREZ et al., 2015; BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2017; JAN et al., 2017). Em particular, a fécula ou amido de mandioca pode ser considerado de grande potencial devido à suas características inodoras, insípidas, incolores, não tóxicas e biodegradáveis (SOUZA et al., 2012; NGUYEN VU; LUMDUBWONG, 2016).

Tradicionalmente, esse revestimento tem ação passiva em relação aos alimentos, atuando como uma barreira entre ele e o ambiente externo. Contudo, a incorporação de substâncias ativas pode promover interações desejáveis com os alimentos, como atividade antimicrobiana (HAFSA et al., 2016). Entre as substâncias ativas, o óleo essencial (OE) ganha destaque por ser de origem natural dando uma sensação de segurança aos consumidores (CALO et al., 2015). O revestimento comestível ativo antimicrobiano, aumenta a segurança microbiológica (RIZZOLO et al., 2016) e permite que os produtores reduzam o uso de aditivos sintéticos adicionado diretamente aos alimentos (MORADI et al., 2016).

Em estudos anteriores, o óleo essencial de aroeira (OEA) *Schinus terebinthifolius* Raddi, demonstrou atividade antimicrobiana (ROMANI; HERNÁNDEZ; MARTINS, 2018; DANNENBERG et al., 2019) e antioxidante (ULIANA et al., 2016). No entanto, sua eficiência em revestimentos comestíveis aplicados em VMP ainda não foi elucidada e, portanto, detalhes de seu comportamento são necessários para prospectar futuras aplicações tecnológicas.

Tendo em vista a necessidade de descobrir novos revestimentos comestíveis ativos, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de revestimento comestível a base de fécula de mandioca e óleo essencial de aroeira sobre a vida útil de brócolis minimamente processado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório Agroindustrial de Embalagem e Tecnologia (LAETec) e no Laboratório de Biotecnologia e Pós colheita, do Departamento de Engenharia de Agronegócios (VEA), localizado na Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR), campus da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda-RJ.

### 2.1 Matéria-prima

- Os brócolis (*Brassica oleracea* var. Itálica Penk) utilizados foram adquiridos no comércio local de Volta Redonda – RJ, sendo mantido sempre o fornecedor.
- O óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi), adquiridos da empresa Ferquima®, China.
- A fécula de mandioca, as bandejas de poliestireno expandido e o filme de policloreto de vinil (PVC), foram adquiridos no comércio local de Volta Redonda – RJ.
- O glicerol, adquirido da empresa CRQ produtos químicos Eireli, Brasil.

### 2.2 Produção do revestimento ativo

O revestimento foi preparado segundo Pérez (2015), com modificações.

A solução filmogênica foi preparada a partir de 3% de fécula de mandioca (FM) (v/v) e 30% de glicerol (m/v) em relação a massa de fécula. A solução foi homogeneizada sob agitação a 80°C por 15min, resfriada em banho de gelo até temperatura ambiente  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  seguindo da adição do óleo essencial de aroeira (0,3% v/v), sendo agitado no agitador magnético (Labtec, Brasil) até completa homogeneização (Tabela 1).

**Tabela 1.** Formulações dos revestimentos ativos de fécula de mandioca com óleo essencial de aroeira

<b>Amostra</b>	<b>Fécula, g</b>	<b>Água, mL</b>	<b>Glicerol, mL</b>	<b>OE, mL</b>
<b>R1</b>	0	0	0	0
<b>R2</b>	10,5	350	3,15	0
<b>R3</b>	10,5	350	3,15	1,05

Onde: R1= controle (sem revestimento); R2= Revestimento sem OE de aroeira; R3= Revestimento com OE de aroeira.

### 2.2.1 Preparo dos vegetais

Os brócolis (*Brassica oleracea* var. *Itálica* Penk) foram processados conforme descrito por Ansorena; Marcovich; Roura (2011), com modificações.

- a) **Seleção:** os brócolis foram selecionados mantendo a uniformidade quanto a cor, tamanho e integridade aos danos mecânicos.
- b) **Lavagem:** foi realizada uma lavagem com água corrente, afim de eliminar sujidades superficiais.
- c) **Sanitização:** os brócolis foram imersos em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 min a temperatura ambiente.
- d) **Segunda lavagem:** os brócolis foram novamente lavados com água destilada para remoção total da água clorada. Com auxílio de uma peneira, foi retirado o excesso de água
- e) **Corte:** os brócolis foram cortados uniformemente em floretes utilizando faca de inox

### 2.2.2 Aplicação do revestimento

Os floretes de brócolis foram imersos nos revestimentos produzidos, colocados em escorredores para serem secos a temperatura ambiente, aproximadamente 6 horas. Após completa secagem, os floretes foram dispostos em bandejas de poliestireno expandido com capacidade de 100 g e recobertos com filmes de PVC (policloreto de vinila). As bandejas foram armazenadas sob refrigeração a  $10^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C por 12 dias (Figura 1).



**Figura 1.** Aplicação da cobertura. A) Imersão dos floretes de brócolis no revestimento; B) Secagem dos floretes de brócolis com cobertura; C) Disposição dos floretes de brócolis nas bandejas; D) Produto embalado

### 2.2.3 Verificação da uniformidade do revestimento

Foi realizado o teste do iodo-amido conforme descrito por Gomes *et al.*(2016), com modificações. Os floretes de brócolis foram imersos em solução de tintura de iodo 2%, para detecção da presença de amido. Através da coloração foi possível observar a uniformidade da aplicação do revestimento.

## 2.3 Caracterização dos vegetais revestidos

Os brócolis minimamente processados e revestidos foram avaliados quanto a perda de massa, teor de umidade, cor, dureza, vitamina C, acidez total titulável (ATT), pH, teor de clorofila, análise microbiológica e foi avaliado a concentração de O<sub>2</sub> no interior da embalagem. As análises foram realizadas em triplicata após 0, 3, 6, 9 e 12 dias de armazenamento, com repetição dos experimentos.

### 2.3.1 Perda de massa

A perda de massa foi avaliada conforme descrito por Lucera et al. (2011).

O cálculo foi realizado em relação à perda de massa inicial dos floretes de brócolis (tempo zero de armazenamento) e a massa obtida em cada intervalo de armazenamento, conforme a Equação 1, sendo os resultados expressos em porcentagem (PM) (%).

$$PM(\%) = \left( \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) \times 100$$

**Equação 1**

As embalagens avaliadas no tempo foram as mesmas, sendo, portanto, uma análise não destrutiva.

### **2.3.2 Teor de Umidade**

Cerca de 30 gramas de amostras foram pesadas e levadas a estufa (NovaTecnica - NT513 ,Brasil) à 105 °C por 48horas. Após este período as amostras, foram colocadas no dessecador por 30 minutos e posteriormente pesadas em uma balança semi-analítica (Shimadzu – AUY220, Brasil). O conteúdo de umidade foi calculado em porcentagem de umidade, base úmida (Equação 2).

$$\text{Umidade (\%)} = \left( \frac{(P_i - P_c) - (P_f - P_c)}{(P_i - P_c)} \right) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

P<sub>i</sub>= Peso inicial

P<sub>c</sub>= Peso do cadinho sem brócolis

P<sub>f</sub>= Peso final

### **2.3.3 Dureza**

A dureza dos brócolis foi avaliada por meio de ensaios de punção da amostra, através do durômetro (Soil Control® R-300).

A força máxima de penetração (N) foi definida a partir da média de 3 ensaios de punção em 2 floretes de cada tratamento.

### **2.3.4 Concentração de O<sub>2</sub> no interior da embalagem**

Foi utilizado o analisador de gases Oxybaby (Sunnyvale - M+i O<sub>2</sub>, Brasil) sendo possível verificar a disponibilidade de gás para respiração do vegetal.

A agulha foi penetrada ao longo de um septo de silicone colocado no filme PVC afim de se evitar vazamento de gás e rasgamento do filme durante a análise.

As embalagens avaliadas no tempo foram as mesmas, sendo, uma análise não destrutiva.

### **2.3.5 Propriedades de cor dos floretes de brócolis**

A cor foi medida com auxílio de um colorímetro (Minolta - CM-5-ID, USA), onde foram tomadas medidas aleatórias da superfície externa dos floretes de brócolis. O colorímetro foi previamente calibrado em placas padrão de cor branco e preto, com fonte de iluminação D65 e

ângulo de observação de 10°. Os resultados foram determinados a partir do sistema Hunterlab (L\*, a\*, b\* e ângulo h\*) (MCGUIRE, 1992).

Foram utilizados 2 floretes de brócolis para cada medição, sendo realizadas 3 leituras em cada florete.

### 2.3.6 Teor de clorofila

Para determinação das clorofilas a, b e total foram pesados 2,5g de brócolis e estes triturados com 25 ml acetona a 80% em um MIX (Philips, Brasil). Os extratos obtidos foram filtrados em algodão e coletados em balões volumétricos, completando-se o volume ao final da filtragem. A densidade ótica dos filtrados foi lida em espectrofotômetro (Spectrum - SP1105 - UV-Vis, China) nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de 645 e 663 nm, utilizando cubetas de vidro. A partir dessas leituras, determinou-se a concentração de clorofilas a, b e total por meio de fórmulas propostas por Arnon, (1949) (Equações 3 a 5).

$$\text{Clorofila a} = 12,7 \times \text{ABS}(663\text{nm}) - 2,69 \times \text{ABS}(645\text{nm}) \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Clorofila b} = 22,9 \times \text{ABS}(645\text{nm}) - 4,68 \times \text{ABS}(663\text{nm}) \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Clorofila Total} = \text{Clorofila a} + \text{clorofila b} \quad \text{Equação 5}$$

O resultado foi expresso em mg de clorofila por 100 g de amostra seca (mg/100g)

### 2.3.7 Vitamina C (ácido ascórbico)

A determinação do teor de vitamina C foi realizada segundo recomenda a AOAC, pelo Método Tillmans, seguindo normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). Amostras de brócolis foram homogeneizadas com solução extratora de ácido oxálico 2% (Dinâmica, São Paulo) em MIX (Philips, Brasil) e em seguida foi titulada com solução padronizada de 2,6-diclorofenolindofenol 0,01% (Vetec, São Paulo). Três independentes extrações foram realizadas por tratamento e os resultados foram expressos em mg de vitamina C / 100 g de brócolis.

### 2.3.8 Determinação da Acidez total titulável (ATT)

O método utilizado foi o descrito segundo o Instituto Adolfo Lutz (1985), com modificações. 5g de amostra foram homogeneizadas em liquidificador doméstico com 100mL de água destilada. Uma alíquota de 5 mL da mistura foi diluída em 30 mL de água destilada. Essa diluição fez-se necessária para que o ponto de viragem da titulação fosse visível, uma vez

que a solução apresenta coloração verde escura. Em seguida, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína. A titulação foi realizada com solução de NaOH 0,1M até coloração rosa permanente durante 15s. Os resultados foram expressos a partir do volume (mL) de NaOH 0,1mol.L<sup>-1</sup> (Equação 6).

$$\text{ATT} = \frac{(V \times f \times 100)}{(p \times c)} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

V = o volume (mL) de NaOH gasto na titulação;

f = o fator de correção;

p = massa (g) de amostra utilizada na titulação

c = correção para solução de NaOH 1M

### 2.3.9 pH

O potencial Hidrogeniônico foi realizado seguindo metodologia AOAC (2010). 5g de brócolis foram triturados e homogeneizados com 50 mL de água destilada a temperatura ambiente.

O pH foi determinado por leitura direta em potenciômetro digital (Bel Engineering – W3B, Brasil).

### 2.3.10 Avaliação microbiológica dos vegetais minimamente processados

Foi realizado contagem padrão de bactérias psicrotróficas pela a técnica de espalhamento em superfície (*spread-plate*), com uso de Ágar Padrão para Contagem (PCA) em placas estéreis incubadas a 8°C ± 2° C por 12 dias. As análises foram realizadas após 0, 6 e 12 dias de armazenamento, com repetição. (SILVA et al., 2007).

## 2.4 Análises Estatísticas

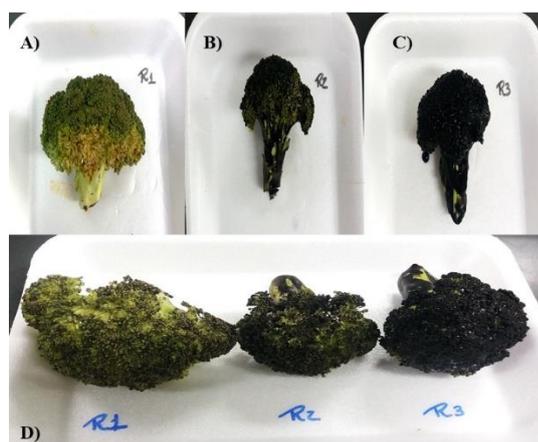
Os tratamentos foram dispostos através de um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os resultados obtidos durante o experimento foram avaliados estatisticamente por Análise de Variância (ANOVA), aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa STATISTICA® 5.5.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Verificação da uniformidade do revestimento

Uma vez que o iodo colore apenas o revestimento devido a presença do amido, foi possível visualizar a integridade das coberturas, a base de fécula de mandioca, na superfície dos brócolis (Figura 2). Observou-se que o florete com revestimento ativo (contendo óleo essencial de aroeira) apresentou uma camada mais espessa e homogênea na superfície do vegetal (Figura 2C e D). Comparado com o revestimento apenas fécula de mandioca, sendo observado até mesmo alguns espaços não cobertos (Figura 2B e D).

A aplicação do iodo permitiu visualizar a integridade dos revestimentos a base de fécula de mandioca, constatando que os mesmos foram aderidos na superfície dos floretes de brócolis.



**Figura 2** Imagens dos brócolis com diferentes tratamentos, tingidos com solução de iodo. A) Sem revestimento, B) Revestimento com 3% de fécula de mandioca, C) Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira, D) Vista frontal dos floretes de brócolis

#### 3.2 Perda de massa

A cinética de perda de massa está diretamente relacionada à taxa de transmissão de vapor de água dos revestimentos (CONTE et al., 2009). Como pode observado na Tabela 2, a perda de peso dos floretes de brócolis aumentou em função do tempo, com menores perdas observadas nos vegetais revestidos (R2 e R3).

Os brócolis com revestimento ativo (R3), apresentou menor perda de massa, quando comparado aos demais, porém essa queda não apresentou diferença ( $p < 0,05$ ), entre os tratamentos.

Do terceiro ao sexto dia de armazenamento, a perda média de massa dobrou, passando de aproximadamente 6% (R1 e R2) e 5% (R3) para 13% (R1 e R2) e 10%(R1). Ao final dos 12

dias de armazenamento a perda de massa dos brócolis teve um valor médio de 25% para os três tratamentos.

Esse aumento na perda de massa pode estar associado a reações metabólicas que ocorrem nos brócolis ao longo do armazenamento (ZHAN et al., 2012), além disso, parte dessa perda pode estar associada a perda de umidade por parte das amostras, o que foi verificado na análise de umidade (item 3.3), em que assim como para perda de massa, verificou-se perda da umidade com o aumento do período de armazenamento dos vegetais.

Para Chitarra; Chitarra (2005), perdas da ordem de 3% a 6 % são suficientes para causar declínio na qualidade, mas alguns produtos são ainda comercializáveis com 10% de perda. Tomando como referência a perda de 10 %, os brócolis do tratamento R3 poderiam ser comercializados até o sexto dia, enquanto os demais tratamentos poderiam ser comercializados até o terceiro dia.

**Tabela 2** Perda de massa (%) dos brocólis minimamente processados armazenados a 10±2°C, por 12 dias.

Tratamentos	Perda de massa (%)			
	Tempo (dias)			
	3	6	9	12
<b>R1</b>	6,53 ±3,98 <sup>aC</sup>	13,89 ±1,87 <sup>aB</sup>	19,27 ±1,47 <sup>aA</sup>	23,94 ±0,87 <sup>aA</sup>
<b>R2</b>	5,79 ±2,48 <sup>aC</sup>	13,65 ±1,18 <sup>aB</sup>	20,17 ±0,76 <sup>aA</sup>	22,11 ±1,23 <sup>aA</sup>
<b>R3</b>	5,05 ±2,77 <sup>aC</sup>	10,68 ±1,84 <sup>aB</sup>	18,55 ±0,37 <sup>aA</sup>	23,28 ±0,51 <sup>aA</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais (p<0,05). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais (p<0,05)

Resultado semelhante foi observado por Silva et al. (2011) trabalhando com tangerinas revestidas com fécula de mandioca, onde os frutos tratados com 4% de fécula tiveram perda de massa fresca semelhante (~20%) aos frutos que não receberam nenhum tipo de tratamento.

### 3.3 Teor de umidade

A variação da umidade dos brócolis ao longo do tempo de armazenamento está apresentada na Tabela 3. É importante relatar que as amostras R3 e R2 não apresentaram diferença (p < 0,05) para a amostra zero, que representa a umidade inicial do brócolis MP, sendo este resultado de grande importância, uma vez que o que se busca é que as amostras revestidas estejam o mais próximas da amostra controle a qual representa a amostra “in natura”. Podemos

afirmar então que os tratamentos com revestimento (R2 e R3) mantiveram as características dos brócolis MP o mais próximo ao “in natura”.

Acredita-se que a redução do teor de umidade observada ao longo do armazenamento se deu devido a transpiração e respiração por parte do vegetal, além disso, o acondicionado em bandejas de polipropileno recobertas com filme de PVC, pode ter criado um microclima no seu interior, influenciando assim na perda de umidade pelas amostras.

**Tabela 3.** Teor de umidade (%) dos brócolis minimamente processados armazenadas a  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por 12 dias.

Tratamentos	Umidade (%)				
	Tempo (dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	90,50 $\pm$ 0,004 <sup>aA</sup>	89,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	88,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	89,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	89,00 $\pm$ 0,02 <sup>aA</sup>
<b>R2</b>	89,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	90,00 $\pm$ 0,04 <sup>aA</sup>	89,00 $\pm$ 0,004 <sup>aA</sup>	89,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	88,00 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>
<b>R3</b>	90,00 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	89,00 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	89,5 $\pm$ 0,01 <sup>bA</sup>	89,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>	88,50 $\pm$ 0,01 <sup>aA</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Avaliadas pelo teste de Tukey. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Resultado semelhante foi encontrado por Fontes et al. (2005) que estudaram maçãs minimamente processadas tratadas ou não com película comestível a base de 3% de fécula de mandioca. Não foi verificada, diferença significativa para o teor de umidade ao longo dos 13 dias de armazenamento, entre todos os tratamentos, incluso o controle (sem revestimento).

### 3.4 Dureza

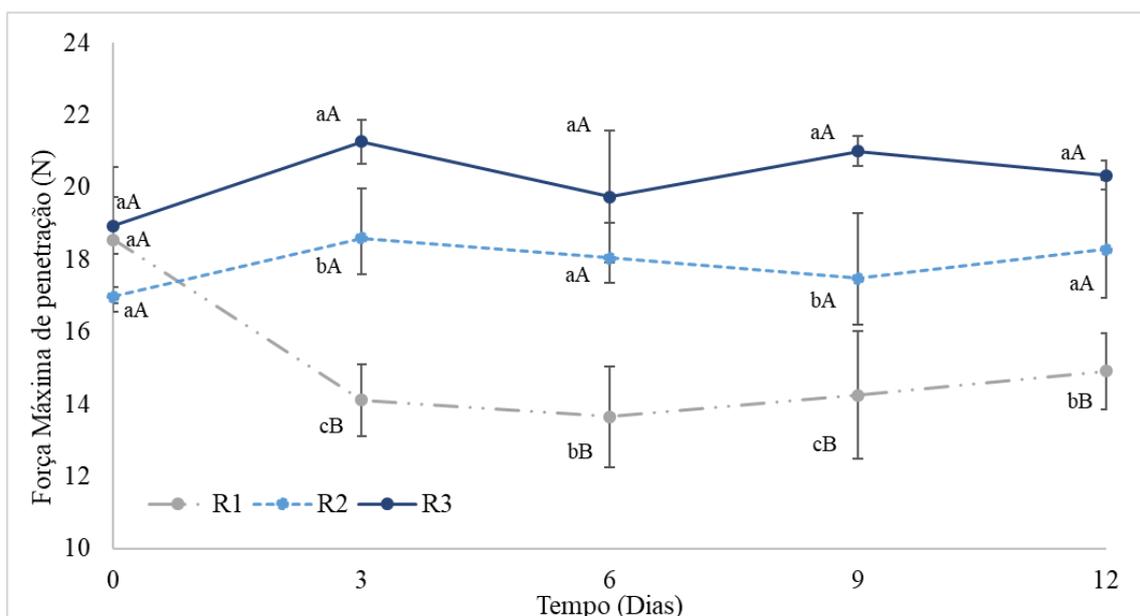
Na análise de dureza foi observada que o tempo de armazenamento não influenciou nos floretes de brócolis tratados com os revestimentos (R2 e R3), no entanto foi observada diferença ( $p < 0,05$ ) para os floretes controle (Figura 3). A redução de dureza observada dos tratamentos comparados com controle foi significativa ( $p < 0,05$ ) a partir do terceiro dia.

Percebe-se que o controle foi o tratamento que apresentou maior redução da força máxima penetração, ao longo dos 12 dias de armazenamento a  $10^{\circ}\text{C}$ . As reduções observadas para os tratamentos R2 e R3 foram pequenas e não significativas. Pode-se dizer que o revestimento com OE de aroeira foi eficiente em manter a integridade dos floretes de brócolis quanto a dureza durante o armazenamento.

Acredita-se que a firmeza pode ter sido influenciada pela perda de massa, pois com o aumento da perda de massa houve um aumento da firmeza dos brócolis MP, este resultado concorda com o encontrado por Souza et al. (2005) e Cortez-Vega et al. (2013), que constataram

que o aumento da perda de massa proporcionou um aumento da firmeza de mamão MP, assim como a perda de umidade promoveu a formação de um tecido superficial mais resistente.

Comportamento similar foi encontrado por Ansorena; Marcovich; Roura, (2011), em revestimento a base de quitosana, que manteve a firmeza de brócolis minimamente processados, armazenado a 5°C por 18 dias.



**Figura 3.** Força Máxima de Penetração (N), dos floretes de brócolis ao longo de 12 dias de armazenamento.

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

De forma semelhante, Botelho et al., (2016), aplicando revestimento de amido de mandioca e OE de canela na superfície de goiabas cv. “Pedro Sato”, verificaram que este revestimento foi eficiente em retardar a perda de firmeza das goiabas, quando comparado com a perda de firmeza das amostras sem cobertura.

Garcia et al. (2010), estudaram coberturas comestíveis de fécula de mandioca e sorbato de potássio nas proporções de 0%, 0,05%, 0,10% em morangos processados minimamente e a cobertura também foi eficiente quanto a reduzir a perda de firmeza do morango.

### 3.5 Concentração de Oxigênio ( $O_2$ )

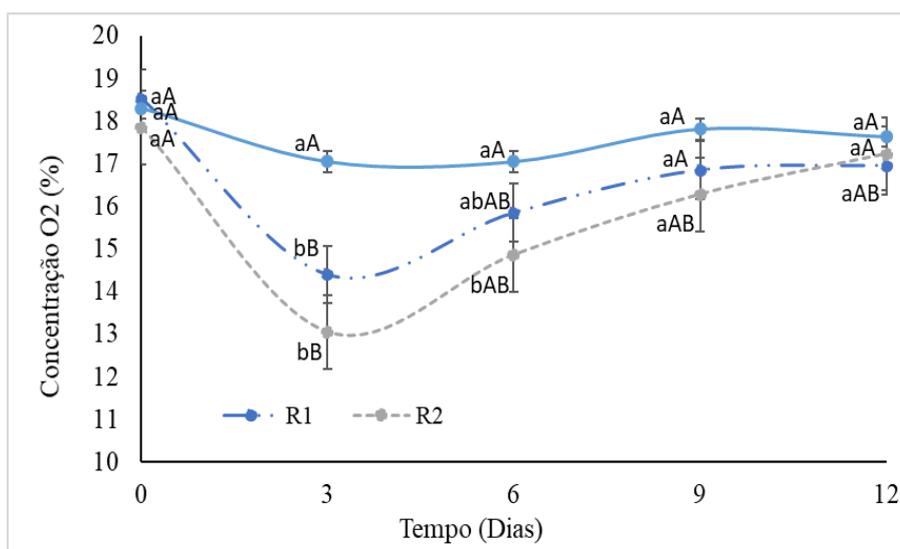
Produtos frescos são estruturas vivas e seus processos de respiração e transpiração continuam pós colheita, dependendo da estocagem dos alimentos e dos gases disponíveis. Uma vez que a respiração atesta a vida de prateleira dos produtos, está diretamente relacionada à

quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e ao O<sub>2</sub> consumido dentro da embalagem (ADAY, 2016), é importante saber a concentração desses gases.

Não houve diferença ( $p < 0,05$ ) na concentração de O<sub>2</sub> no interior da embalagem em relação ao tempo entre as amostras de brócolis controle (R1) e as revestidas (R2 e R3) ao final do 12º dia (Figura 4).

O estado estacionário da concentração de O<sub>2</sub> no interior da embalagem, mostra que a respiração dos floretes de brócolis tratados com revestimento foi similar ao controle, reafirmando que os tratamentos com revestimento mantiveram as características dos brócolis MP o mais próximo ao “in natura”.

Até o terceiro dia de armazenamento concentração de O<sub>2</sub> modificou rapidamente em todos os tratamentos, indicando que um maior consumo de oxigênio ocorreu nos primeiros dias após o processamento mínimo. Infere-se que o estresse produzido durante a separação dos floretes (processamento mínimo) pode ter sido responsável pelo aumento da respiração dos vegetais durante os primeiros dias de armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O alto consumo inicial de O<sub>2</sub> pelo brócolis, fez com que sua concentração no interior da embalagem diminuísse. A permeabilidade do filme PVC utilizado para embalar as bandejas, permite boas trocas gasosas com o ambiente. Esta permeabilidade permite o reestabelecimento da concentração de O<sub>2</sub> no interior da embalagem e o reequilíbrio da atividade respiratória dos floretes de brócolis armazenados.



**Figura 4.** Concentração de oxigênio (%), das bandejas de brócolis ao longo dos 12 dias de armazenamento.

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ).

A concentração de O<sub>2</sub> atingiu um estado estacionário após o sexto dia de armazenamento. Resultado semelhante foi encontrado por Ansorena; Marcovich; Roura (2011) em sacos com floretes de brócolis revestidos ou não com quitosana.

### 3.6 Teor de Clorofila e parâmetros de cor

Para todos os tratamentos, o teor de clorofila “a” (Tabela 4), “b” (Tabela 5) e total (Tabela 6) diminuíram com o armazenamento. Valores semelhantes para o pigmento clorofila foram relatados por Lemoine et al. (2009), para floretes de brócolis submetidos a radiação UV (~ 3,5 mg/.100g).

O conteúdo de pigmentos apresentou instabilidade durante o período de armazenamento. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato das amostras serem destrutivas e mesmo sendo selecionadas pela aparência apresentam variações de maturação na colheita (DOS REIS et al., 2017).

O uso do revestimento ativo com OE de aroeira (R3) preservou o conteúdo de clorofilas “a” e “b” após o armazenamento, não havendo reduções após o sexto dia. Já para os brócolis controle (R1) e revestidos com fécula de mandioca (R2), observa-se reduções significativas durante o todo período de armazenamento.

**Tabela 4.** Teor de clorofila “a” ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.

Tratamento	Clorofila a (mg.100g <sup>-1</sup> )				
	Tempo (Dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	7,45±0,69 <sup>aB</sup>	7,11±0,20 <sup>aB</sup>	10,52±0,41 <sup>aA</sup>	4,6±0,07 <sup>aC</sup>	3,8±0,09 <sup>bC</sup>
<b>R2</b>	7,66±0,18 <sup>aA</sup>	4,12±0,18 <sup>bB</sup>	7,2±,98 <sup>bA</sup>	2,91±0,04 <sup>bB</sup>	3,8±0,08 <sup>bB</sup>
<b>R3</b>	5,74±0,33 <sup>bA</sup>	3,55±0,34 <sup>bBC</sup>	3,11±0,04 <sup>cC</sup>	3,8a±0,10 <sup>bBC</sup>	4,78±0,069 <sup>aAB</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais (p<0,05). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais (p<0,05)

**Tabela 5.** Teor de clorofila “b” ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.

Clorofila b (mg.100g-1)					
Tratamento	Tempo (Dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	10,5±0,39aA	6,62±0,72aB	9,6±0,01aA	4,19±0,35aC	3,73±0,51bC
<b>R2</b>	9,98±1,51aA	4,16±0,21bB	8,25±1,19aA	2,79±0,22aB	3,6±0,24bB
<b>R3</b>	7,82±1,01bA	2,8±0,11bC	2,93±0,05bC	3,54±0,31aC	5,46±0,65aB

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Fernández-León et al., (2013) observaram o mesmo comportamento em brócolis minimamente processado após 12 dias de armazenamento tanto no armazenamento com atmosfera modificada quanto sem. Ao final do 12º dia, os brócolis armazenados com atmosfera modificada apresentaram maiores concentrações de clorofila “a” e “b” (9,86 e 3,40 mg/100g, respectivamente). Podemos supor então, que o revestimento ativo (R3) funcionou como atmosfera modificada nos floretes de brócolis.

A diversidade estrutural encontrada no reino vegetal oferece uma grande variedade de compostos bioativos. Entre estes encontram-se numerosos exemplos de inibidores enzimáticos incluindo de proteases como a do HIV (Tewtrakul et al., 2006), catepsina D (Roszkowska-Jakimiec et al., 2004) e SAPs (Zhang et al., 2002). Estes e muitos outros casos de sucesso de inibidores naturais, juntamente com o potencial terapêutico e a aplicabilidade dos óleos essenciais, sugerem a possibilidade de o OE de aroeira apresentar moléculas com potencial inibitório da clorofilase, permitindo a manutenção da cor verde nos floretes de brócolis tratados com revestimento ativo (R3).

**Tabela 6.** Valores médios de clorofila total ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processados submetidos aos diferentes tratamentos.

Clorofila Total (mg.100g-1)					
Tratamento	Tempo (Dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	17,96±01,09aA	13,73±0,53aB	20,13±0,40aA	8,80±0,42aC	7,40±0,60bC
<b>R2</b>	17,64±1,33aA	8,29±0,03bB	15,46±2,17aA	5,70±0,17bA	7,54±0,31bAB
<b>R3</b>	13,56±1,34bA	6,35±0,45bC	6,04±0,09bC	7,35±0,22abC	10,25±0,36aB

Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ).

A clorofila “a” é o pigmento utilizado para realizar a etapa fotoquímica do vegetal (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que a clorofila “b” auxilia na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamada de pigmento acessório (STREIT et al., 2005).

A percentual de redução da clorofila “b” nos floretes de brócolis tratados com revestimento ativo (R3) foi menor comparado aos demais (Tabela 5). Ao final dos 12 dias de armazenamento essa perda foi de 30% enquanto os floretes controle (R1) e revestido (R2) tiveram perdas de 67% e 64%, respectivamente. Esse resultado mostra que o revestimento ativo foi mais eficiente na redução dessa clorofila.

A perda de cor verde em inflorescências tem sido atribuída à degradação do pigmento de clorofila. A redução da clorofila total (principal responsável pela coloração verde das plantas) ao longo do tempo para os brócolis controle (R1) e revestido com fécula (R2) tornaram os floretes dos brócolis com cor amarelada, de acordo com o parâmetro de cor  $b^*$  (Tabela 7).

Este processo também pode estar relacionado com a taxa de respiração, processos de peroxidação de lipídios e produção de etileno (DOS REIS et al., 2017). Há a hipótese de que o amarelecimento dos floretes possa ter sido causado pela degradação da clorofila “a”

A cor é um importante atributo para o brócolis e seu amarelecimento é um termo usado para descrever as condições adversas da qualidade do produto, resultante da degradação da clorofila, processo que tem sido utilizado como indicador para avaliar a qualidade do produto e sua vida útil (TOIVONEN; DEELL, 2001).

Dos parâmetros analisados quanto à coloração, o valor de  $L^*$  está relacionado a luminosidade do produto variando de 100 (branco) à 0 (preto). No caso dos brócolis, quanto maior o tempo de armazenamento maior será sua luminosidade, o que não é interessante para o consumidor.

Altos valores de  $L^*$  apresentam um aspecto claro. A luminosidade dos brócolis controle (R1) foi maior significativamente ( $p < 0,05$ ) comparado aos brócolis revestidos (R2 e R3), sendo o revestimento ativo o que apresentou valor de luminosidade menor, ou seja, os floretes apresentaram aspecto mais escuro. (Tabela 7).

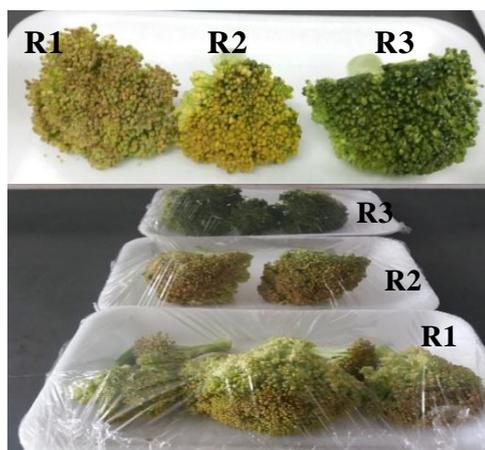
O parâmetro  $a^*$  ( $+ a^*$  = vermelho, e  $- a^*$  = verde), o parâmetro  $b^*$  ( $+ b^*$  = amarela, e  $- b^*$  = azul), assim como  $L^*$ , são também usadas para observar as modificações da cor causadas pelo tempo de armazenamento (ENDO, 2006).

Foi observado no período de armazenamento, que os valores de  $a^*$  e  $b^*$  tenderam a aumentar em todos os tratamentos indicando diferença significativa em relação ao tempo,

obtendo maiores valores de  $a^*$  nos brócolis controle (R1) e de  $b^*$  nos brócolis revestidos com fécula de mandioca (R2) (Tabela 6). Houve uma redução na cor verde e o aumento na cor amarela, mais elevado nos brócolis sem tratamento e com fécula do que em na amostra com adição do OE de aroeira no final do armazenamento (Figura 5).

O parâmetro ângulo Hue ( $h^\circ$ ), representa a tonalidade da cor, indica um atributo da cor vermelha a  $0^\circ$ , amarelo a  $90^\circ$ , verde a  $180^\circ$  e azul a  $270^\circ$ , sendo que está diretamente associada ao valor de croma  $a^*$ , logo, quanto menor o valor do ângulo de  $h^\circ$  e maior o valor de  $a^*$ , mais escura é a amostra (AMARAL, 2014; DIAS, 2011; ROCHA et al. ,2003).

Valores de  $h^\circ$  entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$  indicam cores que vão desde amarelo esverdeado a verde (CHITARRA; CHITARRA, 2005), estando os valores obtidos como no tratamento R3 dentro desta faixa. Segundo Salata et al. (2014) os valores de ângulo Hue são os parâmetros mais adequados para medir as mudanças de cor em hortaliças minimamente processadas, quando a cor torna-se escura, um decréscimo no Hue é observado, como os valores não apresentaram variações, significa que não houve escurecimento do brócolis.



**Figura 5.** Cor dos floretes de brócolis após 12 dias de armazenamento à  $10\pm 2^\circ\text{C}$ . R1: Floretes sem revestimentos; R2: Floretes revestidos com fécula de mandioca; R3: floretes revestidos com fécula de mandioca e OE de aroeira

**Tabela 7.** Parâmetros de cor dos floretes de brócolis minimamente processado submetidos aos diferentes tratamentos.

Trat	Tonalidade ( $H^\circ$ )				
	Tempo (Dias)				
	0	3	6	9	12
R1	108,45±1,96 <sup>Aa</sup>	104,83±5,17 <sup>aA</sup>	89,72±9,43 <sup>aB</sup>	84,18±2,20 <sup>bB</sup>	84,56±5,37 <sup>bB</sup>
R2	110,43±1,33 <sup>aA</sup>	105,07±3,66 <sup>aA</sup>	87,64±3,59 <sup>aB</sup>	88,65±2,5 <sup>abB</sup>	84,46±6,56 <sup>bB</sup>
R3	109,29±2,67 <sup>aA</sup>	103,5±2,08 <sup>aAB</sup>	92,92±4,94 <sup>aC</sup>	94,19±6,11 <sup>aC</sup>	99,82±5,78 <sup>aBC</sup>

<b>Croma (C*)</b>					
<b>Trat</b>	<b>Tempo (Dias)</b>				
	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>R1</b>	8,44±0,97 <sup>bC</sup>	14,73±5,55 <sup>aAB</sup>	18,21±2,44 <sup>aA</sup>	11,35±3,28 <sup>aBC</sup>	10,28±2,98 <sup>bBC</sup>
<b>R2</b>	13,53±0,90 <sup>aAB</sup>	14,07±3,38 <sup>aAB</sup>	14,25±2,20 <sup>abA</sup>	12,03±1,61 <sup>aB</sup>	18,03±4,63 <sup>aA</sup>
<b>R3</b>	16,12±2,43 <sup>aAB</sup>	16,95±2,28 <sup>aA</sup>	11,4±4,54 <sup>bBC</sup>	10,43±1,07 <sup>aC</sup>	7,56±3,25 <sup>bC</sup>

<b>Luminosidade (L*)</b>					
<b>Trat</b>	<b>Tempo (Dias)</b>				
	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>R1</b>	37,81±0,96 <sup>bB</sup>	44,76±5,87 <sup>aA</sup>	46,76±3,81 <sup>aA</sup>	43,33±3,81 <sup>aA</sup>	42,42±3,55 <sup>aAB</sup>
<b>R2</b>	44,31±2,07 <sup>aAB</sup>	43,52±3,76 <sup>aB</sup>	44,65±2,08 <sup>abAB</sup>	46,59±2,08 <sup>aAB</sup>	46,68±4,40 <sup>bA</sup>
<b>R3</b>	41,89±2,68 <sup>abB</sup>	47,72±2,14 <sup>aA</sup>	40,71±1,70 <sup>bB</sup>	43,09±1,70 <sup>aAB</sup>	38,65±3,68 <sup>bB</sup>

<b>Cor (a*)</b>					
<b>Trat</b>	<b>Tempo (Dias)</b>				
	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>R1</b>	-2,64±0,16 <sup>bA</sup>	-3,96±1,30 <sup>aA</sup>	0,061±3,02 <sup>aB</sup>	1,1±0,49 <sup>bB</sup>	0,94±1,25 <sup>bB</sup>
<b>R2</b>	-4,73±0,46 <sup>bAB</sup>	-3,64±1,31 <sup>aA</sup>	0,58±0,88 <sup>aB</sup>	0,26±0,52 <sup>abB</sup>	1,99±2,21 <sup>bB</sup>
<b>R3</b>	-5,38±1,34 <sup>aAB</sup>	-3,31±0,81 <sup>aA</sup>	-0,27±0,76 <sup>aB</sup>	-0,8±1,17 <sup>aB</sup>	-1,16±0,98 <sup>aB</sup>

<b>Cor (b*)</b>					
<b>Trat</b>	<b>Tempo (Dias)</b>				
	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>R1</b>	8±1 <sup>bC</sup>	14,25±5,61 <sup>aAB</sup>	18±2,40 <sup>aA</sup>	11,29±3,27 <sup>aBC</sup>	10,18±2,92 <sup>bBC</sup>
<b>R2</b>	12,68±0,83 <sup>aB</sup>	13,56±3,25 <sup>aAB</sup>	14,21±2,2 <sup>abAB</sup>	12,02±1,61 <sup>aB</sup>	17,83±4,53 <sup>aA</sup>
<b>R3</b>	15,2±2,15 <sup>aAB</sup>	16,48±2,21 <sup>aA</sup>	11,37±4,57 <sup>bBC</sup>	10,36±1,01 <sup>aBC</sup>	7,43±3,22 <sup>bC</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ).

Resultados semelhantes foram verificados por Ansorena; Moreira; Roura, (2014), onde os brócolis MP revestidos com quitosana e carboximetilcelulose mantiveram a cor verde e a degradação de clorofila ocorreu em menor proporção quando comparado com as amostras controle.

Dos Reis et al.(2017), ao observar os parâmetros de cor de inflorescências de brócolis MP acondicionado em embalagem sem e com atmosfera modificada ao longo de 10 dias encontraram valores de L e b\* próximos ao dia 9 do presente estudo. A luminosidade dos brócolis sem ATM foi de 44,96 e com ATM foi 46,09; a cor b\* sem ATM foi de 15,18 e com

ATM de 13,55. Esses resultados semelhantes reforçam a ideia já mencionada de que o revestimento ativo (R3) funciona como uma atmosfera modificada na superfície dos brócolis MP.

### 3.7 Vitamina C (Ácido Ascórbico)

A variação do teor do ácido ascórbico dos brócolis minimamente processados, tendo os diferentes tratamentos durante o armazenamento está apresentada na Tabela 8.

Ao longo do armazenamento todas as amostras apresentaram redução de vitamina C, este fenômeno está ligado à presença de oxigênio, pois a presença do mesmo, oxida e reduz a quantidade de ácido ascórbico presente no vegetal (CARDOSO et al, 2018). Como visto no item 3.4, a concentração de oxigênio se manteve presente no interior da embalagem, permitindo que o mesmo oxidasse o ácido ascórbico.

Segundo a legislação brasileira RDC 269/2005 a IDR (Ingestão Diária Recomendada), o consumo de ácido ascórbico recomendada para um adulto é de 45 mg/dia. Dessa forma, o longo dos 12 dias de armazenamento, as amostras de brócolis tratadas (R2 e R3) se mostraram sendo uma boa fonte de ingestão de vitamina C.

**Tabela 8.** Teor de vitamina C (mg/100g), ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos.

Tratamento	Tempo (dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	63,0 ±0,5 <sup>bA</sup>	50,0±0,5 <sup>cB</sup>	37,5±0,4 <sup>bC</sup>	30,0±0,2 <sup>bD</sup>	25,0±0,3 <sup>cD</sup>
<b>R2</b>	77,5±0,3 <sup>aA</sup>	77,5±0,4 <sup>aA</sup>	50,0±0,5 <sup>aB</sup>	40,5±0,3 <sup>aC</sup>	38,0±0,5 <sup>bC</sup>
<b>R3</b>	62,5±0,5 <sup>bA</sup>	65,0±0,2 <sup>bA</sup>	50,0±0,5 <sup>aB</sup>	40,0±0,5 <sup>aC</sup>	40,0±0,5 <sup>aC</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais (p<0,05). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais (p<0,05)

Resultado similar foi observado por Ansorena; Marcovich; Roura, (2011) e Araújo; Shirai, (2016), em brócolis minimamente processado revestido com quitosana.

Gouveia et al. (2015) encontraram valores próximo ao do presente estudo (~41mg/100g) em brócolis branqueados e congelados por 6 meses.

### 3.8 Acidez Total Titulável e pH

A Tabela 9 apresenta os valores de pH dos brócolis minimamente processados, tendo os diferentes tratamentos e armazenados durante 12 dias s. O pH foi de 6,5. Valor próximo (6,9) foi relatado por Dos Reis et al. (2017) em brócolis orgânico minimamente processado.

O aumento do pH ao longo do armazenamento, como observado no presente estudo, tem sido associado por Medlicott e Jeger (1987) com a utilização de ácidos orgânicos em excesso, armazenados nos vacúolos como substrato respiratório. Os valores de pH encontrados para as amostras estudadas estão próximos dos valores encontrados por Artés *et al.* (2001) para a cultivar *Botrytis*, que foram de 6,50 no dia da colheita, de 6,51 a 6,72 para brócolis armazenados por 7 dias à 1,5 °C.

**Tabela 9.** Valores de pH, ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos.

Tratamento	pH				
	Tempo (dias)				
	0	3	6	9	12
R1	6,5±0,2 <sup>aA</sup>	6,8±0,3 <sup>aA</sup>	6,0±0,1 <sup>aA</sup>	6,9±0,2 <sup>aA</sup>	6,7±0,2 <sup>aA</sup>
R2	6,6±0,1 <sup>aA</sup>	6,8±0,2 <sup>aA</sup>	6,7±0,2 <sup>aA</sup>	6,7±0,1 <sup>aA</sup>	6,7±0,3 <sup>aA</sup>
R3	6,6±0,1 <sup>aA</sup>	6,6±0,3 <sup>aA</sup>	6,7±0,1 <sup>aA</sup>	6,9±0,2 <sup>aA</sup>	7,0±0,3 <sup>aA</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Considerando o tempo de armazenamento, não foi observado variação no pH para os diferentes tratamentos. Comportamento semelhante foi observado por Chevalier et al. (2016) onde o pH se manteve estável durante o armazenamento de melão minimamente processado revestido com quitosana e adicionado de óleo essencial de cravo.

Avaliando o efeito do tratamento, notou-se que a partir do sexto dia de armazenamento os valores de pH dos brócolis revestido (R3) foram maiores. Valores elevados de pH podem estar associados com a utilização de ácidos orgânicos como substrato respiratório. Como mostrado no item 3.7, houve uma redução de ácido ao longo do tempo de armazenamento, reforçando a ideia de que o mesmo pode ter sido utilizado como substrato respiratório.

A ATT (Tabela 10) no geral, não apresentou diferença entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) até o 6° dia, mas foram observadas diferenças ao longo do tempo. Os brócolis tratados com revestimento ativo (R3) foram os que apresentaram menor aumento ao final do 12° dia, mantendo durante a maior parte do tempo valor constante.

**Tabela 10.** Valores de ácido málico, ao longo do armazenamento, para brócolis minimamente processado submetido a diferentes tratamentos.

ATT (% ác. Málico)					
Trat	Tempo (Dias)				
	0	3	6	9	12
<b>R1</b>	0,19±0,07 <sup>aC</sup>	0,26±0,13 <sup>aC</sup>	0,86±0,12 <sup>aA</sup>	0,53±0,15 <sup>aB</sup>	0,66±0,10 <sup>aAB</sup>
<b>R2</b>	0,26±0,05 <sup>aC</sup>	0,39±0,21 <sup>aBC</sup>	0,86±0,10 <sup>aA</sup>	0,53±0,12 <sup>aB</sup>	0,52±0,15 <sup>abB</sup>
<b>R3</b>	0,26±0,03 <sup>aB</sup>	0,39±0,14 <sup>aB</sup>	0,86±0,10 <sup>aA</sup>	0,39±0,14 <sup>aB</sup>	0,39±0,12 <sup>bB</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Observa-se que mesmo a acidez apresentando aumento ao longo do período de armazenamento, o pH permanece sem grandes modificações, mesmo com efeito significativo para o período de armazenamento. Este comportamento, provavelmente, ocorreu devido a uma variação na composição de ácidos presentes nos tecidos vegetais. Segundo Chitarra; Chitarra (2005), a medida de pH retrata a concentração de hidrogênios ionizados na polpa dos vegetais, a acidez titulável expressa o conteúdo total de hidrogênios, inclusive na forma não-dissociada.

De acordo com Pereira (2003), nos períodos de armazenamento, quando o pH têm valor elevado, no meio provavelmente existe uma maior concentração de ácidos na forma não-dissociada como, por exemplo, o ácido ascórbico. Como foi reportado no item 3.7, o brócolis tratado com revestimento ativo (R3) apresentou maior concentração de ácido ascórbico, concordando com maiores valores de pH encontrados.

### 3.9 Análise microbiológica

A Tabela 11 apresenta os resultados quanto a conservação microbiológica considerando os psicrotróficos, dos brócolis minimamente processados tendo o revestimento a base de fécula de mandioca

Observa-se maior crescimento desses microrganismos nos brócolis controle (R1) diferindo significativamente dos demais brócolis tratados (R2, R3), isso pode ser atribuído ao fato da ausência de cobertura na amostra controle e ao óleo essencial de aroeira que atua como antimicrobiano (Tabela 11).

**Tabela 11.** Desenvolvimento de microrganismos psicrotróficos nos brócolis minimamente processado submetidos a diferentes tratamentos

Tratamento	Contagem psicrotrófico (UFC/mL)		
	Tempo (dias)		
	0	6	12
<b>R1</b>	15,16 x10 <sup>5aA</sup>	30,33x10 <sup>5aB</sup>	11,06x10 <sup>6aC</sup>
<b>R2</b>	4,43x10 <sup>5bB</sup>	8,86x10 <sup>5bB</sup>	93,33x10 <sup>5bA</sup>
<b>R3</b>	8x10 <sup>4bB</sup>	2,40x10 <sup>5bB</sup>	53,66x10 <sup>5cA</sup>

R1: Controle, R2: Revestimento com 3% de fécula de mandioca, R3: Revestimento com 3% de fécula de mandioca e 0,3% de OE de aroeira. Médias com a mesma letra minúscula no mesmo tempo de análise são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ). Médias com a mesma letra maiúscula, para um mesmo tratamento ao longo do tempo, são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ).

O melhor tratamento foi o R3, pois exerceu um melhor controle sobre o crescimento dos psicrotróficos. Estes resultados concordam com a pesquisa de Cortez-Vega et al. (2014) que estudaram a vida útil do mamão minimamente processado utilizando coberturas comestíveis a base de isolado proteico de corvina.

Pesquisas têm citado as propriedades antibacterianas e antifúngicas do OE de aroeira (RIBEIRO et al., 2015; ULIANA et al., 2016; DANNENBERG et al., 2017). Estudos realizados por Nazzaro et al. (2013); Alkan; Yemenicioğlu (2016), constataram que OE de aroeira altera a permeabilidade e integridade da membrana celular de bactérias. O que reforça a ideia de que a ativação do revestimento apresenta características antimicrobianas.

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) não estabelece limites quanto à contagem de aeróbios psicrotróficos para produtos minimamente processados. No entanto, o crescimento excessivo destes contaminantes compromete a aparência, o sabor e o aroma do produto, provocando uma redução na aceitação pelo consumidor.

Uma carga microbiana de  $10^6$  UFC/mL foi estabelecida como a população limite aceitável, já que em populações superiores a esta, substâncias tóxicas podem ser produzidas (LEE et al., 2003; ROJAS-GRAÜ et al., 2007). Sendo assim, após 12 dias de armazenamento, o brócolis tratado com revestimento ativo (R3) foi o que apresentou melhor resultado, garantido a segurança do vegetal.

## 4 CONCLUSÃO

Os revestimentos utilizados neste trabalho foram eficientes na conservação dos brócolis minimamente processado, quando comparado a amostra controle. Quanto aos revestimentos avaliados, os brócolis tendo o revestimento ativo (R3-0,3% de OE de aroeira) foi o que apresentou os melhores resultados para dureza, cor, vitamina C e avaliação microbiológica, e sofreu as mínimas alterações analisadas, quando comparado com os brócolis tendo os demais tratamentos (R1 e R2).

O uso do revestimento a base de fécula de mandioca incorporado com óleo essencial de aroeira foi eficiente para retardar o desenvolvimento microbiano e também para reduzir a oxidação dos pigmentos de clorofila dos brócolis minimamente processado, agregando ao revestimento a característica de ativo, apresentando características antimicrobianas e antioxidantes.

O revestimento ativo, foi eficaz na extensão da vida-útil, deixando os floretes de brócolis seguros para consumo por mais tempo comparado com a amostra controle, com qualidade semelhante ao “in natura”.

Em conclusão, o revestimento a base de fécula de mandioca ativado com OE de aroeira permitiu a manutenção da qualidade e a extensão do prazo de validade dos brócolis MP, podendo vir a ser considerado um revestimento de aplicação comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAY, M. S. Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 44–51, 2016.
- ALKAN, D.; YEMENICIOĞLU, A. Potential application of natural phenolic antimicrobials and edible film technology against bacterial plant pathogens. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 1–10, 2016.
- AMARAL, D. P. do. **Revestimento ativo antiescurecimento à base de proteína do soro de leite aplicado em maçãs minimamente processadas**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, RJ.
- ANSORENA, M. R.; MARCOVICH, N. E.; ROURA, S. I. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, n. 1, p. 53–63, 2011.
- ANSORENA, M. R.; MOREIRA, M. R.; ROURA, S. I. Combined effect of ultrasound, mild heat shock and citric acid to retain greenness, nutritional and microbiological quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.): An optimization study. **Postharvest Biology and Technology**, v. 94, p. 1–13, 2014.
- ARTÉS, F.; VALLEJO, F.; MARTÍNEZ, J. A. Quality of broccoli as influenced by film wrapping during shipment. **European Food Research Technology**, 213, p. 480-483, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18.ed. Arlington: Washington, 2010. 1115p.
- ARAÚJO, V. R.; SHIRAI, M. A. Aplicação de revestimento comestível de quitosana em brócolis minimamente processado. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, p. 1–10, 2017.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 1–15, 1949.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. De. Review: edible protective coatings for fruits: fundamentals and applications. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/bjft.2014.019>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348–356, 2017.
- BOTELHO, L. N. S. et al. Quality of guava cv. ‘Pedro Sato’ treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 214–220, 2016.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância. ANVISA. Resolução RDC nº12, de 02 de janeiro

de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC\\_269\\_2005\\_COMP.pdf/25aaf9f3-32bc-4e80-aa6c-0520332533a6](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_269_2005_COMP.pdf/25aaf9f3-32bc-4e80-aa6c-0520332533a6)>. Acesso em: 12 fev 2019.

CALO, J. R. et al. Essential oils as antimicrobials in food systems: A review. **Food Control**, v. 54, p. 111–119, 2015.

CARDOSO, L. V.; VIEIRA, R. P.; CARDOSO, G. D. S. P. Análises físico-químicas de brócolis (*Brassica oleraceae*) minimamente processado submetido à diferentes métodos de cocção. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 12, p. 5–8, 2018.

CHEVALIER, R. C. et al. Utilização de revestimento comestível à base de quitosana para aumentar a vida útil de melão minimamente processado. Edible coating utilization the chitosan base to improve melon shelf life minimally processed. **J. Bioen. Food Sci**, n. 3, p. 130–138, 2016.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005.

COELHO, C. C. de S. et al. Aplicação de revestimento filmogênico à base de amido de mandioca e de óleo de cravo-da-índia na conservação pós-colheita de goiaba ‘Pedro Sato’. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 25, n. 6, p. 479, 2017.

CONTE, A. et al. Packaging strategies to prolong the shelf life of minimally processed lampascioni (*Muscari comosum*). **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 199–206, 2009.

CORTEZ-VEGA, W. R. et al. Conservação de mamão minimamente processado com uso de revestimento comestível à base de goma xantana. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1753–1764, jul. 2013.

DANNENBERG, G. da S. et al. Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil from pink pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in vitro and in cheese experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 36, p. 120–127, 2016.

DANNENBERG, G. da S. et al. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 314–318, 2017.

DANNENBERG, G. da S. et al. Essential oil from pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi): Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action. **Food Control**, v. 95, p. 115–120, 2019.

DIAS, P. D.B. **Efeito da utilização de película e de diferentes formas de acondicionamento na conservação pós-colheita e fritura de batatas minimamente processadas**. 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP.

DOS REIS, L. C. R. et al. Influência do uso de atmosfera modificada nas características físico-químicas de brócolis minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 3, p. 44–58, 2017.

ENDO, E. **Desenvolvimento e Avaliação de Filme Ativo na Conservação de Batata (*Solanum tuberosum* L. ) Minimamente Processada**. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, RJ.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2010. 900p.

FERNÁNDEZ-LEÓN, M. F. et al. Retention of quality and functional values of broccoli “Parthenon” stored in modified atmosphere packaging. **Food Control**, v. 31, n. 2, p. 302–313, 2013.

FONTES, L. C. B. **Uso de solução conservadora e de películas comestíveis de maçãs da cultivar Royal Gala minimamente processadas: efeito na fisiologia e na conservação**. 2005. 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos). Universidade de São Paulo. São Paulo –SP.

GARCIA, L. C. et al. Selection of an Edible Starch Coating for Minimally Processed Strawberry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 6, p. 834–842, 2010.

GOMES, T. C. et al. Qualidade pós-colheita de goiabas ‘pedro sato’ tratadas com diferentes concentrações de fécula de mandioca associadas a substâncias antifúngicas. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 2, n. 1, 2016.

GOUVEIA, A. M. de S. et al. Modificação da cor e das características físico-químicas de brócolis branqueado e congelado. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 16, n. 2, p. 299–306, 2015.

GUTIÉRREZ, T. J. et al. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 211–217, 2015.

HAFSA, J. et al. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 356–364, 2016.

HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IAL, 1985. v. 1, 553p.

JAN, K. N. et al. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 102, p. 315–322, 1 set. 2017.

LEE, J.Y.; PARK H.J., LEE C.Y., CHOI, W.Y. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 323–329, 2003.

LEMOINE, M. L. et al. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut

broccoli florets during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 1076–1081, 2009.

LUCERA, A. et al. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 2, p. 122–129, 2011.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. p. 1254–1255, 1992.

MEDLICOTT, A. P., JEGER, M. J. The development and application of postharvest handling treatments to manipulate ripening mangoes. In: Prinsley, R. T., Tucker, R. T. *Mangoes: a review*. London: **Commonwealth Science Council**, p. 56-77, 1987.

MORADI, M. et al. Antioxidant and antimicrobial effects of zein edible film impregnated with *Zataria multiflora* Boiss. essential oil and monolaurin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 37–43, 1 out. 2016.

NAZZARO, F. et al. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. **Pharmaceuticals**, v. 6, n. 12, p. 1451–1474, 25 nov. 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8247/6/12/1451>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

NGUYEN VU, H. P.; LUMDUBWONG, N. Starch behaviors and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, v. 154, p. 112–120, 10 2016.

PÉREZ, I. M. N. **Efeito da cobertura de fécula de mandioca sobre morangos, armazenados sob temperatura de refrigeração**. 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP.

PEREIRA, T. **Avaliação das características físicas e químicas de goiabas (*Psidium guajava* L.) cv. Cortibel, de polpa branca, sob diferentes condições de armazenamento**. 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

RIBEIRO, P. et al. Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activities of extracts prepared from different tissues of *Schinus terebinthifolius* Raddi that occurs in the coast of Bahia, Brazil. **Pharmacognosy Magazine**, v. 11, n. 43, p. 607, 2015.

RIZZOLO, A. et al. Volatile compound composition and antioxidant activity of cooked ham slices packed in propolis-based active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 8, p. 41–49, 1 jun. 2016.

ROCHA, A. M. C. N.; COULON, E. C.; MORAIS, A. M. M. B. Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. **Food Service Technology**, v. 3, p.81-88, 2003.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; GRASA-GUILLEM, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere. **J. Food Sci.**, v.72, p. 36–43, 2007.

ROMANI, V. P.; HERNÁNDEZ, C. P.; MARTINS, V. G. Pink pepper phenolic compounds incorporation in starch/protein blends and its potential to inhibit apple browning. **Food**

**Packaging and Shelf Life**, v. 15, n. January, p. 151–158, 2018.

ROSZKOWSKA-JAKIMIEC W., WOŁCZYŃSKI S., CHLABICZ M. Effects of cathepsin D inhibitor from *Vicia sativa* L. seed hulls on human skin fibroblasts and breast cancer cells (in vitro studies). **Rocz. Akad. Med. Białymst.**, v. 49, p. 234-235, 2004.

SALATA, A. C. et al. Uso de ácido ascórbico e cloreto de cálcio na qualidade de repolho minimamente processado. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 391–397, 2014.

SHARMA, P. et al. **Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review** **International Journal of Vegetable Science**, 2019. . Disponível em: <[www.emeraldinsight.com/0034-6659.htm](http://www.emeraldinsight.com/0034-6659.htm)>. Acesso em: 27 set. 2019.

SILVA, D. F. P. et al. Edible coatings on postharvest life of “Mexerica-do-Rio”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 357–362, 2011. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-83255184366&partnerID=40&md5=3e6073ea19b84e8cb8b283553e56bd0b>>. Acesso em: 1 dez. 2019.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3ª ed. São Paulo, SP: UFMS, 2007.

SOUZA, A. C. et al. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 110–117, 2012.

SOUZA, B. S. et al. Conservação de mamão Formosa minimamente processado armazenado sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n. 2, p. 273-272, 2005.

STREIT, N. M. et al. The Chlorophylls. **Ciencia Rural**, v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005.

TEWTRAKUL S., ITHARAT A., RATTANASUWAN P. Anti-HIV-1 protease- and HIV-1 integrase activities of Thai medicinal plants known as Hua-Khao-Yen. **J. Ethnopharmacol**, v. 105, p. 312-315, 2006.

TOIVONEN, P. M. A.; DEELL, J. R. Chlorophyll fluorescence, fermentation product accumulation, and quality of stored broccoli in modified atmosphere packages and subsequent air storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 23, n. 1, p. 61–69, 2001.

ULIANA, M. P. et al. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 235–240, 2016.

ZHAN, L. et al. Combination of light exposure and low temperature in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 72, p. 76–81, out. 2012.

ZHANG Z. et al. Natural products inhibiting *Candida albicans* secreted aspartic proteases from *Lycopodium cernuum*. **J. Nat. Prod**, v. 65, n.7, p. 979-985, 2002.

## CONCLUSÕES GERAIS

A procura por produtos desenvolvidos a partir de recursos renováveis, sustentáveis e que sejam biodegradáveis tornou-se uma parte importante do esforço para reduzir o impacto das embalagens sintéticas sobre o meio ambiente.

Estudos que ambicionem a elaboração de revestimentos para alimentos, principalmente vegetais, com bases ecologicamente conscientes (lipídios, polissacarídeos, proteínas) aditivados com compostos naturais e/ou orgânicos, devem ser explorados continuamente, visando oferecer ao consumidor cada vez mais um alimento seguro e de qualidade.

Com o presente estudo, foi possível verificar que a fécula de mandioca apresenta características desejáveis de teor de amilose e viscosidade para ser utilizada como base para produção de revestimentos. A incorporação com eficiência do OE de aroeira ao revestimento comestível sem adição do emulsificante Tween<sup>®</sup> 80, proporcionou o desenvolvimento de um revestimento ativo com menos aditivos químicos. A adição de 0,3% (v/v) de OE de aroeira tornou o revestimento ativo. A menor concentração utilizada, apresentou eficiência equivalente às demais concentrações testadas (0,45 e 0,6%).

O revestimento incorporado com óleo essencial de aroeira (*Shinus terebinthifolius* Raddi) apresentou atividade antimicrobiana “in vitro”, inibindo do desenvolvimento das principais bactérias deteriorantes dos vegetais (*Erwínia carotovora*, *Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). A atividade antimicrobiana “in loco” foi verificada frente aos microrganismos psicotróficos presentes nos brócolis MP com revestimento ativo. Além da atividade antimicrobiana, o revestimento também pode ter agido como antioxidante, uma vez que reduziu a oxidação dos pigmentos de clorofila dos brócolis MP.

Os floretes de brócolis com revestimento ativo apresentaram melhores resultados quanto a perda de massa, dureza dos talos, cor e segurança microbiológica, comparados com os demais tratamentos durante os 12 dias de armazenamento a 10°C. Foi possível estender a vida-útil do vegetal, deixando os floretes de brócolis seguros para consumo por mais tempo com qualidade similar do “in natura”. Sugere-se em estudos futuros, que seja realizado análise sensorial do produto revestido com fécula de mandioca e OE de aroeira.

Sendo assim, pode-se inferir que o revestimento a base de fécula de mandioca ativado com OE de aroeira foi eficaz na manutenção da qualidade e a extensão do prazo de validade dos brócolis MP com qualidade semelhante ao “in natura”, podendo vir a ser considerado um revestimento de aplicação comercial.

ANEXO A – Laudo técnico do óleo essencial de Pimenta Rosa



**LAUDO TÉCNICO**  
**Óleo Essencial de Pimenta Rosa**  
(*Schinus terebinthifolius*)

Lote: 103	CAS: 949495-68-5
Fabricação: Janeiro/2019	Validade: Janeiro/2021

Itens Controlados	Resultados	Especificações
Aparência	Líquido Límpido	Líquido Límpido
Cor	Amarelo Claro	Incolor a Verde Claro
Impurezas	Isento	Isento
Odor	Fresco, aromático	Fresco, aromático
Densidade (20°C)	0,860	0,830 – 0,870
Índice de Refração (20°C)	1,477	1,420 – 1,484
Rotação Ótica	+34,50°	[+15° ; +45°]
Data da Análise	26/02/2019	
Resultado	<b>Aprovado</b>	
Origem	Brasil	
Extração	Destilação a vapor dos frutos maduros	
Principais componentes (valores aproximados)	Alfa-pineno = 10% Alfa-felandreno = 15% p-cimeno = 4%	d-limoneno = 20% gama-terpineno = 32%
Obs.: não contem OGM nem foi utilizado para teste em animais.		

Recomendações Especiais	
Manuseio	O uso de óculos de segurança e luvas é recomendável. Não inalar diretamente o produto. Evitar contato com a pele, olhos e mucosa: o produto pode causar irritação à pele sensível. Se isso ocorrer, lavar imediatamente com água límpida em abundância. Em caso de derramamento, absorver o material derramado com material absorvente (areia, terra).
Incêndio	Caso haja fogo, utilizar extintor de pó químico seco e água em forma de neblina, não utilizando jatos de água para não espalhar o produto. Emite vapores tóxicos em situação de incêndio.
Explosividade	Nenhum perigo em condições normais.
Uso	Este produto destina-se ao uso profissional / industrial e como é elaborado a partir de substâncias naturais pode apresentar pequenas variações de cor e cromatografia sem causar qualquer problema na performance do produto.
Armazenamento	Armazenar em local seco, longe de umidade e do calor, protegido da luz, em recipiente original bem vedado. Não reutilizar a embalagem vazia.
Transporte	Produto não enquadrado na portaria 204/97 em vigor sobre transporte de produtos perigosos.

As informações contidas nesta publicação representam o melhor de nosso conhecimento. Entretanto, nada aqui mencionado deve ser entendido como garantia de uso. Os consumidores devem efetuar seus próprios ensaios para determinar a viabilidade da aplicação.

Engenheira Química Responsável: Alice Lasthaus      CRQ: IV 04330754

## APÊNDICE

### **DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE FÉCULA DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA UTILIZADOS NESTE TRABALHO**

Para a determinação da concentração de fécula de mandioca utilizada no trabalho, foram realizados testes preliminares sendo avaliado o potencial de cobertura da solução filmogênica aplicada nos floretes de brócoles. Foi utilizado o teste de coloração por iodo e variações na concentração de amido de 1% a 4% (m/v), porcentagem essas definidas tendo referencia em trabalhos encontrados na literatura. A concentração de 3% (m/v) de fécula de mandioca foi o percentual que apresentou melhor recobrimento visual dos floretes.

Para determinação da concentração de OE de aroeira, foi verificada a concentração mínima inibitória (CMI) do OE utilizando da metodologia descrita na NCCLS (2003) frente as bactérias *Erwínia carotovora*, *Pseudomas syringae* e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. A CMI é determinada pela menor concentração do OE que inibe o crescimento das bactérias.