

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES  
URI ERECHIM  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**DANIELE HAMANN**

**FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS DE RECOBRIMENTO E  
INTERFOLHAMENTO COM ADIÇÃO DE EXTRATO DE *Camellia sinensis* PARA  
USO EM PRODUTOS CÁRNEOS REFRIGERADOS**

**ERECHIM – RS - BRASIL.  
SETEMBRO DE 2021**

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES**  
**URI ERECHIM**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS DE RECOBRIMENTO E  
INTERFOLHAMENTO COM ADIÇÃO DE EXTRATO DE *Camellia sinensis* PARA  
USO EM PRODUTOS CÁRNEOS REFRIGERADOS**

**Daniele Hamann**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim, como pré-requisito ao Título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Orientadores: Dra. Geciane Toniazco Backes  
Dr. Rogério Luis Cansian

ERECHIM –RS – BRASIL.  
SETEMBRO DE 2021.

**FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS DE RECOBRIMENTO E  
INTERFOLHAMENTO COM ADIÇÃO DE EXTRATO DE *Camellia sinensis* PARA  
USO EM PRODUTOS CÁRNEOS REFRIGERADOS**

**DANIELE HAMANN**

Tese de doutorado submetida à Comissão Julgadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Comissão Julgadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Geciane Toniazzo Backes, D. Sc. (Orientadora)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

---

Prof. Rogério Luis Cansian, D. Sc. (Orientador)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

---

Bernardo Dimer Beledelli, D. Sc. (Banca)  
Aurora Alimentos - Erechim

---

Prof<sup>a</sup>. Elisandra Rigo, D. Sc. (Banca)

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Pinhalzinho

---

Prof<sup>a</sup>. Eunice Valduga, D. Sc. (Banca)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

---

Rosicler Colet, D. Sc. (Banca)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim

ERECHIM –RS - BRASIL.  
SETEMBRO DE 2021.

H198f Hamann, Daniele

Filmes comestíveis ativos de recobrimento e interfolhamento com  
adição de extrato de *Camellia sinensis* para uso em produtos cárneos  
refrigerados / Daniele Hamann . - 2021.

127 f.

Tese (doutorado) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai  
e das Missões, Erechim, 2021.

“Orientação: Prfª Dra Geciane Toniazzo Backes, Prof. Dr. Rogério  
Luis Cansian.”

1. Filmes ativos 2. Filmes biodegradáveis 3. Antioxidante 4. Oxidação  
5. Oxidação lipídica I. Título

C.D.U.: 664

Catlogação na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

## **AGRADECIMENTOS**

Para começar os agradecimentos eu não poderia deixar e me concentrar e pensar na força maior que nos conduz, nosso Pai lá do céu que me deu a oportunidade de aperfeiçoar os meus conhecimentos intelectuais com essa tese.

Nesse período desafiador, muitas pessoas estiveram presentes na minha caminhada, minha família, amigos e principalmente meus mentores.

Meus primeiros mentores, que nunca mediram esforços para me apoiar e segurar a barra nos meus momentos de desequilíbrio. Pai e Mãe minha gratidão sempre. Mamãe Valnira você é a minha inspiração.

Aos meus orientadores que entenderam minhas escolhas durante o período de construção da tese, me orientaram e acima de tudo forneceram todo o suporte e auxílio necessário. Geciane e Cansian vocês foram essenciais.

Aos colegas de laboratório, bolsistas e alunos de iniciação científica que contribuirão com os ensaios e ajudaram nos momentos que não consegui conduzir os experimentos, esse trabalho também é de vocês.

A minha família, amigos de vida, de centro, de trabalho, da corrida e da meditação, o meu carinho e gratidão, vocês foram o meu suporte e amparo.

Resumo da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Alimentos.

## **FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS DE RECOBRIMENTO E INTERFOLHAMENTO COM ADIÇÃO DE EXTRATO DE *Camellia sinensis* PARA USO EM PRODUTOS CÁRNEOS REFRIGERADOS**

Devido ao interesse no desenvolvimento de uma embalagem antioxidante totalmente biodegradável para aumentar a vida útil dos produtos alimentícios, foi realizada uma seleção de formulações com diferentes polímeros, entre eles gelatina, acetato de celulose, quitosana, amido de milho e fécula de mandioca e concentrações de extrato de chá verde de 1, 2,5 e 5% para aplicação como recobrimento e interfolhamento de produtos cárneos. Para os filmes de recobrimento, a formulação a base de gelatina apresentou os melhores resultados nos atributos avaliados, sem alteração da coloração e aparência do produto após a aplicação do filme. Em relação aos filmes de interfolhamento, observou-se maior atividade antioxidante com a concentração de 1,0%, independentemente da formulação, liberação contínua do extrato de chá verde por até 60 dias e  $IC_{50}$  de 0,09 e 0,31 mg/mL para os filmes ativos de amido de milho e quitosana, com 1% de extrato de chá verde, indicando potencial para aplicação na indústria de alimentos. Na sequência, foi avaliada a aplicação de filmes comestíveis ativos a base de gelatina e extrato de chá verde para uso como recobrimento em linguças de carne suína frescal. A formulação com 15% de gelatina, 30% de glicerol e 1% de extrato de chá verde apresentou boas características em relação a propriedades mecânicas, físicas, morfológicas e de cinética de atividade antioxidante ( $IC_{50}$  entre 0,67 a 1,01 mg/mL). Observou-se diferenças significativas entre as linguças armazenadas sem o filme em relação às recobertas com filme e 1% de extrato de chá verde, em relação ao pH, acidez, índice de peróxidos e TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico), com redução de alteração principalmente após 48 dias de armazenamento sob refrigeração. Em relação a filmes de interfolhamento, foi realizada a caracterização e aplicação de filmes a base de fécula de mandioca com extrato de chá verde. A formulação com 1% de extrato apresentou manutenção de atividade antioxidante por 60 dias, com maior alongamento percentual na ruptura ( $\epsilon$ ) e resistência à tração em relação ao filme sem extrato, com micromorfologia sem irregularidades. Em relação ao interfolhamento de produtos cárneos com filmes de fécula de mandioca com 1% de extrato de chá verde, este foi eficaz em reduzir a oxidação lipídica de calabresa fatiada no período de armazenamento de 18 dias, embora sem diferença significativa quando usado em presunto cozido. Os filmes obtidos possuem potencial para produção de embalagens ativas biodegradáveis com o propósito de auxiliar na segurança nutricional e sensorial dos alimentos.

**Palavras-chave:** *Camellia sinensis*, Filmes ativos, Filmes de recobrimento, Filmes de interfolhamento, Filmes comestíveis, Filmes biodegradáveis, Antioxidante, Oxidação lipídica.

Abstract of Thesis presented to Food Engineering Program as a partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master in Food Engineering.

**ACTIVE EDIBLE FILMS OF COATING AND INTERFOILING WITH ADDED *Camellia sinensis* EXTRACT FOR USE IN REFRIGERATED MEAT PRODUCTS**

Due to the interest in developing a fully biodegradable antioxidant packaging to increase the shelf life of food products, a selection of formulations with different polymers was carried out, including gelatin, cellulose acetate, chitosan, corn starch and cassava starch and concentrations of 1, 2.5 and 5% green tea extract for application as a coating and interleaving of meat products. For the coating films, the gelatin-based formulation showed the best results in the evaluated attributes, without changing the color and appearance of the product after applying the film. Regarding the interleaving films, greater antioxidant activity was observed at the concentration of 1.0%, regardless of the formulation, continuous release of green tea extract for up to 60 days and  $IC_{50}$  of 0.09 and 0.31 mg/mL for the active films of corn starch and chitosan, with 1% of green tea extract, indicating potential for application in the food industry. Next, the application of active edible films based on gelatin and green tea extract for use as a coating on fresh sausages was evaluated. The formulation with 15% gelatin, 30% glycerol and 1% green tea extract showed good characteristics in relation to mechanical, physical, morphological and antioxidant activity kinetic properties ( $IC_{50}$  between 0.67 to 1.01 mg/mL). Significant differences were observed between sausages stored without the film in relation to those covered with film and 1% of green tea extract, in relation to pH, acidity, peroxide index and TBARS (thiobarbituric acid reactive substances), with a reduction in change mainly after 48 days of storage under refrigeration. In relation to interleaving films, the characterization and application of films based on cassava starch with green tea extract was carried out. The formulation with 1% extract showed maintenance of antioxidant activity for 60 days, with higher percentage elongation at break ( $\epsilon$ ) and tensile strength compared to the film without extract, with micromorphology without irregularities. Regarding the interleaving of meat products with cassava starch films with 1% green tea extract, this was effective in reducing the lipid oxidation of sliced pepperoni, although without significant difference when used in cooked ham. The films obtained have potential for the production of biodegradable active packaging with the purpose of assisting in the nutritional and sensory safety of food.

**Keywords:** *Camellia sinensis*, Active films, Coating films, Interleaving films, Edible films, Biodegradable films, Antioxidant, Lipid oxidation.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.1 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO 1.....	20
FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS	20
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. METODOLOGIA.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
3.1 Filmes de Recobrimento.....	23
3.1.1 Quitosana.....	25
3.1.2 Amido.....	26
3.1.3 Ágar.....	27
3.1.4 Alginato.....	27
3.1.5 Pectina.....	27
3.1.6 Gelatina.....	28
3.1.7 Proteína do Leite.....	29
3.1.8 Proteína de soja.....	29
REFERÊNCIAS.....	38
CAPÍTULO 2.....	45
SELEÇÃO DE FORMULAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE FILMES ATIVOS DE RECOBRIMENTO E INTERFOLHAMENTO DE PRODUTOS CÁRNEOS REFRIGERADOS.....	45
2.1. Obtenção dos filmes de recobrimento.....	47
2.1.1 Filmes de Gelatina.....	47
2.1.2 Filmes de Amido de Milho e Fécula de Mandioca.....	47
2.1.3 Filmes de Quitosana.....	47
2.1.4 Filmes de Acetato de Celulose.....	48
2.1.5 Aplicação dos Filmes de Recobrimento em Linguiça Frescal.....	48



2.2 Avaliação dos filmes de recobrimento.....	49
2.2.1 Avaliação subjetiva dos filmes de recobrimento.....	49
2.3 Filmes de Interfolhamento.....	50
2.3.1. Filmes de acetato de celulose com extrato de chá verde.....	50
2.3.1.1 Encapsulamento do extrato em sol-gel para filme a base de acetato de celulose.....	50
2.3.2 Filmes de Interfolhamento de Amido com Extrato de Chá Verde.....	51
2.4 Avaliação dos Filmes de Interfolhamento.....	51
2.4.1 Cinética de Atividade Antioxidante dos Filmes de Interfolhamento.....	51
3.2. Avaliação dos Filmes de Interfolhamento.....	56
3.2.1. Filmes de acetato de celulose com extrato de chá verde.....	56
3.2.1.1. Encapsulamento do extrato em sol-gel para filme a base de acetato de celulose.....	57
3.2.1.2 Cinética de atividade antioxidante dos filmes de acetato de celulose.....	57
3.2.2. Filmes de amido com extrato de chá verde.....	59
3.2.2.1. Cinética de Atividade Antioxidante do Filme de Amido.....	60
4. CONCLUSÃO.....	63
5. REFERÊNCIAS.....	64
CAPÍTULO 3.....	66
CARACTERIZAÇÃO, ATIVIDADE ANTIBACTERIANA E ANTIOXIDANTE IN VITRO E EM LINGUIÇA FRESCAL DE FILME DE RECOBRIMENTO ATIVO A BASE DE GELATINA.....	66
RESUMO.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	66
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.1 Extrato de Chá Verde.....	68
2.1.1 Atividade antioxidante do extrato <i>in vitro</i> .....	68
2.1.2 Atividade antibacteriana do extrato <i>in vitro</i> .....	68
2.2 Obtenção do Filme de Gelatina.....	69
2.3 Cinética da Atividade Antioxidante (AA) <i>in vitro</i> do Filme de Gelatina.....	70

2.4 Caracterização dos filmes.....	71
2.4.1 Propriedades óticas.....	71
2.4.2 Estrutura morfológica (MEV).....	71
2.4.3 Umidade.....	71
2.4.4 Solubilidade em água e óleo.....	72
2.5 Atividade Antibacteriana.....	72
2.6.1 Oxidação Lipídica - TBARs.....	73
2.6.2 Índice de peróxido.....	74
2.6.4 Acidez.....	75
2.6.5 Qualidade microbiológica.....	75
2.7 Análise Estatística.....	75
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
3.1 Extrato de Chá Verde.....	76
3.1.1 Atividade antioxidante do extrato de chá verde.....	76
3.1.2 Atividade antibacteriana do extrato de chá verde.....	77
3.2 Filmes de Gelatina.....	78
3.3 Cinética da atividade antioxidante in vitro do filme de gelatina com extrato de chá verde.....	81
3.4 Caracterização do Filme.....	82
3.4.1 Propriedades óticas.....	82
3.4.2 Estrutura morfológica (MEV).....	83
3.4.3 Parâmetros de umidade.....	85
3.5 Atividade Antibacteriana do Filme de Gelatina com Extrato de Chá Verde.....	86
3.6 Aplicação em Produto Linguiça Frescal.....	87
3.6.1 Estabilidade Oxidativa do Produto.....	87
3.6.2 Qualidade Microbiológica.....	94
4. CONCLUSÃO.....	94
REFERÊNCIAS.....	95

CAPÍTULO 4.....	101
CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA COM EXTRATO DE CHÁ VERDE E AVALIAÇÃO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA DE PRODUTOS CÁRNEOS INTERFOLHADOS.....	101
RESUMO.....	101
1. INTRODUÇÃO.....	101
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	102
2.1 Obtenção de filmes de interfolhamento.....	102
2.2 Cinética de atividade antioxidante do filme de fécula de mandioca.....	103
2.3 Caracterização dos filmes.....	104
2.3.1 Propriedades óticas.....	104
2.3.2 Estrutura morfológica.....	104
2.3.3 Propriedades mecânicas.....	104
2.3.5 Umidade.....	105
2.3.6 Solubilidade em água e óleo.....	105
2.4 Aplicação no produto.....	106
2.4.1 Oxidação lipídica - TBARs.....	106
2.4.2 Índice de peróxido.....	107
2.4.3 pH.....	107
2.4.4 Acidez.....	107
2.5 Análise Estatística.....	108
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	108
3.1 Obtenção do filme de interfolhamento.....	108
3.2 Cinética de atividade antioxidante do filme de fécula de mandioca.....	108
3.3 Caracterização do filme.....	109
3.3.1 Propriedades óticas.....	109
3.3.2 Estrutura morfológica.....	111
3.3.3 Propriedades mecânicas.....	113
3.3.4 Parâmetros de umidade.....	115
3.4 Aplicação em Produtos cárneos.....	116

3.4.1 Estabilidade oxidativa de presunto cozido.....	116
3.4.2 Estabilidade oxidativa de calabresa cozida.....	119
4. CONCLUSÃO.....	121
REFERÊNCIAS.....	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	127

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1** – Utilização de extrato natural em biofilmes comestíveis para produtos cárneos 34

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1** - Avaliação subjetiva da aplicação das diferentes soluções filmogênicas como filme de recobrimento em linguiça frescal.....54

**Tabela 2** – Cinética de atividade antioxidante ( $IC_{50}$  e equações da reta) no armazenamento de filmes de gelatina com diferentes concentrações de extrato de chá verde.....56

**Tabela 3** – Equações da reta e  $IC_{50}$  (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de acetato de celulose com extrato de chá verde livre e encapsulado em Sol-Gel. ....58

**Tabela 4** – Equações da reta e  $IC_{50}$  (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de amido.....60

**Tabela 5** – Equações da reta e  $IC_{50}$  (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de quitosana.....61

**Tabela 6** - Atividade antioxidante comparativa entre filmes de acetato de celulose, acetato de celulose com sol-gel, amido e quitosana, incorporados com 1% de extrato de chá verde, em diferentes tempos de armazenamento dos filmes à vácuo.....62

### CAPÍTULO 3

**Tabela 1** – Concentrações de gelatina e glicerol avaliadas na formulação de filmes de gelatina.....69

**Tabela 2**– Concentração inibitória mínima (CIM) do extrato de chá verde.....77

**Tabela 3**- Avaliação subjetiva da aplicação do filme de gelatina variando as concentrações de gelatina e glicerol.....80

**Tabela 4** – Cinética de atividade antioxidante ( $IC_{50}$  e equações da reta) no armazenamento de filmes de gelatina com diferentes concentrações de extrato de chá verde.....81

**Tabela 5** - Parâmetros de cor para os filmes de recobrimento adicionados com diferentes concentrações de chá verde.....82

**Tabela 6** - Parâmetros de umidade,  $a_w$  e solubilidade para os filmes de recobrimento com diferentes concentrações de extrato de chá verde.....85

**Tabela 7** – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com extrato de chá verde (1,0%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo.....88

**Tabela 8**– Valores de pH, acidez e oxidação lipídica em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno com vácuo.....90

**Tabela 9** – Valores de TBARS em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com extrato de chá verde (1,0%) e embalados sem e com vácuo.....92

### CAPÍTULO 4

<b>Tabela 1</b> – Cinética de atividade antioxidante com equações da reta e $IC_{50}$ para os diferentes tempos de armazenamento do filme de fécula de mandioca com diferentes concentrações de chá verde.....	109
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros de cor para o filme de interfolhamento de fécula de mandioca, adicionado com diferentes concentrações de chá verde.....	110
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros de ruptura e resistência a tração filmes de interfolhamento com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde.....	113
<b>Tabela 4</b> - Parâmetros de umidade, $a_w$ e solubilidade para os filmes de interfolhamento com diferentes concentrações de extrato de chá verde.....	115
<b>Tabela 5</b> – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica (índice de peróxidos e TBARs) em presunto cozido padrão, interfolhado com filme polimérico a base de fécula sem e com extrato de chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo e armazenados a 4 °C.....	117
<b>Tabela 6</b> – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica (índice de peróxidos e TBARs) em calabresa cozida, interfolhada com filme polimérico a base de fécula sem e com extrato de chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo e armazenados a 4 °C. ....	119

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1** – Exemplos de biopolímeros naturais para embalagens de alimentos (A) e a representação esquemática da produção de filmes de alimentos (B).....24

### CAPÍTULO 2

**Figura 1** - Processo de recobrimento em linguiças frescas em solução filmogênica.....48

**Figura 2** - Diferentes soluções filmogênicas aplicadas em linguiça fresca a base de fécula de mandioca (a), quitosana (b), acetato de celulose (c), amido de milho (d) e gelatina (e).53

**Figura 3** – Aspecto visual do filme de interfolhamento de acetato de celulose em chá.....56

**Figura 4** – Aspecto visual do sol-gel com 1% (a), 2,5% (b) e 5% (c) de extrato de chá verde.....57

**Figura 5** - Aspecto visual de filmes comestíveis a base de amido de milho e glicerol, com 1% (a), 2,5% (b) e 5% (c) de extrato de chá verde.....59

### CAPÍTULO 3

**Figura 1**- Processo de recobrimento em linguiças frescas em solução filmogênica.....70

**Figura 2** - Análise da atividade antimicrobiana dos filmes ativos. Placas de Agar após a colocação dos filmes com chá verde 1,0, 2,5 e 5,0%.....73

**Figura 4** - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de superfícies de seção transversal de filmes.....84

### CAPÍTULO 4

**Figura 1** - Presunto cozido interfolhado com filme ativo de fécula de mandioca adicionado de extrato de chá verde (1%).....106

**Figura 2** - Filme ativo a base de fécula de mandioca e glicerol com diferentes concentrações de chá verde.....108

**Figura 3** - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de superfícies de seção transversal de filmes de fécula de mandioca.....112

## INTRODUÇÃO

Embalagem para alimentos, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (Brasil, 2012) é o artigo que está em contato direto com os alimentos, destinado a contê-los desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agentes externos, de alterações e de contaminações, assim como de adulterações.

A redução do impacto ambiental pelo uso de polímeros biodegradáveis na indústria de alimentos é hoje uma alternativa para a remoção de embalagens do petróleo. Um dos focos da pesquisa em filmes e revestimentos comestíveis biodegradáveis para aplicações alimentícias é o uso de polímeros obtidos de fontes naturais.

Filmes são estruturas para envolver ou interfolhar produtos, preparados de forma a obter uma fina espessura (camada de material), a partir de macromoléculas biológicas, que agem como barreira a elementos externos (umidade, gases e óleos), protegendo os produtos e aumentando sua vida de útil. Adicionalmente, podem carrear compostos antimicrobianos e antioxidantes, sendo denominados filmes ativos.

Os principais biopolímeros empregados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis são proteínas e polissacarídeos. Os polissacarídeos estudados até o momento incluem quitosana, carboximetilcelulose e amido. As proteínas comumente estudadas para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis incluem proteína de soja, proteína do leite, como caseína e proteína de soro de leite e gelatina.

A gelatina tem sido estudada extensivamente por sua capacidade de formar filmes, boas propriedades funcionais e utilidade como uma barreira externa para proteger os alimentos da secagem, exposição ao oxigênio e à luz. Filmes compostos de gelatina possuem boas propriedades mecânicas, mas são sensíveis à umidade e apresentam propriedades de barreira pobres contra o vapor de água. Segundo autores, os quais investigaram o desenvolvimento de filmes a base de gelatina e amido de milho, esses têm boas propriedades de formação de filme e melhoram com a adição de subprodutos de frutas. Essas embalagens melhoraram a vida de prateleira, prevenindo a deterioração de alimentos com um efeito positivo sobre a qualidade, segurança alimentar e aroma (Susmitha, et al. 2021).

O amido é uma matéria-prima abundante e disponível em todo o mundo, apresenta muitas possibilidades de modificação química, física ou genética e origina filmes e revestimentos resistente. Adicionado de plastificantes como o glicerol possuem uma estrutura resistente e com boas propriedades mecânicas. Estes filmes podem ser acrescidos



ainda de aditivos utilizados como agentes antioxidantes, aromatizantes e como pigmentos, com o intuito de aumentar as propriedades dos filmes (Mali et al., 2010).

Estratégias tecnológicas envolvem a aplicação de antioxidantes diretamente nos produtos de carne, na carne ou no revestimento de materiais de embalagem com extratos de plantas para melhorar a estabilidade oxidativa dos produtos.

Estes extratos vegetais, definidos também como bio-substâncias naturais, são utilizadas há muito tempo como fitoterápicos. E atualmente, estão sendo extensivamente pesquisados em relação as suas atividades biológicas, como propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antienvelhecimento e anti-inflamatórias. Conforme autores como Biao et al. (2019), os quais pesquisaram filmes comestíveis ativos preparados com adição de polifenóis de chá incorporados em géis finos de alginato, as propriedades antioxidantes e antiinflamatórias foram aumentadas pela incorporação de polifenóis do chá.

Óleos essenciais e extratos de plantas são percebidos como fontes potenciais de antioxidantes e antimicrobianos naturais. As plantas têm sido tradicionalmente usadas em alimentos como agentes aromatizantes e/ou de preservação, como também medicamentos populares para curar de doenças. Dentre estas se destaca *Camellia sinensis*, da qual é obtido o chá verde, uma das bebidas mais populares em todo o mundo. Seus principais efeitos estão relacionados à presença de compostos fenólicos e metilxantinas (Fang et al., 2017). Os efeitos do chá verde como antioxidante foram estudados para produtos cárneos como salsicha, almôndegas, empadas de carne de porco e de frango, hambúrgueres de frango e de porco, nuggets de frango, patê de fígado de porco e costeletas de cordeiro (Martins, 2018). Segundo Umuraw et al. (2020), a vida de prateleira de carnes, peixes e produtos derivados é estendida por filmes / revestimentos ativos, os quais preservam a qualidade da carne, peixe e produtos derivados.

A tendência atual no desenvolvimento de filmes comestíveis é aumentar a funcionalidade dos filmes. Esses filmes com atividades antimicrobiana e antioxidante são incorporados com componentes ativos normalmente encontrados em extratos de ervas e especiarias, probióticos, etc. Em geral, esses compostos aumentam a estabilidade dos alimentos durante o armazenamento, inibindo o crescimento de microrganismos deteriorantes ou patogênicos e protegendo contra a oxidação. O processo oxidativo desempenha um papel crucial no desenvolvimento de alterações visuais em carnes e produtos cárneos, sendo esse um importante parâmetro a ser avaliado pelos consumidores antes da compra, uma vez que a relacionam com o frescor da carne. Assim, a preservação

de carnes, peixes e produtos derivados deve ter como objetivo minimizar esses fatores de degradação e alteração (Umuraw et al., 2020)

Com a finalidade de desenvolver um filme que aumente a vida de útil de produtos cárneos, ou seja sua estabilidade oxidativa e inibição microbiológica. Este estudo tem como objetivo desenvolver um filme de cobertura e para interfolhar produtos cárneos de forma a atender as demandas ambientais e tecnológicas com adição de extrato de chá verde (*Camellia sinensis*), de forma a melhorar as características do produto e de vida de útil.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Desenvolver filmes de recobrimento e interfolhamento, ativos com adição de extrato de chá verde para prolongar a vida útil de produtos cárneos refrigerados (linguiça frescal e presunto fatiado).

### 2.1 Objetivos específicos

- ✓ Selecionar formulações com diferentes polímeros e concentrações de extrato de chá verde para aplicação como recobrimento de linguiça frescal, usando parâmetros de continuidade, homogeneidade e manuseabilidade.
- ✓ Selecionar formulações com diferentes polímeros e concentrações de extrato de chá verde para aplicação em interfolhamento de produtos cárneos, avaliando a cinética de atividade antioxidante por DPPH.
- ✓ Avaliar o extrato de chá verde, *in vitro*, com relação a sua atividade antimicrobiana e antioxidante.
- ✓ Selecionar a melhor concentração de chá verde (*Camellia sinenses*) a ser aplicada nos filmes de recobrimento e interfolhamento para aplicação em produtos cárneos refrigerados, avaliando a cinética de atividade antioxidante por DPPH.
- ✓ Avaliar as propriedades mecânicas, físicas, morfológicas e a a cinética de atividade antioxidante dos filmes de recobrimento a base de gelatina e dos dos filmes de interfolhamento a base de fécula de mandioca com extrato de chá verde.
- ✓ Avaliar a oxidação lipídica de linguiças frescas recobertas com filme a base de gelatina com 1% de extrato de chá verde.
- ✓ Avaliar a oxidação lipídica de presunto e calabresa cozidos interfolhados com filme a base de fécula de mandioca com 1% de extrato de chá verde.

---

**FILMES COMESTÍVEIS ATIVOS PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS  
CÁRNEOS**

**RESUMO**

A embalagem protege o alimento de ação de agentes externos, de alterações e contaminações, além de adulterações. Filmes comestíveis são estruturas produzidas a partir de biopolímeros, que podem substituir as embalagens não biodegradáveis. Esses filmes têm sido formulados com polímeros de ocorrência natural de polissacarídeos, lipídeos e proteínas, isolados ou combinados entre si. Filmes comestíveis produzidos com polissacarídeos e proteínas são transparentes e flexíveis, embora os proteicos sejam menos resistentes. Agem como barreira, protegendo o alimento e aumentando a vida de prateleira. Adicionalmente, podem carrear compostos antimicrobianos e antioxidantes, sendo denominados filmes ativos. O poder antioxidante é proporcional à quantidade do composto adicionado. Extratos naturais como chá verde, cravo, gengibre e outros podem ser incorporados aos filmes, que podem melhorar as propriedades mecânicas dos filmes e as características do alimento. A utilização de filmes comestíveis ativos têm sido avaliados na indústria de carnes como embalagem alternativa. Esta revisão, tem por objetivo abordar a utilização de filmes comestíveis adicionados de compostos vegetais, com atividade antimicrobiana e antioxidante, aplicados em produtos cárneos.

**Palavras-chave:** Filme comestível; Embalagem biodegradável; Filme ativo; Compostos naturais; Carnes.

**1. INTRODUÇÃO**

De acordo com o decreto de Lei nº 986/69 (Brasil, 2020), embalagem é qualquer forma pela qual o alimento tenha sido acondicionado, guardado, empacotado ou envasado e segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) é o artigo que está em contato direto com os alimentos, destinado a contê-los desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agentes externos, de alterações e contaminações, assim como de adulterações (Brasil, 2012; Suderman et al., 2018; Jaramillo et al., 2016). A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentícia graças às suas múltiplas funções. Além de conter o produto, a embalagem é muito importante na sua conservação, mantendo qualidade e segurança, atuando como barreira contra fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica (Jorge, 2013).

Os materiais comumente utilizados como embalagem e algumas características essenciais do material para atuação como embalagem são também um dos principais resíduos sólidos nas principais cidades do mundo. Os polímeros de fontes não renováveis estão associados a questões de poluição ambiental (Jaramillo et al., 2016; Piñeros-Hernandez et al., 2017). Estima-se que a produção desses materiais está em 300 milhões de toneladas, no qual as aplicações desses plásticos como embalagens representam cerca de 39,6% da demanda total (Piñeros-Hernandez et al., 2017).

Com o intuito de reduzir o impacto ambiental, os polímeros biodegradáveis constituem uma alternativa atraente para diminuir o uso de materiais não degradáveis e não renováveis. Os biopolímeros apresentam aplicações como filmes e revestimentos comestíveis, em um amplo espectro de produtos e obtenções (Jaramillo et al., 2016; Piñeros-Hernandez et al., 2017; López et al., 2017).

Filmes comestíveis são estruturas para envolver ou interfolhar produtos, preparados de forma a obter uma fina espessura (camada de material), a partir de macromoléculas biológicas, que agem como barreira a elementos externos (umidade, gases e óleos), protegendo os produtos e aumentando sua vida de útil. Adicionalmente, podem carrear compostos antimicrobianos e antioxidantes, sendo denominados filmes ativos (Mostafavi & Zaeim, 2020, Umaraw et al., 2020).

O uso de polímeros obtidos de fontes naturais tem sido o foco de pesquisas recentes. Os principais biopolímeros empregados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis são proteínas e polissacarídeos. Os polissacarídeos geralmente estudados compreendem a quitosana, carboximetilcelulose, pectina e amido e as proteínas comumente estudadas incluem a proteína de soja, proteína do leite como a caseína, proteína de soro de leite e gelatina (Umaraw et al., 2020; Abdollahzadeh, Nematollahi & Hosseini, 2021).

Estratégias tecnológicas também podem envolver a aplicação de extratos de plantas ou óleos essenciais nestes filmes biocompatíveis. Os extratos ricos em polifenóis são considerados aditivos de filmes potentes porque ajudam a prevenir a oxidação lipídica dos alimentos e a deterioração microbiana, esses extratos naturais são fontes de antioxidantes, como polifenóis e flavonoides, entre outros, cuja atividade é bem conhecida nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia (Piñeros-Hernandez et al., 2017; Jaramillo et al., 2016). Adilah & Hanani (2016) utilizaram óleo de *Morinda citrifolia* como antioxidante natural, em filmes de gelatina de peixe e determinaram o efeito da incorporação nas propriedades físicas e antioxidantes.

Filmes biodegradáveis com diferentes concentrações de biomassa seca e extrato de biomassa de microalgas obtiveram resultados positivos na atividade antioxidante avaliada pelo índice de peróxidos em salmão (Carissimi et al., 2018). Jaramillo et al. (2017) observaram que filmes à base de gelatina contendo orégano ou extrato de alecrim, os quais obtiveram boas respostas antioxidantes. Estudos de adição de galato de epigallocatequina (EGCG), antioxidante natural abundante no chá verde, ao filme à base de gelatina de peixe, tendo atividade antioxidante e maior força de vedação e eficiência de vedação (Nilsuwan, Benjakul & Prodpran, 2018), os filmes exibiram maior capacidade redutora e capacidade de eliminação de radicais livres. Esses estudos mostram que o extrato adicionado a um filme comestível pode melhorar as propriedades e atividade antioxidante.

Em produtos cárneos a reação de oxidação afeta lipídios, proteínas, pigmentos da carne, crescimento microbiano, escurecimento enzimático e perda de vitaminas, resultando em deterioração da cor, sabor, textura e valor nutricional (Lorenzo et al., 2018; López et al., 2017; Li et al., 2014). A oxidação dos componentes da carne é um processo observado durante o processamento e armazenamento, devido a isso a oxidação lipídica em produtos cárneos deve ser evitada nestas duas etapas (Lorenzo et al., 2018; Falowo et al., 2014). O oxigênio reage ainda com lipídios insaturados para formar peróxidos lipídicos (Min & Ahn, 2012), em um processo envolvendo o consumo de oxigênio e o rearranjo de ligações duplas. Eventualmente, os peróxidos lipídicos formados resultam na formação (devido à quebra) de diversos compostos químicos, como álcoois, aldeídos e cetonas (Domínguez et al., 2014).

Além disso, gera e acumula compostos que podem representar sérios riscos à saúde dos consumidores (Lorenzo et al., 2018; Falowo et al., 2014). Portanto, a prevenção e o atraso dos eventos de oxidação no produto final são um grande desafio para a tecnologia de processamento de carne (Falowo et al., 2014).

A utilização de filmes comestíveis ativos é uma opção para carnes, proporcionando a probabilidade de em um único produto ofertar tanto a embalagem como a proteção antimicrobiana e antioxidante necessária com componentes naturais e biodegradáveis. Estudos têm sido realizados com filmes comestíveis ativos em produtos cárneos como salsicha, almôndegas, empadas de carne de porco e de frango, hambúrgueres de frango e de porco, nuggets de frango, patê de fígado de porco e costeletas de cordeiro. Portanto, a presente revisão aborda as possibilidades de utilização de filmes comestíveis e a aplicação de compostos naturais, com atividade antimicrobiana e antioxidante, de embalagens ativas para cárneos (Umuraw et al., 2020).

## **2. METODOLOGIA**

Este trabalho consiste em uma revisão de literatura, desenvolvida por pesquisa bibliográfica realizada em artigos científicos, dissertações e teses oriundos de bases de dados online e portais de pesquisa: Wiley Online Library, Science Direct, Scielo (Scientific Eletronic Library Online), Elsevier, Pubmed e Google Acadêmico. Foram utilizados trabalhos completos publicados entre 2011 a 2021, sem desconsiderar trabalhos relevantes de anos anteriores.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Filmes de Recobrimento**

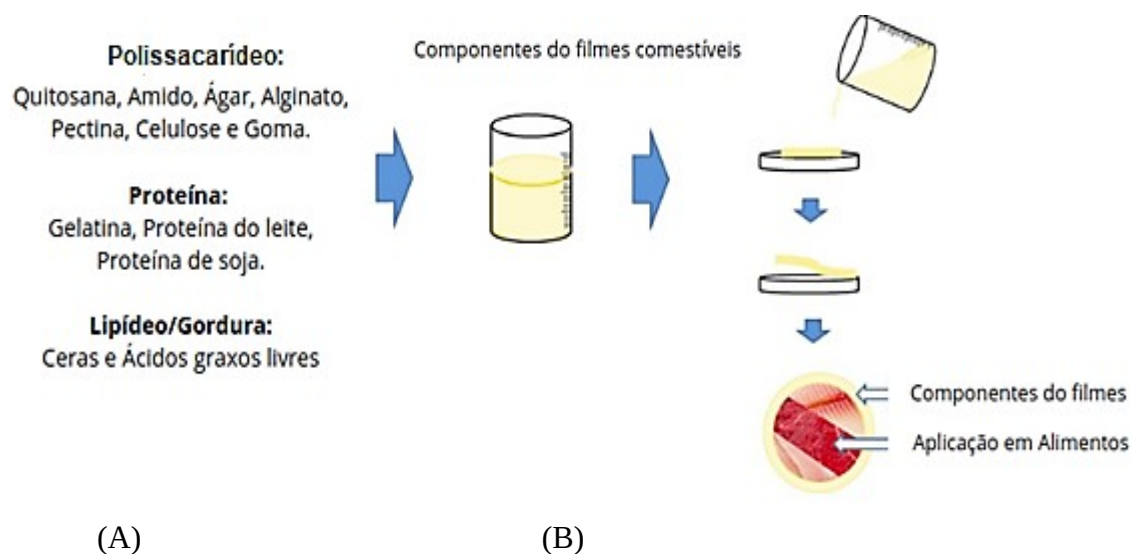
Devido a uma crescente demanda do consumidor por alimentos mais frescos e saudáveis, os filmes comestíveis estão surgindo como alternativas adequadas para embalagem devido às suas habilidades em prevenir a transferência de umidade, oxigênio e aromas (Mostafavi & Zaeim, 2020). Os filmes biodegradáveis e/ou comestíveis têm o potencial de reduzir ou, em algumas circunstâncias, substituir completamente alguns materiais de embalagem poliméricos tradicionais para aplicações específicas. No entanto, a fim de fazê-lo, as embalagens de base biológica devem funcionar como embalagens convencionais e fornecer todas as funções necessárias de contenção, proteção, preservação, informação, conveniência de maneira legal e ambientalmente correta, de maneira econômica (Mostafavi & Zaeim, 2020; Hanani, Roos & Kerry, 2014).

Dentre os materiais pesquisados, os biopolímeros, como os polissacarídeos e as proteínas, são os mais promissores, devido ao fato de serem abundantes, renováveis, e capazes de formar uma matriz contínua (Iturriaga et al., 2012; Hanani, et al., 2014). Diferentes materiais biodegradáveis que podem ser encontrados e usados como embalagens de alimentos e sua produção para alimentos são mostrados na Figura 1.

Os biopolímeros são comestíveis e apresentam capacidade de substituir plásticos tradicionais e atuar como filmes e/ou revestimentos comestíveis em contato com alimentos (Hanani, Roos & Kerry, 2014). Esses filmes ainda devem apresentar resistência da vedação forte o suficiente para manter os produtos dentro da embalagem sem vazamento durante o manuseio ou armazenamento (Tongnuanchan et al., 2012). Os filmes obtidos a partir de matérias-primas naturais são econômicos, devido ao baixo custo das mesmas. Apresentam ainda vantagens como poderem ser consumidos em conjunto com o produto, reterem

compostos aromáticos, carrearem aditivos alimentícios ou componentes com atividades antimicrobiana e/ou antioxidante (Pranoto et al., 2005).

**Figura 1** – Exemplos de biopolímeros naturais para embalagens de alimentos (A) e a representação esquemática da produção de filmes de alimentos (B).



Fonte: O autor, 2021.

Estas biomoléculas são compatíveis entre si e com outros hidrocolóides, surfactantes e aditivos. Os polissacarídeos são conhecidos pela sua complexidade estrutural e diversidade funcional (Tharanathan, 2003). Estruturas lineares de alguns polissacarídeos como, por exemplo, a celulose, amido, quitosana, originam filmes resistentes, flexíveis e transparentes. Outros componentes também são adicionados aos filmes comestíveis, como plastificantes (glicerol) e agentes ativos com diferentes propriedades (antioxidante, antimicrobiano, pigmentos, etc.) (López et al., 2017).

O termo “materiais biodegradáveis” é usado para descrever aqueles materiais que podem ser degradados pela ação enzimática de organismos vivos, tais como bactérias, leveduras, fungos e os produtos finais do processo de degradação, tais como gás carbônico- $\text{CO}_2$ , água-  $\text{H}_2\text{O}$  e biomassa sob condições aeróbicas e hidrocarbonetos, metano e biomassa sob condições anaeróbicas (Jaramillo et al., 2016; Hanani, Roos e Kerry, 2014).

Para a utilização de embalagens biodegradáveis e com compostos ativos que possam melhorar a qualidade dos produtos que protegem, contribuindo ainda mais para o valor nutricional do alimento, garantir e estender a segurança e a qualidade dos produtos durante a vida útil, torna-se necessário o desenvolvimento desses materiais eco-friendly,



ativos e inteligentes. Nesse sentido, vários pesquisadores têm investigado o uso de antioxidantes ou agentes antimicrobianos em matrizes, obtendo a chamada “embalagem funcional” (Musso et al., 2016; Jaramillo et al., 2017; Kanatt et al., 2012).

O uso de polímeros a partir de fontes renováveis para embalagens de alimentos é crescente. No entanto, em comparação aos polímeros sintéticos termoplásticos, apresentam problemas quando processados com as tecnologias tradicionais demonstrando desempenho inferior em termos de propriedades funcionais e estruturais (Mensitieri et al., 2011).

Os filmes comestíveis de carboximetilcelulose (CMC) e quitosana têm sido amplamente investigados por sua capacidade de prolongar a vida útil de vários alimentos, como queijo branco, camarão, filete de truta picada e carne de bovino em pó. Devido a estes estudo, os autores Khezrian & Shahbazi (2018) desenvolveram novos filmes baseados em nanomontmorilonita-quitosana (MMT-Ch) e nanomontmorilonita-carboximetilcelulose (MMT-CMC) e incorporaram diferentes concentrações de óleo essencial de *Ziziphora clinopodioides* (ZEO; 0,5, 1 e 2%) isoladamente e em combinação com extrato de *Ficus carica* (FCH; 1%) para investigá-los como materiais de embalagem ativos para carne de camelo picada e aumentar sua vida de útil (propriedades microbianas, químicas e sensoriais) e inibir o crescimento de *Listeria monocytogenes* e *Escherichia coli* O157: H7 durante o armazenamento.

Os polímeros usados na fabricação de filmes comestíveis podem ser obtidos a partir de estoques de alimentos agrícolas, de origem animal, resíduos da indústria de processamento de alimentos marinhos e microrganismos, bem como por síntese química (Tharanathan, 2003). Os biopolímeros polissacarídicos usados nas embalagens formam filmes transparentes, resistentes e flexíveis, suas propriedades de barreira são aprimoradas com o uso de um maior teor de amilopectina, enquanto o amido com alto teor de amilose contribui para a resistência mecânica, a barreira ao vapor de água pode ser melhorada com agentes de reticulação (Bolívar-Monsalve et al., 2019).

### 3.1.1 Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo catiônico com excelentes propriedades de formação de filme. É obtido da quitina por desacetilação na presença de álcalis (Bonilla et al., 2014). Corresponde a um copolímero constituído de unidades 2-acetamido-2-desoxi-D-glicopirranose (GlcNAc) e 2-amino-2-desoxi-D-glicopirranose (GlcN) unidas pelo mesmo tipo de ligação glicosídica presente na quitina, com predomínio do segundo tipo de unidade. O termo quitosana é empregado para identificar as quitinas desacetiladas que

possuam grau médio de acetilação menor ou igual a 50% e que sejam solúveis em soluções aquosas diluídas de ácidos, tais como ácidos acético e clorídrico (Cardoso, 2008).

A conversão de quitina em quitosana é realizada pelo tratamento com solução de hidróxido de sódio ou potássio (40-50%) usualmente a 100 °C ou mais para hidrolisar alguns ou a maioria dos grupos acetamida do polímero (Cardoso, 2008). É um biopolímero promissor porque é ambientalmente amigável devido à sua biodegradabilidade. Na indústria de alimentos, os filmes a base de quitosana têm um imenso potencial como material de embalagem ativo devido a sua atividade antimicrobiana, não-toxicidade e baixa permeabilidade ao oxigênio (Kanatt et al., 2012; Noorbakhsh-Soltani et al., 2018).

Vários estudos demonstraram o efeito do peso molecular e concentração de quitosana em atividades antibacterianas e antifúngicas. Como a quitosana contém hidroxila e grupos amina, é potencialmente miscível com PVA devido à formação de hidrogênio (Bonilla et al., 2014). Além disso, em filmes de mistura de quitosana podem ser incorporadas substâncias, tais como extratos naturais ou partículas metálicas inorgânicas, a fim de melhorar essas características (Kanatt et al., 2012; Bonilla et al., 2014).

### 3.1.2 Amido

O amido tem sido considerado um dos candidatos mais promissores para futuros materiais devido ao seu baixo preço, abundância e comportamento termoplástico. Além disso, apresenta boas propriedades de formação de uma grande variedade de fontes botânicas, como milho, trigo, mandioca, arroz, batata, inhame, entre outros. As propriedades físico-químicas dos filmes de amido variam muito em função da origem botânica do amido, do teor e tipo do plastificante e das condições de processamento (Piñeros-Hernandez et al., 2017). O filme a base de amido apresenta uma degradação mais rápida do que outros materiais poliméricos, como PLA (poliácido láctico) ou PBAT (polibutileno adipato-co-tereftalato), com isso encontra-se uma vantagem, o volume de resíduo reduzido (Jaramillo et al., 2016).

Certos plastificantes podem ser adicionados aos filmes de amido, a fim de diminuir a fragilidade. Embora as propriedades mecânicas e de barreira dos filmes de amido dependam da umidade, isso pode ser resolvido pela introdução de componentes hidrofóbicos para melhorar as propriedades de sorção de vapor de água. Por exemplo, glicerol é adicionado ao amido (amido de trigo plastificado-PWS) para melhorar a capacidade de processamento através de extrusão convencional. A baixa resistência mecânica e a alta sensibilidade à umidade também podem ser superadas associando o

amido a polímeros resistentes à umidade com boas propriedades mecânicas, mantendo a biodegradabilidade (Noorbakhsh-Soltani et al., 2018).

O amido de mandioca é apreciado devido a clareza da pasta, baixa temperatura de gelatinização e boa estabilidade do gel. Além disso, os filmes de amido de mandioca têm sido descritos como inodoros, insípidos, incolores, não-tóxicos e biodegradáveis (Piñeros-Hernandez et al., 2017).

### 3.1.3 Ágar

O ágar é um polissacarídeo extraído de espécies específicas de alga vermelha (*Rodophyta*) marinha. A estrutura química é composta por uma mistura de agaropectina (fração não gelificante) e agarose (fração gelificante) (Mostafavi & Zaeim, 2020). Este polissacarídeo termoplástico, biodegradável e biocompatível apresentou alta resistência mecânica com moderada resistência a permeabilidade de vapor. Como material de embalagem tem sido utilizado em blends com outros biopolímeros (López et al., 2017).

O atributo mais importante do ágar é sua capacidade de formar géis duros em concentrações muito baixas (0,04%), tem sido amplamente utilizado como agente gelificante em alimentos processados, produtos farmacêuticos e cosméticos, além de aplicações em biotecnologia e medicina (Atefa, Rezaeia & Behroozb, 2014).

### 3.1.4 Alginato

O alginato, como polímero biodegradável, é amplamente utilizado para preparar filmes comestíveis devido às suas propriedades como gel e formação de filme (Abdel Aziz, Salama & Sabaa, 2018). O alginato é um polímero de ácido D- $\beta$ -manurônico (bloco M) e L- $\alpha$ -glucurônico. (Bloco G), extraído de algas marrons (*Phaeophyceae*). A proporção determina as propriedades físico-químicas do biopolímero. É solúvel em água e podem ser usados como revestimento oral devido à sua propriedade coloidal única (Xiao, 2018, Kazemeini, Azizian & Adib, 2021).

Segundo Khan et al. (2013), filmes à base de alginato podem reduzir o ressecamento da carne e melhorar a suculência e textura, mas o cálcio livre e os cátions metálicos necessários para corrigir os revestimentos de alginato podem induzir atividades proteolítica indesejadas.

### 3.1.5 Pectina

A pectina é um dos polissacarídeos solúveis em água mais amplamente investigados e é comumente utilizada como agente espessante e estabilizante na indústria de alimentos (Guerra-Rosas et al., 2016). Quimicamente, a pectina é poli  $\alpha$ 1–4-ácidos galacturônicos, com grau variável de metilação de resíduos de ácido carboxílico e/ou ácidos poligalacturônicos amidados (Espitia et al., 2014, Hosseinnia et al., 2017).

De acordo com o grau de esterificação (DE) com metanol, que é a razão de grupos de ácido galacturônico esterificados para grupos de ácido galacturônico total, a pectina pode ser classificada como de alta metoxilação (HMP) ou de baixa metoxilação (LMP). O HMP tem mais de 50% de seus grupos carboxílicos esterificados e forma excelentes filmes (Espitia et al., 2014, Tharanathan 2003). Misturas plastificantes de pectina e amido com alto teor de amilose fornecem filmes fortes e flexíveis, que são termicamente estáveis até 1800 ° C (Fang & Hanna, 2000).

### 3.1.6 Gelatina

A gelatina é uma proteína animal obtida por hidrólise controlada do colágeno fibroso insolúvel presente nos ossos e peles de animais (LOPEZ et al., 2017). Possui capacidade de formação de filme para proteger os alimentos da secagem e da exposição à luz e ao oxigênio. Apresenta propriedades gelificantes, espumantes e emulsionantes que contribuem para uma ampla gama de aplicações. Apresenta como propriedade única a capacidade de formar géis termo reversíveis com uma temperatura de fusão próxima da temperatura de 35° C e apresenta boa solubilidade em água (Lopez et al., 2017; Sarbon et al., 2013).

As gelatinas de diferentes fontes têm propriedades físicas e químicas diferentes, pois contêm diferentes teores de aminoácidos. As películas de embalagem podem ser produzidas com sucesso a partir de todas as fontes de gelatina e o comportamento e as características dos filmes à base de gelatina podem ser alterados através da incorporação de outros ingredientes alimentares para produzir películas compostas que possuam propriedades físicas e mecânicas melhoradas (Dou et al., 2018; Suderman et al., 2018; Lopez et al., 2017, Hanani, Roos & Kerry, 2014).

Devido a permeabilidade ao vapor de água da gelatina, tem-se buscado alternativas para otimizar os designs de materiais biodegradáveis para embalagens de alimentos. A adição de plastificantes melhora as propriedades funcionais dos filmes, aumentando sua extensibilidade, dispensabilidade, flexibilidade, elasticidade e rigidez. Plastificantes como glicerol, sorbitol e glicol são essenciais para tornar os filmes mais flexíveis, mais macios e

evitar poros e rachaduras na matriz polimérica (Suderman et al., 2018, Hanani, Roos & Kerry, 2014).

Os plastificantes são de baixo peso molecular, por isso podem ocupar espaços intermoleculares entre as cadeias poliméricas, reduzindo forças secundárias entre elas. Essas moléculas alteram a organização molecular tridimensional dos polímeros, reduzindo a energia necessária para o movimento molecular e a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias. Assim, o grau de plasticidade dos polímeros é largamente dependente da estrutura química do plastificante, incluindo composição química, peso molecular e grupos funcionais (Jaramillo et al., 2016).

### 3.1.7 Proteína do Leite

As proteínas do leite são divididas em proteína de soro de leite e proteína de caseína. A proteína caseína compreende 80% da proteína do leite e contém os componentes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$ -caseína (Mohamed et al., 2020). A proteína do soro é obtida após a precipitação da caseína. As proteínas do soro do leite, contêm vários materiais, como  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactalbumina, imunoglobulinas de albumina sérica bovina e proteose peptonas (Enujiugha & Oyinloye, 2019).

Os filmes contendo proteínas do leite exibiram alta eficiência mecânica, bem como excelentes barreiras à: aroma, oxigênio e lipídios; no entanto, devido à natureza hidrofílica de seus constituintes, eles apresentam uma baixa barreira ao vapor de água (Abdollahzadeh, Nematollahi & Hosseini, 2021). Os filmes à base de caseína permanecem estáveis para uma gama de pH, temperaturas e concentrações de sal (Mohamed et al., 2020). Filmes comestíveis de proteína isolada de soro de leite (90% de proteína) apresentam melhor barreira ao oxigênio em umidade relativa-UR baixa ou intermediária, no entanto, eles têm baixa permeabilidade ao vapor de água. O concentrado de proteína de soro (25-80% de proteína) é outra proteína de soro de leite usada no passado para formar filmes comestíveis, no entanto, possui outras impurezas, como a lactose, que pode aumentar a permeabilidade ao vapor de água, e piorar as propriedades mecânicas (Oses et al., 2009).

### 3.1.8 Proteína de soja

A proteína de soja está disponível como farinha de soja, concentrado de soja e isolados de soja. Todas as formas são extraídas da soja (Mohamed et al., 2020). Os filmes de proteína de soja são lisos, flexíveis e transparentes em contraste com os filmes formados

por outras proteínas de origem vegetal (Denavi et al., 2009). O isolado de proteína de soja pode interagir com a goma de ágar por meio da formação de ligações de hidrogênio intermoleculares entre seus grupos hidroxila disponíveis, formando alterações conformacionais na estrutura secundária da proteína e orientação dos grupos hidrofóbicos (Mostafavi & Zaeim, 2020).

### **3.2 Filmes Ativos**

Em produtos cárneos, processos como oxidação lipídica, crescimento microbiano, escurecimento enzimático ocorrem desde os estágios de pré-abate e início do abate, processamento e armazenamento (Lorenzo et al., 2018; Lopez et al., 2017; Papuc et al., 2017). O oxigênio é responsável pelos processos de degradação em alimentos (Lopez et al., 2017). Em produtos cárneos a reação de oxidação afeta lipídios, proteínas e pigmentos da carne, resultando em deterioração da cor, sabor, textura e valor nutricional (Lorenzo et al., 2018; Li et al., 2014).

A fim de produzir filmes comestíveis ativos que evitem os efeitos negativos do oxigênio, a adição de antioxidantes a estes filmes tem sido investigada. Vários antioxidantes sintéticos, como o hidroxitolueno butilado (BHT), o hidroxianisol butilado (BHA) e a tercbutil-hidroquinona, têm sido usados com sucesso para evitar a deterioração oxidativa dos alimentos. No entanto, antioxidantes sintéticos e aditivos têm, em geral, um impacto negativo em alguns grupos de consumidores mais conscientes dos possíveis efeitos sobre a saúde humana (Lopez et al., 2017, Martins, 2018).

Os extratos naturais que apresentam um bom comportamento devido a presença de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes têm sido muito estudados, pelo fato destes inibirem a oxidação lipídica, além de participarem de processos responsáveis pela cor, aroma e adstringência em vários produtos (Martins, 2018, Bolívar-Monsalve et al., 2019). As biosubstâncias naturais, como os extratos vegetais, são utilizadas há muito tempo como fitoterápicos. Uma variedade de produtos químicos foi desenvolvida para analisar e caracterizar fitoquímicos, portanto, pesquisas sobre extratos naturais com atividades biológicas, como propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antienvelhecimento e anti-inflamatórias são extensivamente realizadas (Kim et al., 2016).

O Brasil, país de rica biodiversidade, utiliza pouco desses recursos e de maneira inadequada. Pesquisas que buscam o isolamento de princípios ativos de extratos naturais, identificação, verificação de seu emprego na indústria alimentícia, farmacêutica e

cosmética, bem como a obtenção de diferentes extratos dos vegetais envolvidos, constituem atividades relevantes (Serafini et al., 2002).

Entre as várias atividades biológicas, a propriedade antimicrobiana é uma das propriedades comuns dos compostos naturais e pode ser amplamente aplicada a vários campos, como a conservação de alimentos ou o agente antibacteriano em produtos de consumo (Kim et al., 2016). Bem como as propriedades antimicrobianas, as propriedades antioxidantes de extratos vegetais têm despertado interesse pela perspectiva de constituírem uma alternativa para as exigências dos consumidores quanto à utilização de aditivos naturais em diferentes produtos (Cansian et al., 2010; Tassou et al., 2000; Ugalde et al., 2016; Dalla Rosa et al., 2019; Borella et al., 2019; Meregalli et al., 2020). As ervas e especiarias contêm muitos fitoquímicos que são fontes potenciais de antioxidantes naturais, incluindo catequinas, diterpenos fenólicos, flavonoides, taninos e ácidos fenólicos. Alguns dos quais também têm atividades antiinflamatórias e anticancerígenas (Lopez et al., 2017).

Os extratos naturais também são fontes de antioxidantes capazes de prevenir a oxidação durante o armazenamento e aumentar a vida de útil dos alimentos. Estes compostos aumentam não só a estabilidade dos componentes alimentares, especialmente os lipídios poli-insaturados, os quais previnem a degradação, descoloração e rancidez oxidativa e também mantêm as propriedades sensoriais iniciais. A eficácia dos antioxidantes depende da sua estrutura molecular (número e posição dos radicais OH/OCH<sub>3</sub>, peso molecular, entre outros) e da polaridade (compostos solúveis em água ou lipofílicos) (Lorenzo et al., 2018).

Existem centenas de compostos capazes de inibir a oxidação, mas apenas parte deles são adequados para consumo humano devido a razões toxicológicas. Os antioxidantes de qualidade alimentar devem ser aprovados pelos órgãos reguladores para satisfazer a segurança, nível GRAS (Geralmente Reconhecido Como Seguro) e, do ponto de vista do aplicativo, não devem afetar negativamente a cor, o odor ou o sabor; ser eficaz em baixas concentrações (0,001-0,01%); ser compatível com os alimentos e ter facilidade de aplicação; reter a estabilidade durante o processamento e o prazo de validade; e ter baixo custo (Lorenzo et al., 2018).

Os antioxidantes podem ser classificados de acordo com seu mecanismo de ação como compostos primários e secundários. Antioxidantes primários também são referidos como tipo 1 ou antioxidantes que quebram a cadeia. Devido à natureza química destas moléculas, elas podem atuar como aceitadores/sequestradores de radicais livres e atrasar ou inibir a etapa de iniciação ou interromper a etapa de propagação da autoxidação (Lorenzo

et al., 2018; Falowo et al., 2014). Os antioxidantes secundários são considerados substâncias decompositoras de hidroperóxidos, que são transformados em produtos estáveis, portanto não reativos. Como supressores de oxigênio singlete, os antioxidantes secundários captam a energia do oxigênio singlete ( $1O_2$ ), que volta ao estado fundamental ( $O_2$ ). Como quelantes de íons metálicos, esses antioxidantes são capazes de interagir e desativar íons metálicos que catalisam reações de peroxidação lipídica. A este grupo de antioxidantes pertencem os tioésteres e os fosfitos (Chaillou & Nazareno, 2006).

Os lipídeos não só contribuem para o sabor, odor, cor e textura, mas também conferem uma sensação de saciedade e palatabilidade aos alimentos. Contudo o principal problema das gorduras reside na oxidação lipídica durante o armazenamento ou processamento de alimentos, que pode levar ao ranço (Ahn et al., 2008). Processos oxidativos em carne e produtos cárneos durante armazenamento levam à degradação de pigmentos de cor, lipídios e proteínas que, por sua vez, podem contribuir para a deterioração do sabor, textura, cor e valor nutricional da carne. A oxidação lipídica é um ponto crítico para a carne embalada sob condições aeróbicas, limitando a sua qualidade e aceitabilidade, uma vez que afeta a propriedades sensoriais, devido ao desenvolvimento *off-flavor* e *off-odor*, e a produção de compostos potencialmente tóxicos, como peróxidos de ácidos graxos, hidroperóxido de colesterol e radicais peróxidos. Além disso, as mudanças de cor são um fator importante que influenciam na qualidade e aceitabilidade de carne e produtos cárneos (Lorenzo et al., 2014).

Antioxidantes são adicionados aos produtos cárneos durante o processamento para retardar a oxidação (Djenane et al., 2002). Esta é uma das razões para o aumento da demanda por ingredientes naturais de origem vegetal (Lorenzo et al., 2014). Alguns componentes em produtos naturais, como carotenoides, flavonoides, antocianinas e compostos fenólicos, são conhecidos por funcionar como sequestrantes no processo de oxidação primário e secundário. Em particular, tem sido relatado que existem potenciais antioxidantes em vários extratos vegetais naturais (Ahn et al., 2008).

Óleos essenciais de plantas (EOs) e extratos são percebidos como fontes potenciais de antimicrobianos naturais. As plantas têm sido tradicionalmente usadas em alimentos como agentes aromatizantes e/ou de preservação, como medicamentos populares para curar doenças (Yuan et al., 2017). Geralmente, extratos de ervas e especiarias são considerados seguros, devido à sua falta de efeitos prejudiciais documentados durante o uso histórico, ou com base em estudos toxicológicos detalhados (Yuan et al., 2017).



Foi determinado que bactérias, psicrófilas, psicrotróficas, mesófilas e termófilas, são capazes de sobreviver sob várias condições de processamento para causar deterioração e desperdício. No entanto, as bactérias de deterioração da carne podem ser reduzidas pela aplicação de antioxidantes naturais diretamente nos produtos cárneos. A utilização de compostos naturais como ácidos orgânicos e óleos essenciais foi identificada para a descontaminação de produtos de carne de vaca, porco e aves de capoeira contra *Salmonella* (Falowo et al., 2014).

Autores como Yuan & Yuk (2018), citam ainda que os extratos vegetais são fontes valiosas de fitoquímicos, os quais demonstraram atividades antimicrobianas de amplo espectro de alguns desses extratos contra a deterioração de alimentos e micro-organismos patogênicos, incluindo *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium* e *Staphylococcus aureus*.

Os compostos antimicrobianos de ocorrência natural têm um bom potencial para serem aplicados como conservantes de alimentos. Óleos essenciais (EOs) e outros extratos de plantas, ervas, especiarias e alguns de seus constituintes, mostraram atividade antimicrobiana contra diferentes patógenos alimentares e microrganismos. Extratos de alecrim, orégano, cravinho, tomilho e frutas cítricas (por exemplo, limão, laranja e toranja) estão entre os antimicrobianos naturais mais estudados para aplicações em alimentos (Iturriaga et al., 2012). De fato, o orégano e o tomilho, provaram estar entre os extratos mais ativos (Burt et al, 2004; Busatta et al., 2007; Cansian et al., 2008).

Compostos fenólicos, como timol, carvacrol e eugenol, são alguns dos componentes mais ativos dos óleos essenciais (Burt et al, 2004). Outros extratos obtidos a partir de plantas e frutas, possuem compostos polifenólicos, como flavonoides, que também mostraram atividade antibacteriana contra uma grande variedade de microrganismos (Iturriaga et al, 2012).

Eles atuam como agentes antioxidantes e antimicrobianos, os quais podem migrar da embalagem para o produto alimentício (ou o espaço ocular adjacente) para prolongar a vida útil dos alimentos e melhorar suas propriedades de segurança e qualidade (Piñeros-Hernandez et al., 2017). Além de todas as características apresentadas, a incorporação de extratos naturais pode melhorar as propriedades plastificantes de biomateriais (Jaramillo et al., 2016). Compostos antioxidantes naturais têm sido empregados em diversas matrizes alimentares como hambúrgueres, almôndegas, embutidos, desidratados e cortes marinados e em filmes comestíveis empregados em produtos cárneos com resultados satisfatórios (Busatta et al., 2007; Busatta et al., 2008; Mariutti & Bragagnolo, 2009; Borella et al.,

2019; Umaraw et al., 2020). Na Tabela 1 estão demonstrados compostos naturais utilizados em filmes comestíveis, com efeitos positivos como antioxidantes, antimicrobianos e propriedades plastificantes em produtos cárneos.

**Tabela 1** – Utilização de extrato natural em biofilmes comestíveis para produtos cárneos.

Composto natural	Composto ativo	Aplicação do composto natural em filmes ativos para carnes/pescados		
		Filme	“Composto”	Produto aplicado
Chá verde ( <i>Camellia sinensis</i> )	Epicatequina, epigallocatequina-3-galato, epicatequina-3-galato, epigallocatequina, galocatequina, catequina (Abdollahzadeh, Nematollahi e Hosseini, 2021)	Ágar	Extrato de chá verde e cepas probióticas	Filé de peixe (López de Lacey et al., 2014).
Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> )	Curcumina (Abdollahzadeh, Nematollahi & Hosseini, 2021);	Pectina	Óleo essencial de curcumina-canela (CCN), óleo essencial de curcumina-alho (CGN), óleo de curcumina-girassol (CSN)	Filés de frango resfriados (Abdou, Galhoum & Mohamed, 2018).
		gelatina e mandioca-gelatina	Resíduo de cúrcuma e curcumina purificada	Salsichas (Tosati et al., 2018)
Gengibre ( <i>Zingiber officinale</i> )	$\alpha$ -zingibereno, $\beta$ -sesquifelandreno, canfeno, hidrato de sesquisabineno, zingiberenol (Noori, Zeynali and Almasi, 2018);	Caseína sódica	Óleo essencial de gengibre	Filé de peito de frango (Noori, Zeynali & Almasi, 2018)
		Mistura de proteína e quitosana	Óleo essencial de gengibre	Proteínas sarcoplasmáticas de peixes (Cai, Wang & Cao, 2020).
Ajowan ( <i>Trachyspermum ammi</i> )	Timol, $\gamma$ -terpinene, p-cimeno (Dhaiwal et al., 2017).	Alginato	Óleo essencial <i>Trachyspermum Ammi</i>	Filé de peru (Kazemeini, Azizian & Adib, 2021)
Orégano ( <i>Oreganum heracleoticum</i> )	Carvacrol, timol, g-terpineno e p-cimeno (Abdollahzadeh, Nematollahi e Hosseini, 2021)	Soja	Óleos Essenciais de tomilho e orégano	Rissoles de carne seca (Emiroğlu et al., 2010)
		Isolado protéico de soro	orégano ou óleos essenciais de cravo	Filés de peito de frango (Fernández-Pan, Carrión-Granda & Maté, 2014)
Alho ( <i>Syzygium aromaticum</i> )	Linalol (Ugalde et al., 2017), eugenol, acetato de eugenilo, $\beta$ -cariofileno (Lima et al., 2021)	Amido	Óleo essencial de cravo	Salsichas (Ugalde et al., 2017)
Cominho preto ( <i>Bunium persicum</i> )	$\rho$ -cimeno, monoterpenos, limoneno, terpineno- $\gamma$ , cuminaldehide, Carvona, $\beta$ -pineno (Hassanzadazar et al., 2018)	Quitossana	óleo essencial <i>Bunium persicum</i>	Filé de truta arco-íris (Kazemein et al., 2019)
Boldo ( <i>Peumus</i> )	As proantocianidinas,	Quitossana e	Extrato de boldo	Hambúrguer de

<i>boldus</i> )	glicosidos flavonóides, alcalóides (Girardi et al, 2016.); Isorhamnetin glucosil-para-ramnosido; di-glucosil-for-ramnosídeo (Simirgiotis & Schmeda-Hirschmann, 2010)	quitosana com gelatina		carne (Bonilla & Sobral, 2019)
Urtiga ( <i>Urtica dioica</i> L.)	Neofitadieno, $\beta$ -ionona, $\alpha$ -ionona, Farnesylacetone, 2,4-t-butilfenol, Hexahydrofarnesyl acetona, Fitol (Gharibzahedi & Mohammadnabi, 2016)	Chiclete ( <i>Zizyphus jujuba</i> Mill)	Óleo essencial de urtiga	Filetes de esturção beluga (Gharibzahedi & Mohammadnabi, 2017)

Fonte: O Autor, 2021.

Li et al. (2014), pesquisaram diferentes extratos naturais que apresentam excelente atividade antioxidante e retardam a oxidação lipídica em vários sistemas de modelos alimentares, que podem ser a escolha ideal para serem adicionados aos filmes para a melhoria da qualidade e extensão da vida de útil. López de Lacey et al. (2014), observou que a aplicação de películas de chá verde em pescada atrasou o crescimento de microrganismos em peixes, particularmente as contagens de H<sub>2</sub>S produtoras de Bactérias e contagem total de bactérias viáveis, que prolonga a vida de útil de pescada durante pelo menos uma semana. Abdou, Galhoum & Mohamed (2018), relatam que nano emulsões curcumina/revestimentos de pectina preparados com óleos essenciais de canela e alho melhoraram as propriedades de qualidade microbiológica e atrasaram o aparecimento de contaminação microbiológica em filés de frango refrigerados resultando em um aumento na vida útil de até 12 dias.

Os compostos fenólicos podem afetar enzimas e, assim, regulam negativamente mecanismos dependentes de energia e colonização bacteriana é retardada (Bolívar-Monsalve et al., 2019; Rashidi et al., 2017). Segundo Lorenzo et al. (2014), os compostos presentes no chá verde e chá preto apresentaram atividade antimicrobiana para *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Quando aplicados em sistemas alimentares, eles podem melhorar o sabor, retardar a oxidação lipídica, inibir o crescimento de microrganismos e também desempenham papéis na redução do risco de algumas doenças (Lopez et al, 2017; Li et al, 2014).

Lima et al. (2021), observaram que uma película de poli ácido láctico (PLA) com óleos essenciais de cravo, laranja e canela mostrou uma melhoria no desempenho em relação à sua propriedade térmica e atividade antimicrobiana. O filme de cravo PLA/OE destacaram-se por ter uma ação bactericida intenso sem degradação do filme. Outro

trabalho conduzido com o objetivo de examinar os efeitos do filme de ácido polilático (PLA) contendo extrato etanólico de própolis (PE), nanopartícula de celulose (CN) e óleo essencial de *Ziziphora clinopodioides* (ZEO) avaliaram nas propriedades químicas, microbianas e sensoriais de carne bovina moída durante armazenamento em refrigerador (Shavisi et al., 2017). No entanto, Gimenez et al. (2013), observou-se que apesar do agar permitir a liberação de compostos antioxidantes e antimicrobianas; A inclusão do extrato de chá verde gera um efeito que diminui a força de tração, o alongamento, e o aumento da solubilidade em água.

Jaramillo et al. (2017), relataram que o grau de poder antioxidante é geralmente proporcional à quantidade do extrato adicionado, tornando o filme mais ativo. A incorporação de extratos naturais aos filmes também pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades mecânicas, resultando em um filme comestível inteligente com atividade antioxidante (Toungnuanchan et al., 2012).

O chá verde é rico em compostos bioativos com atividade antioxidante. Esses compostos possuem ação benéfica na prevenção da oxidação, com isso o desenvolvimento de produtos com maior conteúdo antioxidante tem despertado o interesse da indústria alimentícia, por agregar valor nutricional aos produtos. Ainda, a sua incorporação em filmes biodegradáveis contribui para a ação protetora. Com a finalidade de otimizar e estender a liberação desses compostos ao longo da vida útil dos produtos foi investigado o método para encapsular o extrato de chá verde pela técnica sol-gel como agente encapsulante, buscando melhorar a liberação do extrato em filmes de acetato de celulose.

### **3.3 Técnica Sol-gel**

A encapsulação consiste no revestimento de pequenas gotículas ou partículas de agentes ativos, a fim de aprisioná-lo como material de núcleo com um invólucro polimérico natural ou sintético protetor (Butstraen et al., 2015). O encapsulamento através de sol-gel provou ser uma técnica versátil para a imobilização de uma grande variedade de biomoléculas (Kandimalla et al., 2006).

A produção de matrizes sol-gel é iniciada pela hidrólise parcial dos precursores (silicatos de alquilo ou alcóxidos), resultando em um oligômero que pode ser transesterificado com glicerol. O oligômero presente é totalmente hidrolisado, formando-se uma dispersão coloidal (sol), sendo adicionada uma solução contendo o biocatalisador,

dando início ao processo de policondensação. Deste resulta a formação de uma fase distinta (o hidrogel ou xerogel) contendo o biocatalisador. A matriz é então envelhecida, resultando, no final do processo, nano ou micromatrizes (Cabral et al., 2003).

Durante o processo sol-gel, um soluto ou solvente é aglomerado ou hidrolisado para se obter um sol contendo nanopartículas. Então, o sol é policondensado em um gel sob certas condições. Finalmente, o pós-tratamento do gel resulta em um filme fino requerido. O método sol-gel pode melhorar a uniformidade química de filmes multicomponente para os níveis moleculares e atômicos em comparação com outros métodos de preparação sem-vácuo. Além disso, a dopagem do material preparado pode ser facilmente realizada e o processo de preparação da película pode ser um controle completo e preciso pela técnica sol-gel (Qiu et al., 2019).

Os hidrogéis são redes de polímeros insolúveis com estruturas altamente porosas contendo uma grande quantidade de água; estes podem ser aplicados para inúmeras aplicações biomédicas, incluindo como portadores de agentes terapêuticos. Hidrogéis podem ser preparados a partir de polímeros hidrofílicos via reticulação física ou química (Lee et al., 2019).

O ácido hialurônico (AH) é um polissacarídeo aniônico que é um constituinte dos tecidos conjuntivos. Os hidrogéis à base de HA apresentam grandes vantagens, como biodegradabilidade, características não imunogênicas e disponibilidade para modificações químicas. Como portador de um fármaco, o HA é considerado um excelente bloco de construção devido aos seus locais de ligação específicos para receptores celulares (Lee et al., 2019). No entanto, para alcançar as características desejáveis de liberação do fármaco, sua liberação de ruptura resultante da estrutura de rede altamente porosa, degradação rápida e propriedades mecânicas ruins devem ser controladas.

Além da possibilidade de obter os componentes orgânico e inorgânico altamente dispersos, o método sol-gel de síntese apresenta outras características interessantes, tais como: i) as reações de gelificação são processadas a brandas temperaturas, o que permite inserir à matriz sólida biomoléculas como enzimas, proteínas e anticorpos, de difícil incorporação por outros métodos que utilizem temperaturas mais elevadas; ii) possibilidade de obter materiais sob diferentes configurações como fibras, corpos cerâmicos, monolitos, filmes, membranas e pós (Keeling-Tucker et al., 2001; Avnir et al., 2006; Coradin et al., 2006; KICKELBICK, 2008).

## REFERÊNCIAS

- ABDEL AZIZ, M. S.; SALAMA, H. E. & SABAA, M.W. Biobased alginate/castor oil edible films for active food packaging. *LWT - Food Science and Technology*, v. 96, pg. 455-460, 2018.
- ABDOLLAHZADEH, A.; NEMATOLLAHI, A. & HOSSEINI, H. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v.110, pg. 291-303, 2021.
- ABDOU, E. S.; GALHOUM, G. & MOHAMED, E. M. Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. *Food Hydrocolloids*, e. 83, pg. 445-453, 2018.
- ADILA, Z. A. M.; HANANI, Z.A.N. Active Packaging of Fish Gelatin Films with Morinda Citrifolia Oil. *Food Bioscience*, 2016.
- AHN, J. H.; KIM, Y. P.; SEO, E. M; CHOI, Y. K. & KIM, H. S. Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil. *Journal of Food Engineering*, v. 84, e. 2, pg. 327-334, 2008.
- ATEFA, M.; REZAEIA, M. & BEHROOZB, R. Preparation and characterization agar-based nanocomposite film reinforced by nanocrystalline cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, e. 70, pg. 537-544, 2014.
- AVNIR, D., CORADIN, T., LEV, O., LIVAGE, J. Recent bio-applications of sol-gel materials. *Journal of Material Chemistry*, n. 16, pg. 1013 – 1030, 2006.
- BIAO, Y.; YUXUAN, C.; QI, T; ZIGI, Y.; YOUYONG, Z.; MCCLEMENTS, D.J.; CHONGJIANG, C. Enhanced performance and functionality of active edible films by incorporating tea polyphenols into thin calcium alginate hydrogels. *Food hydrocolloids*, v. 97, 2019.
- BOLÍVAR-MONSALVE, J.; RAMÍREZ-TORO, C.; BOLÍVAR, G. & CEBALLOS-GONZÁLEZ, C. Mechanisms of action of novel ingredients used in edible films to preserve microbial quality and oxidative stability in sausages - A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 89, pg. 100-109, 2019.
- BONILLA LAGOS, M. J. & SOBRAL, P. J. A. Application of active films with natural extract for beef hamburger preservation. *Ciência Rural*, v. 49, e. 1, 20180797, 2019.
- BONILLA, J.; FORTUNATI, E.; ATARÉS, L.; CHIRALT, A. & KENNY, J. M. Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, v. 35, pg. 463-470, 2014.
- BORELLA, T. G.; PECCIN, M. M.; MAZON, J. M.; ROMAN, S. S.; CANSIAN, R. L. & SOARES, M. B. A. Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) antioxidant in industrial processing of frozen-mixed hamburger during shelf life. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 43, e14092, 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC** nº 259, september 20, 2012. In **DOU** nº 184, september 23, 2012.
- BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology*, v. 94, pg. 223-253, 2004.

- BUTSTRAEN, C. Sol-gel microencapsulation of oil phase with pickering and nonionic and nonionic surfactant-based emulsions. **Power Technology**, v. 284, pg. 237-244, 2015.
- BUSATTA, C.; MOSSI, A. J.; RODRIGUES, M. R. A.; CANSIAN, R. L. & OLIVEIRA, J. V. Evaluation of *Origanum vulgare* essential oil as antimicrobial agent in sausage. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.38, pg.610-616, 2007.
- BUSATTA, C.; VIDAL, R. S.; POPIOLSKI, A. S.; MOSSI, A. J.; DARIVA, C.; RODRIGUES, M. R.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. & CANSIAN, R. L. Application of *Origanum majorana* L. essential oil as an antimicrobial agent in sausage. **Food Microbiology**, v. 25, e.1, pg. 207-211, 2008.
- CABRAL, J. M. S., M.R.A.; Gama, M.; Engenharia Enzimática. **Ed. Lidel- Edições Técnicas**, Lisboa, 2003.
- CAI, L.; WANG, Y. & CAO, A. The physiochemical and preservation properties of fish sarcoplasmic protein/chitosan composite films containing ginger essential oil emulsions. **Journal of Food Process Engineering**, v.43, e.10, e13495, 2020.
- CANSIAN, R. L.; BUSATTA, C.; VIDAL, R. S.; POPIOLSKI, A. S.; MOSSI, A. J.; DARIVA, C.; RODRIGUES, M. R. A.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L. & OLIVEIRA, J. V. Application of *Origanum majorana* L. essential oil as an antimicrobial agent in sausage. **Food Microbiology**, v. 25, pg. 207-211, 2008.
- CANSIAN, R. L.; MOSSI, A. J.; PAROUL, N.; TONIAZZO, G.; ZBORALSKI, F.; PRICHOA, F. C. KUBIAK, G. B.; LERIN, L. A. Atividade Antioxidante e Antimicrobiana de extrato de canela-sassafrás (*Ocotea odorífera* (VELL.) ROWHER). **Perspectiva**, v. 34 (127), pg.123-133, 2010.
- CARDOSO, M. B. Contribuição ao estudo da reação de desatilação de quitina: Estudos da desatilação assistida por ultrassom de alta potência. Doctoral Thesis. **Universidade de São Paulo**, São Paulo, Brazil, 2008.
- CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H. & RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, v. 32, pg. 201-209, 2018.
- CHAILLOU, L. L. & NAZARENO, M. A. New method to determine antioxidant activity of polyphenols. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, e. 22, pg. 8397-8402, 2006.
- CORADIN, T., JOACHIM, A., MICHEL, B., JACQUES, L. Sol-gel biopolymer/silica nano-composites in biotechnology. **Current Nanoscience**, n. 2, pg. 219-230, 2006.
- DALLA ROSA, A. D.; JUNGES, A.; FERNANDES, I. A.; CANSIAN, R. L.; CORAZZA, M. L.; FRANCESCHI, E.; BACKES, G. T. & VALDUGA, E. High pressure extraction of olive leaves (*Olea europaea*): bioactive compounds, bioactivity and kinetic modelling. **Journal of Food Science and Technology**, v.56, pg.3864-3876, 2019.
- DENAVI, G.; TAPIA-BLÁCIDO, D.R.; AÑÓN, M. C.; SOBRAL, P. J. A.; MAURI, A.N.; MENEGALLI, F. C. Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 341-349, 2009.
- DOMÍNGUEZ, R.; GÓMEZ, M.; FONSECA, S. & LORENZO, J. M. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. **Meat Science**, v. 97, e.2, pg. 223-230, 2014.



- DOU, L.; LI, B.; ZHANG, K.; CHU, X. & HOU, H. Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.118(B), pg.1377-1383, 2018.
- EMIROĞLU, Z. K.; YEMIŞ, G. P.; COŞKUN, B. K. & CANDOĞAN, K. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. **Meat Science**, v. 86, pg. 283-288, 2010.
- ENUJIUGHA, V. N. & OYINLOYE, A. M. Protein-Lipid Interactions and the Formation of Edible Films and Coatings. **Food Science Encyclopedia of Food Chemistry**, pg. 478-482, 2019.
- ESPITIA, P. J. P.; DU, W.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; SOARES, N. F. F. & MCHUGH, T. H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, pg. 287-296, 2014.
- FALOWO, A.B.; FAYEMI, P. O. & MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. **Food Research International**, v. 64, pg. 171-181, 2014.
- FANG, R., REDFERN, S. P., KIRKUP, D., PORTER, E. A., KITE, G. C., TERRY, L. A., BERRY, M. J., SIMMONDS, M. S. J. Variation of theanine, phenolic, and methylxanthine compounds in 21 cultivars of *Camellia sinensis* harvested in different seasons. **Food Chemistry**, v. 220, pg. 517–526, 2017.
- FANG, Q., HANNA, M. A. Functional properties of polylactic acid-starch-based loose fill packaging films. **Cereal Chemistry**, v. 77, pg. 779–783, 2000.
- FERNÁNDEZ-PAN, I.; CARRIÓN-GRANDA, X. & MATÉ, J. I. Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets. **Food Control**, v.36 (1), pg.69-75, 2014.
- GHARIBZAHEDI, S. M. T. & MOHAMMADNABI, S. Effect of novel bioactive edible coatings based on jujube gum and nettle oil-loaded nanoemulsions on the shelf-life of Beluga sturgeon fillets. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 95, pg. 769-777, 2017.
- GIMÉNEZ, B.; LÓPEZ DE LACEY, A.; PÉREZ-SANTÍN, E.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E. & MONTERO, P. Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea Extract. **Food Hydrocolloids**, v. 30, pg. 264-271, 2013.
- GUERRA-ROSAS, M. I.; MORALES-CASTRO, J.; OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; SALVIA-TRUJILLO, L. & MARTÍN-BELLOSO, O. Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils. **Food Hydrocolloids**, v. 52, pg. 438-446, 2016.
- HANANI, Z. A. N.; ROOS, Y. H. & KERRY, J. P. Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 71, pg. 94-102, 2014.
- HOSSEINNIA, M.; KHALEDABAD, M. A. & ALMASI, H. Optimization of *Ziziphora clinopodioides* essential oil microencapsulation by whey protein isolate and pectin: A comparative study. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, pg. 958-966., 2017.

- ITURRIAGA, L.; OLABARRIETA, I. & MARTÍNEZ DE MARAÑÓN, I. Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films. **International Journal of Food Microbiology**, v. 158, e.1, pg. 58-64, 2012.
- JARAMILLO, C. M.; GUTIÉRREZ, T. J.; GOYANES, S.; BERNAL, C. & LUCÍA FAMÁ, L. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, e. 151, pg. 150-159, 2016.
- JARAMILLO, C. M.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C. & FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, e. 176, pg. 187-194, 2017.
- JORGE, N. Embalagens para alimentos. Cultura Acadêmica: **Universidade Estadual Paulista**, 2013.
- KANATT, S. R.; RAO, M. S.; CHAWLA, S. P. & SHARMA, A. Active chitosan-polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, pg. 290-297, 2012.
- KANDIMALLA, V. B., TRIPATHI, V. S., JU, H. X. Immobilization of biomolecules in solgels: biological and analytical applications. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**. v. 36, pg. 73–106, 2006.
- KAZEMEINI, H.; AZIZIAN, A. & SHAHAVI, M. H. Effect of Chitosan Nano-Gel/Emulsion Containing *Bunium Persicum* Essential Oil and Nisin as an Edible Biodegradable Coating on Escherichia Coli O<sub>157</sub>:H<sub>7</sub> in Rainbow Trout Fillet. **Journal of Water and Environmental Nanotechnology**, v4(4): pg.343-349, 2019.
- KAZEMEINI, H.; AZIZIAN, A. & ADIB, H. Inhibition of *Listeria monocytogenes* growth in turkey fillets by alginate edible coating with *Trachyspermum ammi* essential oil nano-emulsion. **International Journal of Food Microbiology**, pg. 344, 2021.
- KEELING-TUCKER, T., BRENNAN, J. D., Fluorescent Probes as Reporters on the Local Structure and Dynamics in Sol-Gel-Derived Nanocomposite Materials. **Chemistry of Materials**, v. 13, pg. 3331 – 3350, 2001.
- KICKELBICK, G. The search of a homogeneously dispersed material—the art of handling the organic polymer/metal oxide interface. **Journal Sol-Gel Science Technology**, v. 46, ed. 3, pg. 281–290, 2008.
- KHAN, M. I.; ADREES, M. N.; TARIQ, M. R. & SOHAIB, M. Application of edible coating for improving meat quality: A review. **Pakistan Journal of Food Sciences**, v.23, e.2, pg. 71-79, 2013.
- KHEZRIAN, A. & SHAHBAZI, Y. Application of nanocomposite chitosan and carboxymethyl cellulose films containing natural preservative compounds in minced camel's meat. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, pg. 1146-1158, 2018.
- KIM, H.; KIM, T.; KIM, H.; HONG, I.; KIM, E.; CHOI, A.; CHOI, H. & OH, J. Nano-biohybrids of engineered nanoclays and natural extract for antibacterial agents. **Applied Clay Science**, v.134, e.1, pg. 19-25, 2016.

- LEE, H. Y., KIM, H.E., JEONG, S.H.; One-pot synthesis of silane-modified hyaluronic acid hydrogels for effective antibacterial drug delivery via sol-gel stabilization. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 174, pg. 308-315, 2019.
- LI, J.; MIAO, J.; WU, J.; CHEN, S. & ZHANG, Q. Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 37, pg. 166-173, 2014.
- LIMA, J. C. C.; PEREIRA, J. C. N.; ANDRADE, M. F.; GÓIS, G. S.; SIMÕES, I. T. A.; SILVA, M. A. A. D.; ALMEIDA, Y. M. B. & VINHAS, G. M. Study and influence of clove, cinnamon, and orange essential oils in the preparation of poly (lactic acid) films: Active packaging development. **Research, Society and Development**, v.10, e.4, 2021.
- LÓPEZ DE LACEY, A. M., LÓPEZ-CABALLERO, M. E. & MONTERO, P. Agar films containing green tea extract and probiotic bacteria for extending fish shelf-life. **LWT - Food Science and Technology**, v.55, pg. 559-564, 2014.
- LOPEZ, D.; MARQUEZ, A.; GUTIERREZ-CUTINO, M.; VENEGAS-YAZIGI, D.; BUSTOS, R.; MATIACEVICH, S. & BUSTOS, R. Edible film with antioxidant capacity based on salmon gelatin and boldine. **Food Science and Tecnology**, v.77, pg.160-169, 2017.
- LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; BURSAČKOVAČEVIĆ, D.; SHPIGELMAN, A.; GRANATO, D. & FRANCO, D. Berries extracts as natural antioxidants in met products: A reviem. **Food Reserarch International**, e. 106, pg.1095-1104, 2018.
- LORENZO, J. M.; SINEIRO, J.; AMADO, I. R. & FRANCO, D. Influence of natural extract on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties. **Meat Science**, v.96, pg. 526-534, 2014.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., YAMASHITA, F. Starch lms: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MARIUTTI, L. R. B. & BRAGAGNOLO, N. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto da adição de sálvia (*Salvia officinalis*, L.) e de alho (*Allium sativum*, L.) como antioxidantes naturais. **Revista Do Instituto Adolfo Lutz**, v.68, e.1, pg.1-11, 2009.
- MARTINS, C. S. F. Filme Ativo com Extrato de Chá Verde na Preservação de Alimentos Suscetíveis à Oxidação Lipídica. Masters dissertation, **Universidade de Coimbra, Coimbra**, Portugal, 2018.
- MARTÍNEZ, J. R.; CRUZ-MENDOZA, J. A. DE LA.; VILLASEÑOR-CONZÁLEZ, P. Formación y caracterización de materiales vítreos preparados por la técnica sol-gel. **Revista Mexicana de Física**, v. 45, e. 5, pg 472-479, 1999.
- MEREGALLI, M. M.; PUTON, B. M.S.; CAMERA, F. D.; AMARAL, A. U.; ZENI, J.; CANSIAN, R. L.; MIGNONI, M. L. & BACKES, G. T. Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red araçá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, pg. 5800-5809, 2020.
- MENSITIERI, G.; MAIO, E.; BUONOCOREA, G. G.; NEDI, I, OLIVEIRA, M; SANSONE, L.; IANNACEA, S. Processing and shelf life issues of selected food

- packaging materials and structures from renewable resources. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, ed. 2-3, pg. 72-80, 2011.
- MIN, B. & AHN, D. U. Meat, poultry and seafood packaging. **Oxford**, pg. 112-153, 2012.
- MOHAMED, S. A. A., EL-SAKHAWY, M. & EL-SAKHAWY, M. A. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, pg.116-178, 2020.
- MOSTAFAVI, F. S. & ZAEIM, D. Agar-based edible films for food packaging applications - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, e. 159, pg. 1165–1176, 2020.
- NILSUWAN, K.; BENJAKUL, S. & PRODPRAN, T. Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate. **Food Hydrocolloids**, e. 80, pg. 212-221, 2018.
- NOORBAKHSH-SOLTANI, S. M.; ZERAFAT, M. M. & SABBAGHI, S. A comparative study of gelatin and starch-based nanocomposite films modified by nanocellulose and chitosan for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, e. 189, pg. 48-55, 2018.
- NOORI, S., ZEYNALI, F. & ALMASI, H. Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. **Food Control**, v.84, pg.312-320, 2018.
- OSÉS, J.; FABREGAT-VAZQUEZ, M.; PEDROZA-ISLAS, R.; TOMAS, S. A.; CRUZ-OREA, A. & MATE, J. I. Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. **Journal of Food Engineering**, v. 92, e.1, pg.56-62, 2009.
- PAPUC, G. V. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. **Food Science and Food Safety**, v.16, pg.96-123, 2017.
- PIÑEROS-HERNANDEZ, D., JARAMILLO, C. M.; LÓPEZ-CÓRDOBA, A. & GOYANES, S. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 63, pg. 488-495, 2017.
- PRANOTO, Y., RAKSHIT, S. K. & SALOKHE, V. M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. **Food Science and Technology**, v.38, pg.859-865, 2005.
- QIU, L. ET AL. Fabrication of Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin films by microwave assisted sol-gel method. **Superlattices and Microstructures**, v. 126, pg. 83-88, 2019.
- RASHIDI, B.; MALEKZADEH, M.; GOODARZI, M.; MASOUDIFAR, A. & MIRZAEI, H. Green tea and its anti-angiogenesis effects. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 89, pg. 949-956, 2017.
- SARBON, N. M.; NAZLIN, F. B. & HOWELL, K. Preparation and characterization of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. **Food Hydrocolloids**, v.30, e.1, pg. 143-151, 2013.

SERAFINI, L. A.; SANTOS, A. C. A.; TOUGUINHA, L. A.; AGOSTINI, G. & DALFOVO, V. Extrações e aplicações de óleos essenciais de plantas aromáticas e medicinais. Caxias do Sul: **EDUCS**, 2002.

SHAVISI, N.; KHANJARI, A.; BASTI, A. A.; MISAGHI, A. & SHAHBAZI, Y. Effect of PLA films containing propolis ethanolic extract, cellulose nanoparticle and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on chemical, microbial and sensory properties of minced beef. **Meat Science**, v.124, pg.95-104, 2017.

SUDERMAN, N.; ISA, M. I. N. & SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, v.24, pg.111-119, 2018.

SUSMITHA, S.; SASIKUMAR, K.; RAJAN, D.; PADMAKUMAR, A.; NAMPOTHIRI, K. M. Development and characterization of corn starch-gelatin based edible films incorporated with mango and pineapple for active packaging. **Food Bioscience**, v. 41, 2021.

TASSOU, C. C., KOUTSOUMANIS, K. & NYCHAS, G. J. E. Inhibition of *Salmonella enteritidis* and *Staphylococcus aureus* in nutrient broth by mint essential oil. **Food Research International**, v.33, e3-4, pg. 273-280, 2000.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, e.14, pg. 71-78, 2003.

TOUGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. & PRODPRAN, T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. **Food Chemistry**, v. 134, e.3, pg.1571-1579, 2012.

TOSATI, J.V.; DE OLIVEIRA, E. F.; OLIVEIRA, J. V.; NITIN, N. & MONTEIRO, A. R. Light-activated antimicrobial activity of turmeric residue edible coatings against cross-contamination of *Listeria innocua* sausages. *Food Control*, e.84, pg. 177-185, 2018.

UGALDE, M. L.; CEZARO, A. M.; CENCI, A.; VALÉRIO JÚNIOR, C.; PAROUL, N.; TONIAZZO, G.; STEFFENS, J. & CANSIAN, R. L. Bacterial and Antioxidant Activity of Commercial Essential Oils of Rosemary, Clove, Oregano and Sage. **La Revista de Ciencia y Tecnología**, v.25, pg.54-61, 2016.

UGALDE, M. L.; CEZARO, A. M.; VEDOVATTO, F.; PAROUL, N.; STEFFENS, J.; VALDUGA, E.; TONIAZZO, G.; FRANCESCHI, E. & CANSIAN, R. L. Active starch biopolymeric packaging film for sausages embedded with essential oil of *Syzygium aromaticum*. **Journal of Food Science and Technology**, e.54, v.7; pg. 2171-2175, 2017.

UMARAW, P.; MUNEKATA, P. E.S.; VERMA, A. K.; BARBA, F. J.; SINGH, V. P.; KUMAR, P. & LORENZO J. M. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived product. **Trends in Food Science & Technology**, v.98, pg. 10-24, 2020.

XIAO, Q. Drying process of sodium alginate edible films forming solutions studied by LF NMR. **Food Chemistry**, v.250, pg.83-88, 2018.

YUAN, W.; LEE, H. W. & YUK, H. Antimicrobial efficacy of *Cinnamomum javanicum* plant extract against *Listeria monocytogenes* and its application potential with smoked salmon. **International Journal of Food Microbiology**, v. 260, pg.42-50, 2017.

YUAN, W. & YUK, H. Antimicrobial efficacy of *Syzygium antisepticum* plant extract against *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *S. aureus* and its application potential with cooked chicken. **Food Microbiology**, v. 72, pg. 176-184, 2018.

---

**SELEÇÃO DE FORMULAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE FILMES  
ATIVOS DE RECOBRIMENTO E INTERFOLHAMENTO DE PRODUTOS  
CÁRNEOS REFRIGERADOS**

**RESUMO**

Devido ao interesse no desenvolvimento de filmes ativos com atividade antioxidante, biodegradável para aumentar a vida útil dos produtos alimentícios, foi realizada uma seleção de formulações com diferentes polímeros e concentrações de extrato de chá verde para aplicação como recobrimento e interfolhamento de produtos cárneos. Foram formulados filmes de gelatina, amido de milho, fécula de mandioca, quitosana e acetato de celulose com 1,0, 2,5 e 5,0% de extrato de chá verde, aplicados em recobrimento de linguiça frescal e avaliados parâmetros de continuidade, homogeneidade e manuseabilidade. Para filmes de interfolhamento foram formulados filmes de acetato de celulose, acetato de celulose com sol-gel, amido de milho e quitosana com adição das mesmas concentrações de extrato. Em relação aos filmes de recobrimento, a formulação a base de gelatina apresentou os melhores resultados nos atributos avaliados, sem alteração da coloração e aparência do produto após a aplicação do filme. Em relação aos filmes de interfolhamento, observou-se maior atividade antioxidante com a concentração de 1,0%, independentemente da formulação, liberação contínua do extrato de chá verde por até 60 dias e IC<sub>50</sub> médio de 0,09 e 0,31 mg/mL para os filmes ativos de amido de milho e quitosana, respectivamente, com 1,0% de extrato de chá verde, indicando potencial para aplicação na indústria de alimentos.

**Palavras-chave:** Biopolímeros, Antioxidante, *Cammelia sinensis*.

**1. INTRODUÇÃO**

Filmes são estruturas para envolver ou interfolhar produtos, preparados de forma a obter uma fina espessura (camada de material) que agem como barreira a elementos externos (umidade, gases e óleos), protegendo os produtos e aumentando sua vida de útil. Estes podem ser elaborados a partir de macromoléculas biológicas, como os polissacarídeos e as proteínas, e adicionalmente, podem carrear compostos antimicrobianos e antioxidantes, sendo denominados filmes ativos.

As macromoléculas biológicas são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina e outras (Brito et al., 2011). Dentre os polímeros, a gelatina tem sido estudada extensivamente por sua capacidade de formar filmes, boas propriedades funcionais e utilidade como uma barreira externa para proteger os alimentos da secagem, exposição

ao oxigênio e à luz. Filmes compostos de gelatina possuem boas propriedades mecânicas, mas são sensíveis à umidade e apresentam propriedades de barreira pobres contra o vapor de água.

O amido é uma matéria-prima abundante e disponível em todo o mundo, apresenta muitas possibilidades de modificação química, física ou genética e origina filmes e revestimentos resistentes. Adicionado de plastificantes como o glicerol possuem uma estrutura resistente e com boas propriedades mecânicas. Filmes a base de quitosana possuem propriedades semelhantes e quando acrescidos de aditivos utilizados como agentes antioxidantes, aromatizantes e como pigmentos, com o intuito de aumentar as propriedades dos filmes, tornando-se ativos (Mali et al, 2010). Os filmes de acetato de celulose, produzidos por reações de acetilação, também apresentam potencial para uso na indústria alimentícia, e quando em formulações ativas podem aumentar a vida de útil e a segurança dos alimentos (Carvalho et al., 2017).

Extratos e óleos essenciais de plantas são reconhecidos como fontes potenciais de antioxidantes e antimicrobianos naturais. As plantas têm sido tradicionalmente usadas em alimentos como agentes aromatizantes e/ou de preservação, como também medicamentos populares para curar doenças. Dentre estas se destaca *Camellia sinensis*, da qual é obtido o chá verde, uma das bebidas mais populares em todo o mundo. Seus principais efeitos estão relacionados à presença de compostos fenólicos e metilxantinas (Fang et al., 2017).

Existem vários trabalhos na literatura descrevendo as propriedades de filmes com diferentes polímeros e incorporados de compostos e extratos para torná-los filmes ativos para diferentes aplicações. Entretanto, são escassos os trabalhos com resultados comparativos entre formulações de filmes para recobrimento e interfolhamento de produtos cárneos, enfocando na atividade antioxidante destes filmes.

Com a finalidade de desenvolver filmes que proporcionem o aumento da vida de útil de produtos cárneos, ou seja sua estabilidade oxidativa, este trabalho tem por objetivo fazer a seleção de formulações para desenvolvimento de filmes ativos de recobrimento e para interfolhar produtos cárneos de forma a atender as demandas ambientais e tecnológicas com adição de extrato de chá verde (*Camellia sinensis*).



## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Obtenção dos filmes de recobrimento**

Com a finalidade de avaliar e estudar as melhores formulações para o desenvolvimento de filmes comestíveis, foram desenvolvidos diferentes tipos de filmes de recobrimento.

Os insumos utilizados para a produção dos filmes, bem como o extrato de chá verde (Duas Rodas®) utilizado foram obtidos comercialmente. O extrato de chá verde foi obtido em pó de forma comercial com informações de extração e para utilização em produtos hidrossolúveis.

#### **2.1.1 Filmes de Gelatina**

Os filmes foram obtidos através de uma solução filmogênica (SF) feita com adição de 5% (m/v) de gelatina (Synth®) dissolvida em 39,8 mL em água a aproximadamente 90 °C e agitação manual contínua até dissolução total da gelatina (aproximadamente 10 min). Em seguida foi adicionado 30% (m/m) glicerol (Proton Química®) com adição do extrato de chá verde nas concentrações de 1,0, 2,5 e 5,0% (m/v) na SF resfriada a 40 °C sob homogeneização (Mesquita, 2015).

#### **2.1.2 Filmes de Amido de Milho e Fécula de Mandioca**

Os filmes foram obtidos a partir de uma solução contendo 3% de amido de milho ou fécula de mandioca (m/v), 30% de glicerol (m/m) (Proton Química®) como agente plastificante, suspensos em água destilada. Os componentes foram misturados e aquecidos gradualmente sob agitação em banho-maria até a temperatura de 80 °C (temperatura de gelatinização) mantendo-se assim por 10 min para assegurar o inchamento de todos os grânulos de amido ou de fécula (Ugalde et al., 2017). O extrato de chá verde (1,0, 2,5 e 5,0% m/v) foi adicionado após o esfriamento da solução à 40 °C.

#### **2.1.3 Filmes de Quitosana**

Os filmes de quitosana foram preparados a partir de uma solução contendo 2% de quitosana (m/v) (Polymar®, Brasil), 30% de glicerol (m/m) (Proton Química®) como agente plastificante, suspensos em uma solução aquosa. A quitosana diluída foi submetida a aquecimento gradativo sob agitação em banho-maria em aquecedor/agitador magnético (Fisatan, Brasil), até atingir a temperatura de 40 °C, momento em que foi

adicionado o glicerol. A solução foi agitada até a completa dissolução da quitosana em glicerol, para posterior adição do extrato de chá verde (1,0, 2,5 e 5,0% m/v), (Ugalde et al., 2017).

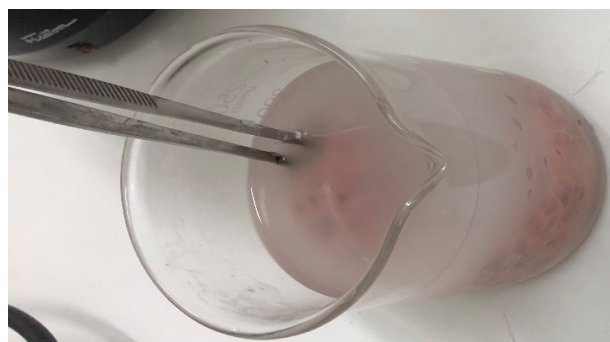
#### 2.1.4 Filmes de Acetato de Celulose

Os filmes de acetato de celulose foram produzidos a partir de uma solução contendo 10% de acetato de celulose (m/v) (Sigma-Aldrich, Brasil), suspenso em acetona P.A. (Sigma-Aldrich, Brasil). A SF foi agitada periodicamente até a completa dissolução do acetato, sendo feita então a inclusão do extrato de chá verde (1,0, 2,5 e 5,0% m/v) (Ugalde et al., 2017).

#### 2.1.5 Aplicação dos Filmes de Recobrimento em Linguiça Frescal

Para avaliar o comportamento dos filmes a base de fécula de mandioca, quitosana, acetato de celulose, amido de milho e gelatina, estes foram aplicados em linguiça frescal. As linguiças foram gentilmente cedidas por um frigorífico abatedouro de suínos localizado na região sul do Brasil, sob o Serviço de Inspeção Federal, no dia da sua fabricação, sendo transportadas até o local das análises devidamente acondicionadas em caixas de isopor com gelo. Os produtos foram mergulhados, de forma asséptica, com pinças nas soluções filmogênicas (Figura 1), as quais foram preparadas como descrito anteriormente, sendo após, colocadas para secar sob refrigeração por 12h.

**Figura 1** - Processo de recobrimento em linguiças frescas em solução filmogênica.



Fonte: O Autor, 2019.

## 2.2 Avaliação dos filmes de recobrimento

### 2.2.1 Avaliação subjetiva dos filmes de recobrimento

Após a aplicação das diferentes soluções filmogênicas como filme de recobrimento em linguiça frescal, os filmes foram avaliados utilizando os parâmetros definidos por Gontard et al. (1993), com relação às seguintes características:

Continuidade: ausência de rupturas, fraturas e alteração de superfície;

Homogeneidade: ausência de partículas ou bolhas visíveis a olho nu, zonas de opacidade ou cores diferenciadas;

Manuseabilidade: possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura ou fixação.

Os filmes foram classificados de acordo com um padrão definido como 1= excelente, 2 = bom e 3 = deficiente.

### 2.2.2 Cinética de atividade antioxidante dos filmes de recobrimento

A cinética de atividade antioxidante dos filmes de gelatina com extrato comercial de chá verde (1, 2,5 e 5% m/v de solução filmogênica) foi realizada a cada 7 dias, durante 35 dias de armazenamento dos filmes protegidos da luz, em temperatura de 4 °C.

Cada filme foi acondicionado sob agitação de 220 rpm em shaker orbital (Excella E25) em 10 mL de etanol (êxodo-científica CAS 64-17-5) por 24h à temperatura ambiente. Após este período, o líquido residual foi submetido a análise de atividade antioxidante (DPPH).

A metodologia para avaliação da atividade antioxidante, foi baseada na medida da extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) em 515 nm, em triplicata, por método espectrofotométrico (Kulisic et al., 2004). A técnica consistiu na incubação, por 30 min., de 500 µL de uma solução etanólica de DPPH 0,1 mM, com 500 µL de soluções, contendo concentrações crescentes de líquido residual dos filmes, em etanol. Procedeu-se da mesma forma para a preparação da solução denominada “controle”, substituindo-se, porém, 500 µL do líquido residual por 500 µL de etanol. A solução denominada “branco” foi preparada com as soluções em diferentes concentrações do extrato e etanol, sem DPPH.

O percentual de captação do radical DPPH foi calculado em termos da percentagem de atividade antioxidante (AA%), conforme a Equação 1.

$$AA\% = 100 - \{[(\text{Abs. amostra} - \text{Abs. branco}) \times 100] \div \text{Abs. controle}\} \quad (1)$$

A determinação foi realizada em espectrofotômetro UV Visível Agilent Technologies, modelo 8453E em comprimento de onda de 515 nm. Após a avaliação da faixa de concentração ideal, foi calculada a concentração de extrato necessária para capturar 50% do radical livre DPPH (IC<sub>50</sub>) por análise de regressão linear (Silvestri et al., 2010).

### **2.3 Filmes de Interfolhamento**

Para avaliar as melhores formulações para o desenvolvimento de filmes de interfolhamento, foram desenvolvidos diferentes tipos de filmes a base acetato de celulose (com e sem sol-gel), amido de milho e quitosana.

#### **2.3.1. Filmes de acetato de celulose com extrato de chá verde**

A SF foi vertida em placas de vidro de 15 x 15 cm previamente higienizadas com álcool 70 % em um volume médio de 10 mL. A secagem ocorreu quase instantaneamente, em condições ambientais, pela evaporação da acetona. Posteriormente, os filmes foram retirados das placas e armazenados em recipientes lacrados à temperatura de 4 °C até as análises posteriores.

##### **2.3.1.1 Encapsulamento do extrato em sol-gel para filme a base de acetato de celulose**

Realizou-se o emprego da técnica sol-gel para encapsular o extrato de chá verde em filme de acetato de celulose visando a liberação controlada do extrato. A metodologia empregada foi adaptada da descrita por Soares et al. (2006). Inicialmente, 5 mL de Tetraetil ortosilicato (TEOS) foram dissolvidos em 5 mL de etanol absoluto. Após a dissolução, adicionou-se 1,61 mL de água destilada com extrato diluído e três gotas do catalisador, em uma proporção molar de água e TEOS de 4:1. Como catalisadores da reação de condensação utilizou-se ácido clorídrico (ácido), hidróxido de amônio (básico) e ácido bromídrico (nucleofílico), concentrado, 98%PA. Posteriormente, os sistemas reacionais foram submetidos a uma etapa de agitação, em agitador orbital (shaker), a 40 °C, 180 rpm, por um período de 90 min. com extrato de chá verde (1,0, 2,5 e 5% m/v).

Nas reações conduzidas em meio ácido e nucleofílico foi adicionado 1,75 mL da solução hidrolisante (0,25 mL de hidróxido de amônio dissolvidos em 1,5 mL de etanol).

Em seguida, os sistemas reacionais foram mantidos em condições estáticas por 24 h para completar a condensação química. Após este tempo, o suporte foi acondicionado em dessecador a vácuo por mais 24 h para completa secagem e evaporação da água. Posteriormente os imobilizados foram triturados e peneirados, de modo a padronizar a granulometria. Estes imobilizados foram usados para a formulação dos filmes de acetato de celulose + sol gel com extrato de chá verde (1,0, 2,5 e 5% m/v).

### 2.3.2 Filmes de Interfolhamento de Amido com Extrato de Chá Verde

Os filmes de amido de milho foram obtidos a partir de uma solução contendo 3,5% de amido de milho (p/v), 35% de glicerol (p/p) (Proton Química®) como agente plastificante, suspensos em água destilada. Os componentes foram misturados e aquecidos gradualmente sob agitação em banho-maria, até atingir a temperatura de 70°C sendo a mesma mantida por 10 minutos.

As soluções filmogênicas (SF) foram resfriadas até a temperatura de 35 °C para ser feita a adição do extrato de chá verde (Duas Rodas®, São Paulo, Brasil), nas proporções 1,0, 2,5 e 5,0 % (m/v). As SF foram vertidas em panela de teflon de 15 x 15 cm previamente higienizadas com álcool 70%, objetivando a formação de filmes com espessura homogênea, sendo posteriormente submetidas à secagem em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 40 °C por 24 h. Passado este período, os filmes foram retirados das placas e armazenados em recipientes devidamente fechados à temperatura de 4 °C até as análises posteriores.

## 2.4 Avaliação dos Filmes de Interfolhamento

### 2.4.1 Cinética de Atividade Antioxidante dos Filmes de Interfolhamento

Avaliou-se a liberação do extrato de chá verde *in vitro* através da determinação da atividade antioxidante durante o armazenamento de filmes de interfolhamento a base de acetato de celulose com extrato de chá verde encapsulado em sol-gel e livre, filmes a base de amido de milho e filmes a base de quitosana.

Os filmes foram imersos em 20 mL de etanol, com agitação contínua de 220 rpm em shaker orbital por 60 dias (35 dias para acetato de celulose com e sem sol gel), protegidos da luz, em temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C. O líquido residual de cada amostra foi submetido a determinação de atividade antioxidante (DPPH) a cada 7 dias.

A metodologia para avaliação da atividade antioxidante, foi a mesma descrita no item 2.2.2.

Os resultados médios de  $IC_{50}$  dos diferentes filmes de interfolhamento com 1,0% de extrato de chá verde foram submetidos a ANOVA seguida de teste de Tukey com 95% de confiança.

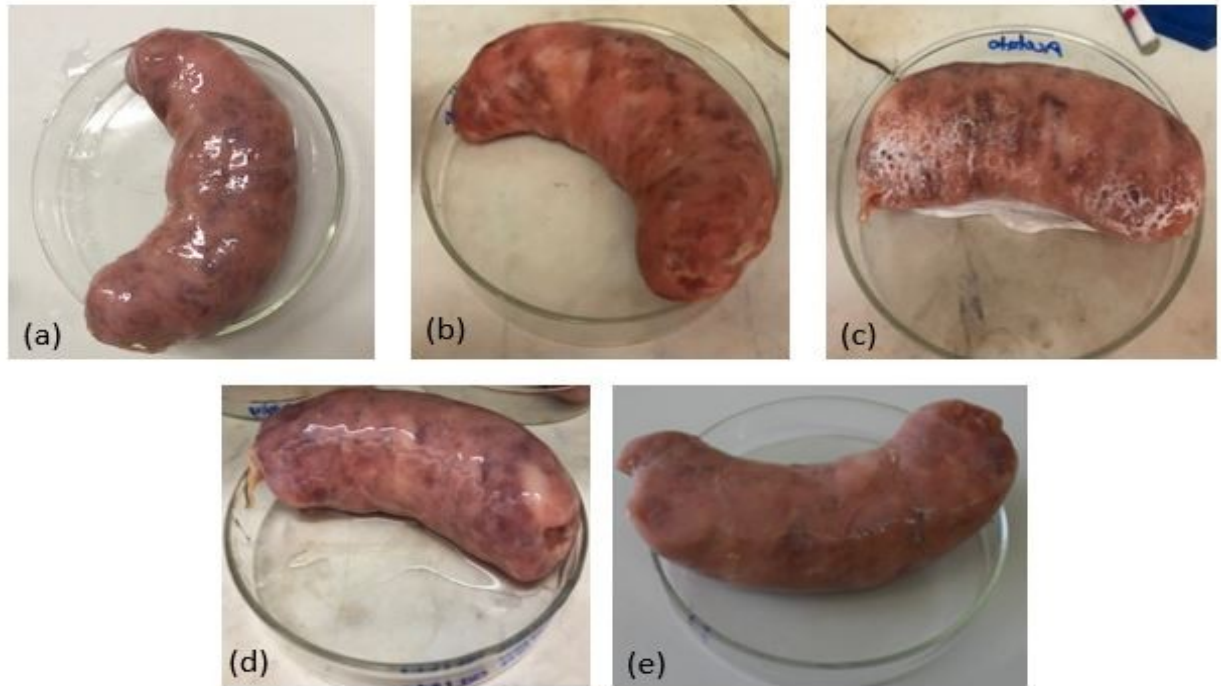
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Avaliação de Filmes de Recobrimento com Diferentes Formulações**

A Figura 2 apresenta as amostras de linguiças frescas e a descrição e avaliação subjetiva da aplicação das diferentes soluções filmogênicas obtidas a partir dos diferentes biopolímeros proteicos e polissacarídicos como filme de recobrimento.

Observa-se que após a imersão das linguiças nas soluções filmogênicas, estas apresentaram alteração de cor e aparência. Segundo Shavisi et al. (2017), a propriedade da cor dos filmes comestíveis é um dos fatores mais importantes em termos de aparência geral dos produtos alimentícios e aceitação do consumidor. Porém devido à sua biodegradabilidade, não-toxicidade e propriedades biológicas, muitos polímeros naturais, tais como quitosana, amido, argila, pectina e outros biopolímeros são usados em embalagens de alimentos (Pereira et al., 2014).

**Figura 2** - Diferentes soluções filmogênicas aplicadas em linguiça frescal a base de fécula de mandioca (a), quitosana (b), acetato de celulose (c), amido de milho (d) e gelatina (e).



Fonte: O Autor, 2019.

A avaliação subjetiva dos filmes de recobrimento aplicados em linguiça frescal é apresentada na Tabela 1.

As amostras de linguiças que foram imersas em solução filmogênica de amido de milho e fécula de mandioca ficaram brilhantes e com a cor característica de uma linguiça frescal, porém ficaram com uma camada pegajosa, mesmo após o período de descanso para secagem e aderência do filme. Normalmente, filmes baseados em biopolímeros são altamente sensíveis às condições ambientais e geralmente apresentam baixa resistência mecânica.

Ao empregar a solução de acetato, observou-se alteração na coloração das linguiças, apresentando cor avermelhada como se estivesse ocorrido um processo de alteração de coloração das proteínas e o filme não aderiu de forma adequada ao produto, apresentando irregularidades. Mesmo comportamento foi observado com o uso da solução de quitosana, com alteração de cor (avermelhada), e também com acetato, porém a aderência do filme foi adequada. Rubilar et al. (2013), também descrevem ocorrência

de vermelhidão em filme de quitosana. Os produtos imersos em solução de quitosana e acetato ficaram com a aparência de um produto seco e não frescal.

**Tabela 1** - Avaliação subjetiva da aplicação das diferentes soluções filmogênicas como filme de recobrimento em linguiça frescal.

<b>Formulação</b>	<b>Continuidade</b>	<b>Homogeneidade</b>	<b>Manuseabilidade</b>	<b>Descrição</b>
<b>Fécula de mandioca</b>	Deficiente	Excelente	Deficiente	Aspecto pegajoso, manuseabilidade alterada, baixa aderência ao produto e continuidade prejudicada. Coloração característica do produto.
<b>Quitosana</b>	Excelente	Deficiente	Bom	Filme com boa aderência ao produto, porém apresentou alteração na coloração do produto devido a cor característica do filme. Apresentou também uma manuseabilidade alterada devido ao aspecto de seco.
<b>Acetato de celulose</b>	Deficiente	Deficiente	Bom	Produto com alteração de cor devido a coloração característica do filme e baixa aderência do filme ao produto, apresentando continuidade prejudicada.
<b>Amido de milho</b>	Deficiente	Excelente	Deficiente	Aspecto pegajoso-manuseabilidade alterada, baixa aderência ao produto-continuidade prejudicada. Coloração característica do produto.
<b>Gelatina</b>	Excelente	Excelente	Excelente	Boa aderência ao produto, cor característica do produto, sem aspecto de pegajoso e ou seco.

Por outro lado, o produto imerso em solução de gelatina obteve boa adesão ao filme, não apresentou alteração de cor ou perda da característica frescal da linguiça. Visualmente, os filmes quitosana e gelatina puros tiveram uma aparência levemente amarela e branca, respectivamente, o que foi observado também por autores como Shavisi (2017).



Devido as propriedades dos filmes de gelatina, autores como Musso et al. (2016), selecionaram esta, uma vez que seus filmes são incolores ao contrário dos filmes proteicos vegetais que geralmente apresentam determinada cor, inerentes aos compostos não proteicos extraídos conjuntamente com proteínas. Esse biopolímero natural, que pode ser derivado do colágeno, ganhou mais atenção como material para filmes comestíveis. Películas comestíveis de gelatina preparadas a partir de pele bovina e suína apresentam alta resistência à perfuração, baixa deformação por punção e alta permeabilidade ao vapor de água. Geralmente, as propriedades do filme variam dependendo da fonte de gelatina, plastificante e outros fatores (Toungnuanchan et al., 2012).

A gelatina tem sido extensivamente estudada por sua capacidade de formar filmes com boas propriedades mecânicas e funcionais e utilidade como barreira externa, protegendo os alimentos da secagem, exposição ao oxigênio e à luz (Suderman et al., 2018). Segundo Dou et al. (2018), a gelatina é a mais amplamente utilizada em embalagens comestíveis devido à sua excelente capacidade de formação de filme, abundância, segurança, baixo ponto de fusão, biodegradabilidade e propriedades de barreira a gases.

Ao analisar a alteração de coloração e aparência das linguças frescas após a aplicação das diferentes soluções filmogênicas, o filme a base de gelatina obteve melhores resultados para estes atributos, sem alterar a característica de produto fresco. Alguns autores avaliam propriedades ópticas (cor, transparência e brilho) de filmes e revestimentos como fatores que podem ter um grande impacto na aparência do produto alimentício e, portanto, na aceitabilidade do consumidor (Atarés & Chilralt, 2016).

Os resultados da cinética de atividade antioxidante dos filmes de gelatina com diferentes concentrações de chá verde são apresentados na Tabela 2.

Observa-se uma redução nos valores de  $IC_{50}$  entre 0 1º e 14º dia de armazenamento indicando maior liberação do chá neste período. Após 21 dias de armazenamento, observa-se tendência de aumento nos valores de  $IC_{50}$ , indicando redução da atividade causada pela extração do chá do filme com o passar do tempo. Independentemente do tempo de armazenamento, filmes com adição de 1% de extrato de chá verde apresentaram maior atividade antioxidante e o aumento da concentração de extrato acima da concentração de 1% não apresentou aumento na atividade antioxidante, sendo um resultado positivo em relação a concentração ideal para ação antioxidante

liberada pelo filme e características do filme, pois a adição do extrato altera cor e aparência do filme de forma proporcional a sua concentração.

**Tabela 2** – Cinética de atividade antioxidante ( $IC_{50}$  e equações da reta) no armazenamento de filmes de gelatina com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Tempo (dias)	Concentração de chá verde (%)					
	1,0		2,5		5,0	
	$IC_{50}$	Equação Reta	$IC_{50}$	Equação Reta	$IC_{50}$	Equação Reta
1	<b>1,01</b>	$y=42,334x+7,198$ $r^2=0,8106$	<b>1,00</b>	$y=41,424x+8,540$ $r^2=0,8538$	<b>1,18</b>	$y=35,349x+9,4614$ $r^2=0,9331$
7	<b>0,69</b>	$y=56,012x+11,269$ $r^2=0,8413$	<b>0,73</b>	$y=25,061x+31,563$ $r^2=0,8812$	<b>1,1</b>	$y=17,67x+30,056$ $r^2=0,8778$
14	<b>0,67</b>	$y=47,062x+18,443$ $r^2=0,8171$	<b>0,91</b>	$y=36,338x+17,01$ $r^2=0,8238$	<b>0,83</b>	$y=27,68x+27,062$ $r^2=0,9362$
21	<b>0,76</b>	$y=55,021x+8,0793$ $r^2=0,9275$	<b>1,02</b>	$y=22,696x+26,85$ $r^2=0,7622$	<b>1,14</b>	$y=23,55x+23,22$ $r^2=0,9504$
28	<b>0,87</b>	$y=48,56x+7,7255$ $r^2=0,8227$	<b>1,20</b>	$y=15,1x+31,88$ $r^2=0,8519$	<b>1,17</b>	$y=31,316x+13,36$ $r^2=0,8403$
35	<b>0,98</b>	$y=51,770x-0,735$ $r^2=0,9319$	<b>1,21</b>	$y=32,627x+10,521$ $r^2=0,8446$	<b>1,24</b>	$y=28,745x+14,356$ $r^2=0,905$

### 3.2. Avaliação dos Filmes de Interfolhamento

#### 3.2.1. Filmes de acetato de celulose com extrato de chá verde

Filmes a base de acetato de celulose têm sido produzidos e utilizados em alimentos, visto que já se mostraram eficientes na produção de filmes, ainda que nem sempre permitindo a liberação do composto ativo da embalagem (Ugalde et al., 2017).

Ao adicionar o extrato de chá verde ao filme, observou-se que, mesmo em concentrações elevadas, o filme não apresentou alteração de coloração, cheiro e transparência (Figura 3). O filme manteve as características de resistência mecânica e visuais. A partir deste polímero é possível formar filmes transparentes, essencialmente rígidos, ou seja, que suportam alta tensão a temperatura ambiente, e com certa flexibilidade (Cerqueira et al., 2010).

**Figura 3** – Aspecto visual do filme de interfolhamento de acetato de celulose em chá.

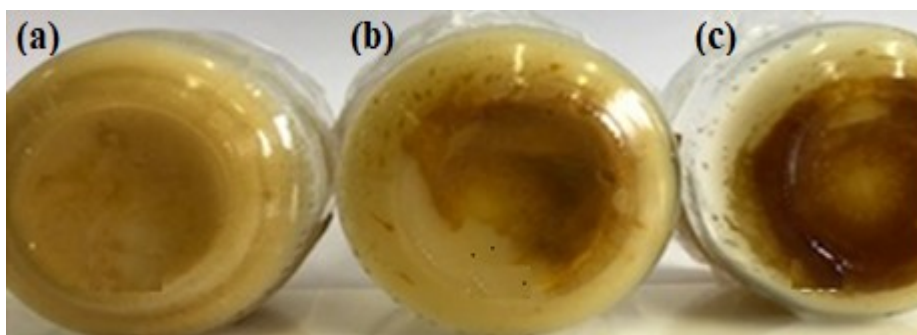


Fonte: O autor, 2019.

#### 3.2.1.1. Encapsulamento do extrato em sol-gel para filme a base de acetato de celulose

O encapsulamento do extrato de chá verde pela técnica de sol-gel para posterior adição em filme de acetato de celulose mostrou que o agente nucleofílico (ácido bromídrico) apresentou a melhor homogeneização e incorporação do extrato. Com isso, este agente encapsulante foi selecionado para a continuidade do trabalho. Os demais agentes (ácido e básico) formaram aglomerados e apresentaram baixa homogeneização e incorporação de extrato. Após a condensação e secagem, obteve-se um pó compacto como apresentado na Figura 4.

**Figura 4** – Aspecto visual do sol-gel com 1% (a), 2,5% (b) e 5% (c) de extrato de chá verde.



Fonte: O autor, 2019.

De forma a avaliar o processo de retenção do extrato de chá e liberação contínua no filme de acetato, seguiu-se a avaliação da cinética de armazenamento e liberação com o tempo.

### 3.2.1.2 Cinética de atividade antioxidante dos filmes de acetato de celulose

A Tabela 3 apresenta os resultados de atividade antioxidante (IC<sub>50</sub>) dos filmes de acetato de celulose com extrato de chá verde livre e encapsulado em matriz de sol-gel, durante o armazenamento por 35 dias. Tanto nos filmes de acetato de celulose com chá verde livre ou em sol-gel, os valores de IC<sub>50</sub> no primeiro dia foram altos em todas as concentrações. Este resultado indica a menor liberação inicial dos compostos ativos dos filmes.

**Tabela 3** – Equações da reta e IC<sub>50</sub> (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de acetato de celulose com extrato de chá verde livre e encapsulado em Sol-Gel.

Tempo (dias)	Concentração de Extrato (%)					
	1,0		2,5		5	
<b>Filme de acetato de celulose com extrato de chá verde livre</b>						
	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta
1	7,65	y=1,5453x+6,3288 R <sup>2</sup> =0,9306	22,73	y=1,9531x+5,606 R <sup>2</sup> =0,9331	19,81	y=1,9195x+11,962 R <sup>2</sup> =0,826
7	6,84	y=1,5453x+4,8517 R <sup>2</sup> =0,9306	16,00	y=2,8535x+4,3311 R <sup>2</sup> =0,9778	14,02	y=2,4613x+15,48 R <sup>2</sup> =0,8572
14	6,32	y=7,1397x+4,8517 R <sup>2</sup> =0,9731	10,71	y=4,0937x+6,1703 R <sup>2</sup> =0,9617	14,30	y=3,5092x-0,1687 R <sup>2</sup> =0,9511
21	13,24	y=3,2528x+6,9197 R <sup>2</sup> =0,8991	15,20	y=2,9453x+5,235 R <sup>2</sup> =0,965	15,60	y=2,4320x+12,072 R <sup>2</sup> =0,9446
28	12,45	y=3,3178x+8,6751 R <sup>2</sup> =0,8681	16,04	y=2,813x+4,8652 R <sup>2</sup> =0,9837	15,90	y=3,0831x+0,9719 R <sup>2</sup> =0,8973
35	14,68	y=2,808x+8,7769 R <sup>2</sup> =0,9375	22,81	y=2,0348x+3,5861 R <sup>2</sup> =0,7985	16,17	y=6,2985x+9,2315 R <sup>2</sup> =0,8926
<b>Filme de acetato de celulose com extrato de chá verde encapsulado em sol-gel</b>						
1	134,97	y=0,3442x+3,5448 r <sup>2</sup> =0,997	288,67	y=0,1719x+0,3638 r <sup>2</sup> =0,9941	220,76	y=0,1905x+7,9389 r <sup>2</sup> =0,9277
7	67,57	y=0,6989x+2,7731 r <sup>2</sup> =0,8914	79,41	y=0,3764x+20,108 r <sup>2</sup> =0,969	79,86	y=0,5823x-3,4924 r <sup>2</sup> =0,9577
14	60,02	y=0,836x-0,187 r <sup>2</sup> =0,9968	74,12	y=0,5829x+6,7965 r <sup>2</sup> =0,9466	81,66	y=0,454x+12,915 r <sup>2</sup> =0,9308
21	53,38	y=0,8321x+5,5734 r <sup>2</sup> =0,9618	74,30	y=0,2747x+29,59 r <sup>2</sup> =0,8422	89,28	y=0,4987x+9,1409 r <sup>2</sup> =0,9741
28	51,57	y=0,5935x+19,393 r <sup>2</sup> =0,9047	71,69	y=0,6153x+5,8885 r <sup>2</sup> =0,9234	71,80	y=0,5691x+9,1409 r <sup>2</sup> =0,9371
35	56,16	y=0,763x+7,1524 r <sup>2</sup> =0,9266	80,72	y=0,5341x+6,872 r <sup>2</sup> =0,9068	85,90	y=0,5351x+4,0331 r <sup>2</sup> =0,964

Aos 7 e 14 dias, os valores de IC<sub>50</sub> tendem a serem menores no filme de acetato de celulose com chá verde livre, com posterior aumento nos valores de IC<sub>50</sub> (redução da atividade antioxidante) nos demais tempos, independentemente da concentração de chá

verde nos filmes. Estes dados podem estar relacionados ao comportamento de encapsulamento e liberação do chá na matriz polimérica. Observa-se também uma maior atividade antioxidante dos filmes com 1,0% de extrato de chá verde em comparação com as concentrações de 2,5 e 5,0% (m/v de solução filmogênica).

Os filmes com extrato de chá verde encapsulado em sol-gel apresentaram valores de  $IC_{50}$  maiores (5 a 10 vezes em comparação com filmes de acetato), ainda que a liberação do extrato de chá verde tenha sido mais homogênea a partir do 7º dia de armazenamento. Nestes filmes também a concentração de 1,0% apresentou menor  $IC_{50}$  em relação às demais analisadas, demonstrando não haver melhora na atividade antioxidante dos filmes com o aumento da concentração de extrato de chá verde nos filmes.

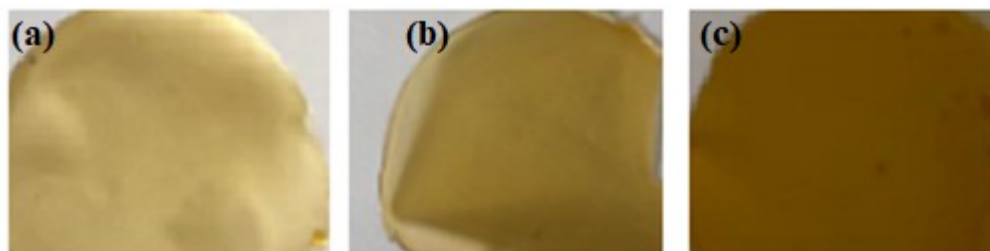
Com base nesses resultados, pode-se verificar que um estudo mais aprofundado da técnica de encapsulamento do extrato de chá verde em sol-gel deve ser realizado, para avaliação de um possível filme com extrato encapsulado promissor a ser empregado em alimentos. Em determinadas situações, uma incorporação direta de antimicrobianos e ou antioxidantes em filmes ativos pode ser menos efetiva devido à rápida migração para o volume de alimento ou reação com os componentes alimentares (Iturriaga et al., 2012).

Considerando que os filmes de acetato de celulose com ou sem sol-gel não se caracterizam como biodegradáveis e pela não apresentação uma melhoria na liberação do extrato de chá verde e conseqüentemente não aumento da propriedade antioxidante no período de armazenamento avaliado, considerou-se os resultados como insatisfatórios para a produção de filmes ativos para interfolhamento de produtos cárneos.

### 3.2.2. Filmes de amido com extrato de chá verde

O filme de interfolhamento a base de amido de milho apresenta excelentes características para ser utilizado como embalagens plásticas biodegradáveis devido a abundância da matéria-prima e degradabilidade do filme (Pelissari, 2009). A Figura 5 apresenta o aspecto visual das formulações de filme com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde, demonstrando diferenças na coloração conforme a quantidade de chá adicionada. Entretanto, este atributo de intensificação de coloração é menos relevante em filmes de interfolhamento, em relação a filmes de recobrimento ou de embalagens ativas.

**Figura 5** - Aspecto visual de filmes comestíveis a base de amido de milho e glicerol, com 1% (a), 2,5% (b) e 5% (c) de extrato de chá verde.



Fonte: O autor, 2020.

Para avaliar a relação da quantidade de chá adicionado e a capacidade antioxidante, realizou-se a determinação *in vitro* da atividade de antioxidante ao longo do tempo.

### 3.2.2.1. Cinética de Atividade Antioxidante do Filme de Amido

Os resultados da cinética de atividade antioxidante do extrato etanólico referente ao filme de amido adicionado de extrato de chá verde estão apresentados na Tabela 4.

Os resultados de atividade antioxidante dos filmes de amido com as diferentes concentrações de chá verde indicam menor variação dos valores de IC<sub>50</sub>, tanto nos dias de armazenamento como entre as concentrações testadas. Assim como nos filmes anteriormente testados, observa-se uma menor liberação do extrato no 1º dia, com liberação mais homogênea do mesmo a partir do 14º dia de armazenamento.

**Tabela 4** – Equações da reta e IC<sub>50</sub> (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de amido.

Tempo (dias)	Concentração de chá verde (%)					
	1		2,5		5	
	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta
1	0,13	y=401,09x - 2,1417 r <sup>2</sup> =0,9108	0,130	y=368,4x+2,108 r <sup>2</sup> =0,9419	0,134	y=303,9x+9,2774 r <sup>2</sup> =0,9579
7	0,05	y=1004,7x - 0,235 r <sup>2</sup> =0,9238	0,057	y=690,6x+10,6358 r <sup>2</sup> =0,9828	0,062	y=412,6x+24,4188 r <sup>2</sup> =0,9212
14	0,04	y=2209,3x - 38,372 r <sup>2</sup> =0,9408	0,035	y=1115,1x+10,9715 r <sup>2</sup> =0,9784	0,026	y=1315,2x+15,8048 r <sup>2</sup> =0,9973
21	0,05	y=1320,2x - 16,010 r <sup>2</sup> =0,6383	0,046	y=802,7x+13,0758 r <sup>2</sup> =0,9167	0,057	y=2791,5x - 109,1155 r <sup>2</sup> =0,9922

<b>28</b>	<b>0,06</b>	$y=1142,7x - 18,520$ $r^2=0,9444$	<b>0,059</b>	$y=808,3x+2,3103$ $r^2=0,9304$	<b>0,054</b>	$y=3232,4x - 124,5496$ $r^2=0,8397$
<b>35</b>	<b>0,08</b>	$y=1045,1x - 33,608$ $r^2=0,636$	<b>0,072</b>	$y=583,9x+7,9592$ $r^2=0,9518$	<b>0,061</b>	$y=4401,7x - 218,5037$ $r^2=0,8789$
<b>42</b>	<b>0,14</b>	$y=2137,1x - 249,194$ $r^2=0,9621$	<b>0,096</b>	$y=316,2x+19,6448$ $r^2=0,9485$	<b>0,123</b>	$y=374,5x+3,9365$ $r^2=0,9522$
<b>60</b>	<b>0,15</b>	$y=2092,1x - 263,815$ $r^2=0,9389$	<b>0,138</b>	$y=521,2x - 21,9256$ $r^2=0,939$	<b>0,134</b>	$y=2811,3x - 326,7142$ $r^2=0,9309$

De maneira geral, os valores de IC<sub>50</sub> dos filmes de amido com 1% de extrato de chá verde são menores ou semelhantes aos valores com as demais concentrações nos diferentes tempos de armazenamento, indicando que esta concentração é suficiente para obtenção de atividades antioxidantes elevadas.

### 3.2.3 Filmes de quitosana com extrato de chá verde

O filme a base de quitosana é considerado promissor pela sua biodegradabilidade, atividade antimicrobiana, não-toxicidade e baixa permeabilidade ao oxigênio (Kanatt et al., 2012; Noorbakhsh-Soltani et al., 2018). Além disso, suas estruturas lineares originam filmes resistentes, flexíveis e transparentes (Lopez et al., 2017), como os obtidos neste trabalho.

Os resultados de atividade antioxidante dos filmes de quitosana incorporados com diferentes concentrações de extrato de chá verde encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5** – Equações da reta e IC<sub>50</sub> (mg/mL) para os diferentes tempos de armazenamento do filme de quitosana.

Tempo (dias)	Concentração de Chá verde (%)					
	1		2,5		5	
	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta
<b>1</b>	<b>0,66</b>	$y = 66,134x + 6,3641$ $R^2 = 0,9804$	<b>1,76</b>	$y = 28,36x + 0,1287$ $R^2 = 0,9905$	<b>2,20</b>	$y = 22,206x + 1,0623$ $R^2 = 0,9441$
<b>7</b>	<b>0,27</b>	$y = 178,49x + 1,6979$ $R^2 = 0,9881$	<b>0,63</b>	$y = 71,211x + 4,1421$ $R^2 = 0,9618$	<b>2,24</b>	$y = 20,03x + 3,2805$ $R^2 = 0,9908$
<b>14</b>	<b>0,25</b>	$y = 177,37x + 4,9425$ $R^2 = 0,9803$	<b>0,66</b>	$y = 66,518x + 6,1563$ $R^2 = 0,9759$	<b>1,84</b>	$y = 24,663x + 4,681$ $R^2 = 0,9571$
<b>21</b>	<b>0,26</b>	$y = 176,25x + 3,9007$ $R^2 = 0,9848$	<b>0,64</b>	$y = 71,868x + 3,8851$ $R^2 = 0,9749$	<b>1,22</b>	$y = 36,254x + 5,7913$ $R^2 = 0,9725$
<b>28</b>	<b>0,25</b>	$y = 179,14x + 5,0398$ $R^2 = 0,9921$	<b>0,65</b>	$y = 68,341x + 5,3554$ $R^2 = 0,9954$	<b>1,14</b>	$y = 38,862x + 5,4306$ $R^2 = 0,953$
<b>35</b>	<b>0,26</b>	$y = 174,84x + 5,3572$ $R^2 = 0,9921$	<b>0,66</b>	$y = 70,341x + 3,4355$ $R^2 = 0,9954$	<b>1,16</b>	$y = 37,625x + 6,2487$ $R^2 = 0,953$

42	0,25	$y = 179,14x + 5,0398$ $R^2 = 0,9921$	0,66	$y = 69,34x + 4,3211$ $R^2 = 0,9537$	1,22	$y = 35,152x + 7,1958$ $R^2 = 0,9605$
60	0,30	$y = 174,39x + 1,6133$ $R^2 = 0,9986$	0,64	$y = 73,132x + 3,1935$ $R^2 = 0,9664$	1,64	$y = 28,738x + 2,8483$ $R^2 = 0,9758$

Observa-se uma redução inicial dos valores de IC<sub>50</sub> entre o primeiro e sétimo dia de armazenamento dos filmes, principalmente nas concentrações de 1 e 2,5% com posterior manutenção da atividade antioxidante ao longo do tempo, indicando uma liberação controlada do extrato de chá verde. A concentração de 1,0% de extrato de chá verde propiciou os menores valores de IC<sub>50</sub>, com correlação inversa entre concentração de extrato no filme e atividade antioxidante, resultado semelhante ao ocorrido com o filme de acetato de celulose.

Como a quitosana contém hidroxila e grupos amina (Bonilla et al., 2014), estes podem estar interagindo com compostos presentes no extrato de chá verde. Shetta et al. (2019), com resultados semelhantes, apresentaram como um possível fator a presença do agente de reticulação, tripolifosfato (TPP), que mascara os grupos amino para filmes elaborados de quitosana com chá verde encapsulado, sendo responsáveis pela reação com moléculas de DPPH. Os autores avaliaram que a interação do filme com o agente encapsulante e o extrato adicionado pode melhorar ou reduzir, tanto a liberação quando a atividade antioxidante do filme.

### 3.2.4 Comparação de atividade antioxidantes entre os diferentes filmes de interfolhamento

A Tabela 6 apresenta um comparativo da cinética de atividade antioxidante dos diferentes filmes de interfolhamento com 1% de extrato de chá verde.

**Tabela 6** - Atividade antioxidante comparativa entre filmes de acetato de celulose, acetato de celulose com sol-gel, amido e quitosana, incorporados com 1% de extrato de chá verde, em diferentes tempos de armazenamento dos filmes à vácuo.

Tempo (dias)	IC <sub>50</sub> (mg/mL)			
	Acetato de celulose	Acetato + Sol-Gel	Amido	Quitosana
1	7,65	134,97	0,13	0,66
7	6,84	67,57	0,05	0,27
14	6,32	60,02	0,04	0,25
21	13,24	53,38	0,05	0,26



<b>28</b>	12,45	51,57	0,06	0,25
<b>35</b>	14,68	56,16	0,08	0,25
<b>42</b>	*	*	0,14	0,25
<b>60</b>	*	*	0,15	0,30
<b>Média</b>	10,20 <sup>b</sup> ± 3,67	70,61 <sup>a</sup> ± 32,04	0,09 <sup>d</sup> ± 0,04	0,31 <sup>c</sup> ± 0,13

\*Não realizado. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

Observa-se que o filme de acetato de celulose sem o encapsulamento em sol-gel teve um IC<sub>50</sub> médio 7 vezes menor em comparação com o filme de acetato com sol-gel como encapsulante do extrato de chá verde. Por outro lado, o filme de amido apresentou IC<sub>50</sub> ~300 vezes menor que o filme de acetato de celulose, com valores de IC<sub>50</sub> próximos ao do extrato não incorporado ao filme, demonstrando seu potencial para utilização como filme ativo, além de ser comestível e biodegradável. Já, o filme de quitosana, com IC<sub>50</sub> apenas 3 vezes maior que o filme a base de amido, também apresentou potencial para uso como filme ativo de interfolhamento com a incorporação de 1,0% de extrato de chá verde. A quitosana também possui propriedades plastificantes e biodegradabilidade, porém possui custo mais elevado em relação ao amido, cerca de 20 vezes maior.

#### 4. CONCLUSÃO

Diferentes formulações filmogênicas, a base de gelatina, amido, fécula, quitosana e acetato de celulose, foram desenvolvidas para obtenção de filmes ativos com extrato de chá verde para recobrimento de linguiça frescal, sendo que a gelatina apresentou melhores resultados por não provocar alteração de coloração e aparência do produto após a aplicação, com maior atividade antioxidante com a adição de 1% de extrato (m/v).

A atividade antioxidante dos filmes de interfolhamento em geral foi melhor na concentração de 1% de extrato de chá verde em relação as maiores concentrações avaliadas. A cinética de atividade antioxidante dos filmes de interfolhamento mostrou uma baixa liberação inicial e liberação contínua do extrato durante até 60 dias de armazenamento. Os filmes de acetato de celulose com o extrato de chá verde encapsulado em sol-gel e livre, apresentaram baixos valores de atividade antioxidante, e além disso, não são biodegradáveis. O filme a base de quitosana apresentou valores de IC<sub>50</sub> 3 vezes maior de o filme a base de amido, com a mesma concentração de extrato de chá verde. Já o filme de amido de milho com adição de 1% de chá verde apresentou

melhor liberação do extrato de chá verde e conseqüentemente melhor atividade antioxidante.

O filme que apresentou o melhor resultado para os estudos da cinética da atividade antioxidante foi o filme de amido de milho, o que indica que está componente apresenta-se como potencial filme de interfolhamento para utilização em produtos cárneos refrigerados quando adicionado de chá verde.

## 5. REFERÊNCIAS

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

BONILLA, J.; FORTUNATI, E.; ATARÉS, L.; CHIRALT, A. & KENNY, J. M. Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 463-470, 2014.

BRITO, G. F., AGRAWAL, P., ARAUJO, E. M., MELO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, e. 2, p. 127-139, 2011.

CARVALHO, D. M., TAKEUCHI, K. P., GERALDINE, R. M., MOURA, C. J., SILVEIRA, M. F. A. Active film of cellulose acetate incorporated with nanosuspension of curcumin. **Polímeros**, v. 27, p. 70-76, 2017.

CERQUEIRA, D. A., FILHO, G. R., CARVALHO, R. A., VALENTE, A. J. Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por HRMN. **Polímeros**, v. 20 n. 2, 85-91, 2010.

DOU, L. LI, B.; ZHANG, K.; CHU, X.; HOU, H. Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.118, n. B, p. 1377-1383, 2018.

FANG, R., REDFERN, S. P., KIRKUP, D., PORTER, E. A., KITE, G. C., TERRY, L. A., BERRY, M. J., SIMMONDS, M. S. J. Variation of theanine, phenolic, and methylxanthine compounds in 21 cultivars of *Camellia sinensis* harvested in different seasons. **Food Chemistry**, v. 220, p. 517–526, 2017.

GONTARD, N., GUILBERT, S., CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, v. 58, n.1, 206-211, 1993.

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

KULISIC, T.; RADONIC, A.; KATALINIC, V.; MILOS, M. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. **Food Chemistry**, v. 85, p. 633-640, 2004.

LOPEZ, D.; MARQUEZ, A.; GUTIERREZ-CUTINO, M.; VENEGAS-YAZIGI, D.; BUSTOS, R.; MATIACEVICH, S. & BUSTOS, R. Edible film with antioxidant capacity based on salmon gelatin and boldine. **Food Science and Technology**, v.77, p.160-169, 2017.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., YAMASHITA, F. Starch lms: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MESQUITA, R. A. **Desenvolvimento de biofilme comestível à base de gelatina e própolis para conservação de frutas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2015.

MUSSO, Y. S., SALGADO, P. R.; MAURI, A. N. Gelayin based films capable of modifying its color against environmental pH changes. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 523-530, 2016.

NOORBAKHSH-SOLTANI, S. M.; ZERAFAT, M. M. & SABBAGHI, S. A comparative study of gelatin and starch-based nanocomposite films modified by nanocellulose and chitosan for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 189, p. 48-55, 2018.

PEREIRA, V. A., ARRUDA, I. N. Q. DE; STEFANI, R. Active Chitosan/PVA Films with Anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for Application in Intelligent Food Packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 1, p. 180-188 2014.

RUBILAR, J. F.; CRUZ, R. M. S.; SILVA, H. D.; VICENTE, A. A.; KHMELISKII, I.; VIEIRA, M. C. Physic-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 466-474, 2013.

SHETTA, A.; KEGERE, J.; MAMDOUH, W. Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 731-742, 2019.

SILVESTRI, J. D.; PAROUL, N.; CZYEWski, E.; LERIN, L.; ROTAVA, I.; CANSIAN, R. L.; MOSSI, A.; TONIAZZO, G.; OLIVEIRA, D. DE; TREICHEL, H. Perfil da composição química e atividades antibacteriana e antioxidante do óleo essencial do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata* Thunb.). **Revista Ceres**. v.57, n.5, p. 589-594, 2010.

SUDERMAN, N. ISA, M. IN.; SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, v. 24, p. 111-119, 2018.

SOARES, M. F.; SANTOS, O. A. A.; CASTRO, H. F.; MORAES, F. Characterization of sol–gel encapsulated lipase using tetraethoxysilane as precursor. **Journal of Molecular Catalysis B. Enzymatic**. v.39, n. 1, p. 69-76, 2006.

TOUGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. & PRODPRAN, T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. **Food Chemistry**, v. 134, e.3, pg.1571-1579, 2012.

UGALDE, M. L., CEZARO, A. M. DE., VEDOVATTO, F., PAROUL, N., STEFFENS, J., VALDUGA, E., BACKES, G. T., FRANCESCHI, E., CANSIAN, R. L. Active starch biopolymeric packaging film for sausages embedded with essential oil of *Syzygium aromaticum*. **Journal of Food Science and Technology**, v.54, n.7, p. 2171–2175, 2017.

---

## CARACTERIZAÇÃO, ATIVIDADE ANTIBACTERIANA E ANTIOXIDANTE IN VITRO E EM LINGUIÇA FRESCAL DE FILME DE RECOBRIMENTO ATIVO A BASE DE GELATINA

### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicação de filmes comestíveis ativos a base de gelatina e extrato de chá verde para uso como recobrimento em linguiças frescas. Para tanto, foi determinada a atividade antioxidante por DPPH e antimicrobiana do extrato de chá verde, seguido da avaliação subjetiva de formulações com diferentes concentrações de gelatina e glicerol. A formulação com 15% de gelatina e 30% de glicerol foi caracterizada em relação a propriedades mecânicas, físicas, morfológicas e de cinética de atividade antioxidante. Linguiças recobertas com filme contendo 1% de extrato de chá verde foram avaliadas cineticamente em relação a acidez, pH, índice de peróxidos e TBARS, quando armazenadas com e sem vácuo. O extrato de chá verde apresentou ótima atividade antioxidante com  $IC_{50}$  de 0,088 mg/mL e concentração inibitória mínima-CIM entre 0,025 e >1,0 mg/mL. A formulação com 15% de gelatina e 30% de glicerol apresentou melhor aderência e aparência. A concentração de 1,0% de extrato de chá verde apresentou os menores valores de  $IC_{50}$ , mantendo a atividade durante os 35 dias avaliados (0,67 a 1,01 mg/mL). As propriedades mecânicas, físicas, morfológicas foram satisfatórias para aplicação do filme como recobrimento. Ocorreu decréscimo mais acentuado do pH, aumento da acidez e índice de peróxidos nas linguiças frescas sem filme em relação às recobertas com o filme ativo (1% de extrato de chá verde) durante o armazenamento, com ou sem vácuo. O uso do filme ativo foi capaz de manter índices significativamente mais baixos de TBARS em comparação com as amostras padrão e com recobrimento somente com gelatina a partir de 48 dias de armazenamento. As análises microbiológicas apresentaram resultados aceitáveis para consumo demonstrando não haver contaminação cruzada pela aplicação do filme ativo.

**Palavras-chave:** *Cammela sinensis*, filmes ativos, propriedade mecânicas, solubilidade.

### 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre embalagens ativas aumentaram nos últimos anos devido ao seu potencial em retardar a deterioração dos alimentos e estender a vida útil. Atualmente, o interesse por embalagens ativas incorporadas com extratos naturais tem sido enfatizado devido à incorporação de propriedade antioxidantes e aumento no *shelf life* e segurança dos produtos (Najwa et al., 2020).

Os filmes e coberturas possuem a função de inibir ou reduzir a migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, lipídios, aromas, dentre outros, pois promovem barreiras semipermeáveis. Além disso, podem transportar ingredientes alimentícios

como: antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes, e/ou melhorar a integridade mecânica ou as características de manuseio do alimento (Fakhouri et al., 2007).

A gelatina é um polímero proteico, obtida por hidrólise controlada do colágeno, que possui a capacidade de formar géis termo reversíveis a uma temperatura de fusão próxima de 35° C (López et al., 2017; Sarbon et al., 2013). Com base nestas características, pode ser empregada para desenvolver filmes de cobertura, além de permitir a incorporação de extratos com potencial antioxidante para prevenir alterações indesejáveis nos alimentos como os fenômenos oxidantes durante o armazenamento (Rangaraj et al., 2021).

O chá verde (*Camellia sinensis*) é uma boa fonte de compostos polifenólicos com forte propriedade antioxidante. Acredita-se que os efeitos benéficos dos compostos fenólicos resultem de sua capacidade de eliminar espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. Estudos relatam que o chá verde atrasa o início da oxidação lipídica em vários alimentos, incluindo óleo marinho, óleo de soja e óleo de linguiça fermentada (Siripatrawan & Harte, 2010). Como uma boa fonte de polifenóis, o extrato de chá verde pode ser usado como agente ativo e incorporado ao filme para fornecer essa capacidade antioxidante e aumentar a vida útil de produtos cárneos.

A carne é uma *commodity* alimentar perecível que requer processamento adequado e manuseio para estender a vida útil junto com refrigeração. Além disso, produtos de carne triturada são mais propensos a deterioração do que frescos, pois a cominuição aumenta a área de superfície e área de contato que expõe a carne ao ar (oxigênio) e aos microrganismos. A deterioração química é em grande parte devido à oxidação de lipídios e proteínas, com isso alternativas de preservação das ações químicas são estudadas com o intuito de aumentar a vida útil desses produtos (Umaraw et al., 2020).

Embora existam muitos trabalhos atuais na literatura sobre filmes ativos, inclusive com incorporação de chá verde, são escassos resultados de caracterização e aplicação de filme de recobrimento incorporado de extrato de chá verde e avaliação da aplicação em produto, não tendo sido encontrados trabalhos específicos em linguiça frescal. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver um filme ativo ecologicamente correto a base de gelatina incorporado de extrato de chá verde como um antioxidante natural. Para determinar se o filme desenvolvido teria potencial para ser utilizado como embalagem ativa, foram avaliadas solubilidade, as propriedades

mecânicas e a atividade antioxidante dos filmes incorporados como filmes de cobertura em produtos cárneos frescos e a sua ação frente as propriedades oxidantes desses produtos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Extrato de Chá Verde

O extrato de chá verde comercial (Duas Rodas®) foi gentilmente fornecido por um frigorífico abatedouro de suínos de grande porte, localizado na região sul do Brasil, sob o Serviço de Inspeção Federal, parceiro do projeto.

#### 2.1.1 Atividade antioxidante do extrato *in vitro*

A metodologia para avaliação da atividade antioxidante, foi baseada na medida da extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) em 515 nm, foi realizada em triplicata, por método espectrofotométrico (Kulisic et al., 2004). A técnica consiste na incubação, por 30 min., de 500 µL de uma solução etanólica de DPPH 0,1 mM, com 500 µL de soluções, contendo concentrações crescentes de extrato de chá verde em etanol. A solução denominada controle, foi preparada substituindo-se, 500 µL da amostra por 500 µL de etanol. A solução denominada “branco” foi preparada com as soluções em diferentes concentrações do extrato e etanol, sem DPPH.

O percentual de captação do radical DPPH foi calculado em termos da porcentagem de atividade antioxidante (AA%), conforme a Equação 1.

$$AA\% = 100 - \{[(\text{Abs. amostra} - \text{Abs. branco}) \times 100] \div \text{Abs. controle}\} \quad (1)$$

A determinação foi realizada em espectrofotômetro UV Visível (Agilent Technologies, modelo 8453E) em comprimento de onda de 515 nm. Após a avaliação da faixa de concentração ideal, foi calculada a concentração de extrato necessária para capturar 50% do radical livre DPPH (IC<sub>50</sub>) por análise de regressão linear (Silvestri et al., 2010). Os resultados foram expressos pela média aritmética dos valores obtidos em três repetições.

#### 2.1.2 Atividade antibacteriana do extrato *in vitro*

Para os testes de Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato de chá verde foram selecionados quatro microrganismos, duas bactérias Gram-positivas, *Listeria monocytogenes* (ATCC 7644) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e duas bactérias Gram-negativas, *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Salmonella enterica* serovar Choleraesuis (ATCC 10708), obtidas da American Type Culture Collection. As cepas foram crescidas previamente em meio Luria Bertani (LB) (10 g/L de triptona, 5 g/L de extrato de levedura e 5 g/L de NaCl) durante 24 h a  $36 \pm 1$  °C em estufa bacteriológica (J. Prolab JP 101). Após esse período a suspensão bacteriana correspondia a aproximadamente  $10^8$  células/mL.

Os testes de CIM foram realizados pela diluição seriada de 5 e 4 mg/mL iniciais de extrato de chá verde, em microplacas de ELISA com volume de 200 µL de meio LB, em seguida inoculou-se 10 µL de bactéria em cada diluição, realizou-se a leitura (0 h) em leitor de microplaca ELISA (Bio Tek Instruments EL 800) e incubou-se a placa por 24 h a  $36 \pm 1$  °C em estufa bacteriológica. Após esse período realizou-se a leitura da microplaca em leitor microplaca ELISA. A Concentração Inibitória Mínima (CIM) foi definida como a menor concentração do extrato em mg/mL, capaz de inibir o crescimento microbiano, medido pela diferença de absorvância entre 24 e 0 h de incubação de cada bactéria.

## 2.2 Obtenção do Filme de Gelatina

Para a formulação dos filmes de gelatina foram elaboradas 9 formulações, variando a concentração de gelatina, de 5 a 30%, e de glicerol de 10 a 45% (Tabela 1). Os filmes foram obtidos através de uma solução feita com adição de gelatina dissolvida em 39,8 mL em água a aproximadamente 90°C e agitação manual continua até dissolução total da gelatina (aproximadamente 10 min) (Mesquita, 2015). Em seguida, foi adicionado o glicerol e o extrato de chá verde (quando a solução atingiu temperatura de 40°C) e a solução foi novamente homogeneizada.

**Tabela 1** – Concentrações de gelatina e glicerol para a formulação de filmes de gelatina.

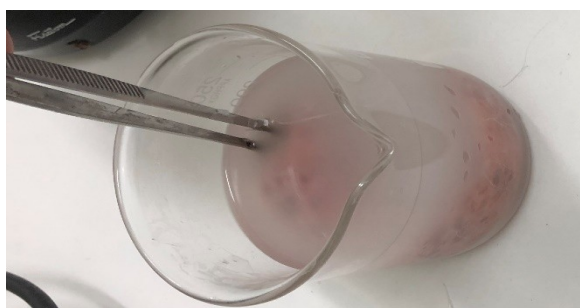
Formulações	Gelatina (%)	Glicerol (%)
1	5	30
2	5	45
3	5	10
4	15	30



5	15	45
6	15	10
7	30	30
8	30	45
9	30	10

Considerando que estes filmes serão avaliados para recobrimento do produto, optou-se por avaliar as características das diferentes formulações diretamente no produto, neste caso linguiça frescal. Desta forma, as amostras de linguiça foram mergulhadas (Figura 1), de forma asséptica, com auxílio de pinças nas soluções filmogênicas, e após, colocadas para secar sob refrigeração por 12h. As linguiças frescas de carne suína foram gentilmente cedidas por um frigorífico abatedouro de suínos localizado na região sul do Brasil, sob o Serviço de Inspeção Federal, no dia da sua fabricação, sendo transportadas até o local das análises devidamente acondicionadas em caixas de isopor com gelo.

**Figura 1-** Processo de recobrimento em linguiças frescas em solução filmogênica.



Fonte: O Autor, 2019.

Essas linguiças foram preparadas utilizando carne suína (retalho magro, pernil e retalho gordo) conforme descrição de proporção estabelecidas pelo Ministério da Agricultura. As carnes foram moídas em disco de 8mm, os condimentos misturados e embutidas em tripa natural de forma industrial (formulação sob responsabilidade da unidade fabril).

### **2.3 Cinética da Atividade Antioxidante (AA) *in vitro* do Filme de Gelatina**

Realizou-se a determinação da AA a cada 7 dias, durante 35 dias de armazenamento dos filmes protegidos da luz, em temperatura de 4 °C, para obtenção de uma cinética de atividade antioxidante, visando uma posterior avaliação da atividade do filme durante o armazenamento de embutidos frescos resfriados.

Após a avaliação das melhores concentrações gelatina/glicerol para formação do filme de cobertura foi realizada a adição do extrato comercial de chá verde nas concentrações de 1, 2,5 e 5% m/v de solução filmogênica (3,3; 8,3; e 16,6 % m/m de filme), além do controle sem extrato. Para a avaliação da migração do extrato verteu-se os filmes em placas de Petri previamente higienizadas, para a formação de filmes com espessura homogênea, sendo posteriormente submetidas à secagem em temperatura ambiente.

Cada filme foi então acondicionado sob agitação de 220 rpm em *shaker* orbital (Excella E25) em 10 mL de etanol (êxodo-científica CAS 64-17-5) por 24h à temperatura ambiente. Após este período, o líquido residual foi submetido a análise de atividade antioxidante (DPPH).

## 2.4 Caracterização dos filmes

Os filmes foram avaliados com relação a parâmetros subjetivos (avaliação subjetiva), espessura, propriedades óticas, propriedade mecânicas, umidade e solubilidade.

### 2.4.1 Propriedades óticas

a) Cor: A cor objetiva foi determinada em colorímetro CR-400 Minolta Chromameter (Minolta Cia Ltda.), no espaço CIE  $L^*a^*b^*$ , onde  $L^*$  é luminosidade,  $a^*$  é intensidade da cor vermelha e  $b^*$  é intensidade da cor amarela. As determinações foram realizadas utilizando 20 g de filmes secos.

O  $\Delta E$  foi avaliado pela diferença entre os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  de cada concentração testada em relação ao branco pela Equação 2.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad (2)$$

### 2.4.2 Estrutura morfológica (MEV)

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI/ Erechim, utilizando um microscópio marca Zeiss, modelo EVO LS25. Para o recobrimento da superfície das amostras com ouro foi utilizado um metalizador Quorum, SC 7620. As micrografias foram obtidas na tensão de 30 KV.

### 2.4.3 Umidade

A determinação de umidade foi realizada por método gravimétrico segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008), com adaptações, onde 1 g de cada amostra foi pesada e colocada em cadinhos previamente secos até peso constante, distribuídos em estufa de circulação de ar (Fanem Modelo 320 SE) a  $105^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e secos até peso constante. O percentual de umidade foi calculado pela Equação 4:

$$U\% = (100 * N) / P \quad (4)$$

Onde: U é a umidade percentual, N é a número de gramas de umidade (perda de massa em gramas) e P é o número de gramas da amostra.

### 2.4.4 Solubilidade em água e óleo

Nesta análise foi obtida a porcentagem de material seco do filme solubilizado em água após 24 horas de imersão (Gontard et al., 1994). Discos de 2,0 cm de diâmetro dos filmes foram cortados e secos a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24h em estufa, para a obtenção da porcentagem de material seco. Posteriormente as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e o sistema foi mantido durante 24 h à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , sob agitação (50rpm), utilizando uma mesa agitadora orbital (*shaker*). Após este período as amostras foram secas durante 24h à  $105^{\circ}\text{C}$ , em uma estufa com circulação e renovação de ar para determinar a massa seca final da amostra não solubilizada.

A solubilidade em óleo foi realizada seguindo o mesmo procedimento, porém substituindo a água por azeite de oliva extra virgem. Após o sistema ser mantido durante 24 h à  $25^{\circ}\text{C}$ , sob agitação (50rpm) constante, foi então realizada a retirada das amostras com uma pinça, sendo inseridas em papel filtro qualitativo com uma área de  $24\text{ cm}^2$ , onde permaneceram durante 2 h, para posteriormente ocorrer a secagem durante 24 h, a  $105^{\circ}\text{C}$ , em estufa com circulação e renovação de ar, para finalmente determinar a massa seca final da amostra não solubilizada.

## 2.5 Atividade Antibacteriana

O método de difusão em ágar foi executado como teste qualitativo para verificar a atividade antimicrobiana dos filmes. Esta análise foi conduzida segundo Rojas-Grau et al. (2006), com algumas adaptações. Os filmes produzidos com o extrato de chá verde

nas diferentes concentrações e sem a adição de extrato (controle), foram assepticamente cortados em discos de 7 mm e submetidos a radiação UV por 30 min de cada lado.

Posteriormente foram introduzidos em placas de Petri contendo ágar Mueller-Hinton (Merck®) previamente inoculadas com *S. aureus* (ATCC 25923), *L. monocytogenes* (ATCC 7644), *E. coli* (ATCC 25922) e *S. choleraesuis* (ATCC 10708) previamente crescidos em caldo LB durante 24 h a  $36 \pm 1$  °C. As culturas foram inoculadas por espalhamento nas placas num volume de 200 µL ( $10^8$  UFC/mL). Após a incubação das placas a  $36 \pm 1$  °C durante 24 h, os resultados foram analisados medindo-se o diâmetro do halo de inibição de crescimento das bactérias, incluindo o diâmetro do disco de filme (Figura 2) e os resultados foram expressos em milímetros pela média aritmética dos valores dos halos obtidos em três repetições.

**Figura 2** - Análise da atividade antimicrobiana dos filmes ativos. Placas de Agar após a colocação dos filmes com chá verde 1,0, 2,5 e 5,0%.



Fonte: O autor, 2020.

## 2.6 Aplicação do Filme de Gelatina com Chá Verde em Linguça Frescal

Tendo em vista o melhor desempenho nos testes *in vitro* dos filmes ativos de gelatina, com relação às suas atividades antibacteriana e antioxidante, bem como dos dados obtidos na cinética de ação antioxidante, estes foram aplicados como filmes de recobrimento em linguça frescal para avaliar a estabilidade do produto.

Os produtos recobertos com filmes ativos foram avaliados durante sua vida de útil com relação a quatro aspectos principais: oxidação lipídica, pH, acidez e qualidade microbiológica. As amostras de linguça frescal recobertas com os filmes ativos foram armazenadas sob refrigeração por 72 dias, sendo retiradas amostras, destrutivas, periodicamente para realização das análises. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para fins comparativos foi mantido um tratamento recoberto apenas com o

filme de gelatina, outro sem adição do filme de gelatina (padrão), sendo submetidos às mesmas análises.

#### 2.6.1 Oxidação Lipídica - TBARs

Para avaliar a extensão da oxidação lipídica ocorrida nos produtos embalados com e sem o biofilme ativo, o filme foi preparado conforme descrito acima e as linguças imersas na solução. Após a imersão as linguças foram deixadas sob repouso em varas até a solução secar. Após a secagem, por um período de mais ou menos 10 min, essas foram embaladas em embalagem plástica de polietileno, fornecidas pela unidade fabril onde os testes foram realizados e selada em seladora a vácuo, com um vácuo total de 3 milibar. Foram armazenadas em câmaras com temperatura controlada de 4°C, e transportadas em isopor com gelo até o laboratório da URI, a cada período de testa para avaliação oxidativa, as quais foram realizadas utilizando o teste das substâncias reativas ao ácido 2 tiobarbitúrico (TBA), de acordo com metodologia descrita por Papastergiadis et al. (2012), no que se refere à adição de sulfanilamida para as amostras que contém nitrito, com algumas adaptações. Foram adicionados 0,5 mL de butil-hidroxi-tolueno (BHT) 0,5% em um tubo contendo 5 g de amostra triturada. Em seguida, 2 mL de solução de sulfanilamida 0,5%, deixando em repouso por 10 min. Posteriormente, 18 mL de ácido tricloroacético (TCA) 5%, homogeneizando-se. Em uma alíquota de 2 mL do filtrado, foram adicionados 2 mL de ácido tiobarbitúrico TBA 0,08 M, sendo a reação conduzida em banho-maria (40 °C) por 1 h e 30 min. Posteriormente, realizou-se leitura em espectrofotômetro a 531 nm. A quantificação foi realizada frente a uma curva padrão de solução de 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) nas concentrações de  $1.10^{-8}$  a  $10.10^{-8}$  mol/mL. O resultado foi expresso em mg malonaldeído por kg de amostra.

#### 2.6.2 Índice de peróxido

O índice de peróxido foi determinado segundo metodologia descrita pelo ITAL (2005) com adaptações. Pesou-se 5 g da amostra adicionando-se 30 mL de uma solução de ácido acético clorofórmio (3:2) em agitação, adicionando-se 0,5mL de uma solução saturada de iodeto de potássio e foi deixado em repouso por 1 min. Depois foi adicionado 30 mL de água destilada e 0,5 mL de uma solução de amido como indicador, titulando-se a com solução padrão de tiosulfato de sódio a 0,01 N. O resultado foi expresso em meq de peróxido por kg de amostra.

### 2.6.3 pH

Foram utilizadas 10 g de cada amostra, homogeneizadas em 100 mL de água destilada, este homogeneizado submetido aos eletrodos do pHmetro durante 5 min, sendo procedida a leitura do pH (Dias et al., 2013).

### 2.6.4 Acidez

A determinação da acidez total foi realizada segundo metodologia descrita por Terra e Brum (1998). Inicialmente, 10 g de amostra foram diluídas em 200 mL de água destilada, trituradas durante 1 min e transferidas para um balão volumétrico de 250 mL, e o volume completado, a solução filtrada. Em seguida, foram transferidos 25 mL do filtrado e adicionado de 75 mL de água destilada juntamente com 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 1 %. Posteriormente, realizou-se a titulação com solução de hidróxido de sódio- NaOH 0,1N, até o ponto de viragem (surgimento da coloração rósea e/ou pH = 8,2). A acidez total foi expressa em g de ácido oléico por 100 g de amostra.

### 2.6.5 Qualidade microbiológica

A fim de verificar a qualidade microbiológica dos produtos, os mesmos foram submetidos à contagem padrão em placas, coliformes a 45 °C/g, *Salmonella* sp. e bactérias ácido lácticas, antes e após o período de armazenamento. As análises microbiológicas foram realizadas conforme metodologias descritas por Kornacki e Johnson (2001) e Silva et al. (2018).

Para estabelecer os padrões microbiológicos sanitários para alimentos, utilizou-se a resolução vigente RDC nº 331 e Instrução Normativa IN nº 60 de 23 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2019a,b).

## 2.7 Análise Estatística

Os resultados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa ASSISTAT®.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de avaliar a utilização do extrato de chá verde de forma tecnológica, devido aos vastos estudos de suas propriedades antioxidantes e

antimicrobianas, este trabalho apresenta a sua incorporação em filmes ativos para ser utilizado como aditivo alimentar e buscou avaliar o comportamento das reações de oxidação durante o armazenamento de produtos cárneos com a utilização desses biofilmes ativos a base de gelatina para recobrimento, adicionados de chá verde, composto antioxidante, rico em polifenóis. A fim de evitar a oxidação lipídica de linguiça frescal.

### **3.1 Extrato de Chá Verde**

#### **3.1.1 Atividade antioxidante do extrato de chá verde**

A partir do percentual de captação do radical DPPH, foi calculada a atividade antioxidante (AA) do extrato de chá verde. O extrato de chá verde apresentou um  $IC_{50}$  de 0,088 mg/mL, ( $y = 579,87x - 1,0023$ ;  $R^2 = 0,9439$ ), o qual pode ser considerado bom se comparado com antioxidantes por excelência como o ácido ascórbico ( $IC_{50} = 0,00215$  mg/mL) e o BHT ( $IC_{50} = 0,00537$  mg/mL) (Ugalde et al., 2016; Cansian et al., 2010).

Na literatura, encontram-se diversos estudos nos quais foi determinado a atividade antioxidante do chá verde e o conteúdo em compostos fenólicos totais e em flavonoides totais em extratos de chá verde. Estes valores apresentam variações consoantes a metodologia utilizada para a sua extração e as unidades em que os resultados são apresentados. O extrato comercial utilizado para o estudo, é um extrato aquoso comercial. A maioria dos estudos reportados na literatura utilizaram a água como solvente de extração e determinaram o conteúdo em compostos fenólicos totais de um extrato de chá verde em etanol, obtendo como resultado o alto poder antioxidante dos diversos métodos de extração do chá verde. Para extratos de chá verde no qual a água foi o solvente utilizado, foram determinados valores de  $IC_{50}$  de 0,07 mg/mL e 0,06 mg/mL (Rodrigues et al., 2016), 0,91 mg/mL (Li et al., 2014), 0,40 mg amostra/mg DPPH (Buyukbalci; El, 2008) e 10,74  $\mu$ g de matéria seca/mL (Giménez et al., 2013).

Martins (2018), identificou a melhor ação de extratos comerciais se comparado com extratos de folhas, o que está de acordo com os valores obtidos no presente estudo, o autor encontrou para  $IC_{50}$ , de 0,116 mg/mL para extrato comercial de chá verde, próximo ao resultado encontrado pelo presente trabalho, e segundo o autor, esses valores confirmam a elevada capacidade antioxidante dos extratos de chá verde.

O resultado pode ser comparado também como os valores para óleo essencial de chá verde puro citado por Shetta et al. (2019), o qual apresentou como  $IC_{50}$  0,81 mg/mL.

Devido aos valores citados pelo autor sugere-se que o extrato apresentou uma atividade elevada se comparada ao valor apresentado pelo óleo.

Vários estudos relatam a presença de antioxidantes em chás, com o emprego da metodologia de obtenção de extratos por solventes orgânicos das folhas secas (Morais et al., 2009). Segundo o mesmo autor, que realizou estudos com diversos chás de consumo no Brasil, os que mostraram mais eficientes frente aos radicais livres foram: chá verde (*Camelia sinensis* não-fermentada) com IC<sub>50</sub> de 0,14 mg/mL, canela (*Cinnamomum zeylanicum*) com IC<sub>50</sub> de 0,37 mg/mL, cravo (*Eugenia aromatica*) com IC<sub>50</sub> de 0,46 mg/mL, louro (*Laurus nobilis*) com IC<sub>50</sub> de 0,76 mg/mL e chá preto (*Camelia sinensis* fermentada) com IC<sub>50</sub> de 0,96 mg/mL.

O bom poder antioxidante dessas plantas pode ser explicado pela presença de substâncias capazes de inibir os radicais livres. Os constituintes mais importantes das folhas do chá de *Camelia sinensis* são compostos fenólicos, em especial taninos (ácido gálico) e flavonoides como quercetina, miricetina, canferol e catequinas (Morais et al., 2009).

### 3.1.2 Atividade antibacteriana do extrato de chá verde

Como forma de avaliar a atividade antibacteriana do extrato de chá verde, apresenta-se na Tabela 2 os resultados da Concentração Inibitória Mínima (CIM). Observa-se que o extrato de chá verde apresentou o melhor desempenho sobre as bactérias Gram-positivas, não demonstrou ação sobre a bactéria Gram-negativa *Salmonella* nas concentrações avaliadas e um desempenho intermediário para *E. coli* e *L. monocytogenes*.

**Tabela 2**– Concentração inibitória mínima (CIM) do extrato de chá verde.

<b>Bactérias</b>	<b>CIM (mg/mL)</b>
	<b>Gram-positivas</b>
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,05
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,025
	<b>Gram-negativas</b>
<i>Escherichia coli</i>	0,04
<i>Salmonella choleraesuis</i>	>1,0



Pode-se comparar os valores encontrados por autores que também conseguiram verificar a ação antibacteriana do óleo essencial de chá verde sobre *S aureus* e *E. coli* com valores de CIM de 5,44 mg/mL (Shetta et al., 2019).

Segundo Martins (2018), o extrato de chá verde comercial apresentou atividade antibacteriana sobre as bactérias Gram-positivas estudadas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* e *Enterococcus faecalis*), e não apresentou capacidade inibitória para as estirpes *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella Typhimurium*.

Em geral, bactérias Gram-positivas são mais sensíveis do que bactérias Gram-negativas, o que pode ser atribuído, em parte, à maior complexidade da parede celular que contém camada dupla nesses organismos, em contraste com a glicoproteína de membrana única/ácido teicóico de bactérias Gram-positivas (Vanin et al., 2014; Balouri et al., 2016), justificando os resultados para essa classe de microrganismos avaliados.

A atividade antibacteriana dos extratos naturais tem sido atribuída aos efeitos destes na perturbação da membrana citoplasmática, aos danos às proteínas da membrana, interrupções da força motriz de prótons, do fluxo de elétrons, do transporte ativo e da coagulação do conteúdo celular (Cansian et al., 2010).

### **3. 2 Filmes de Gelatina**

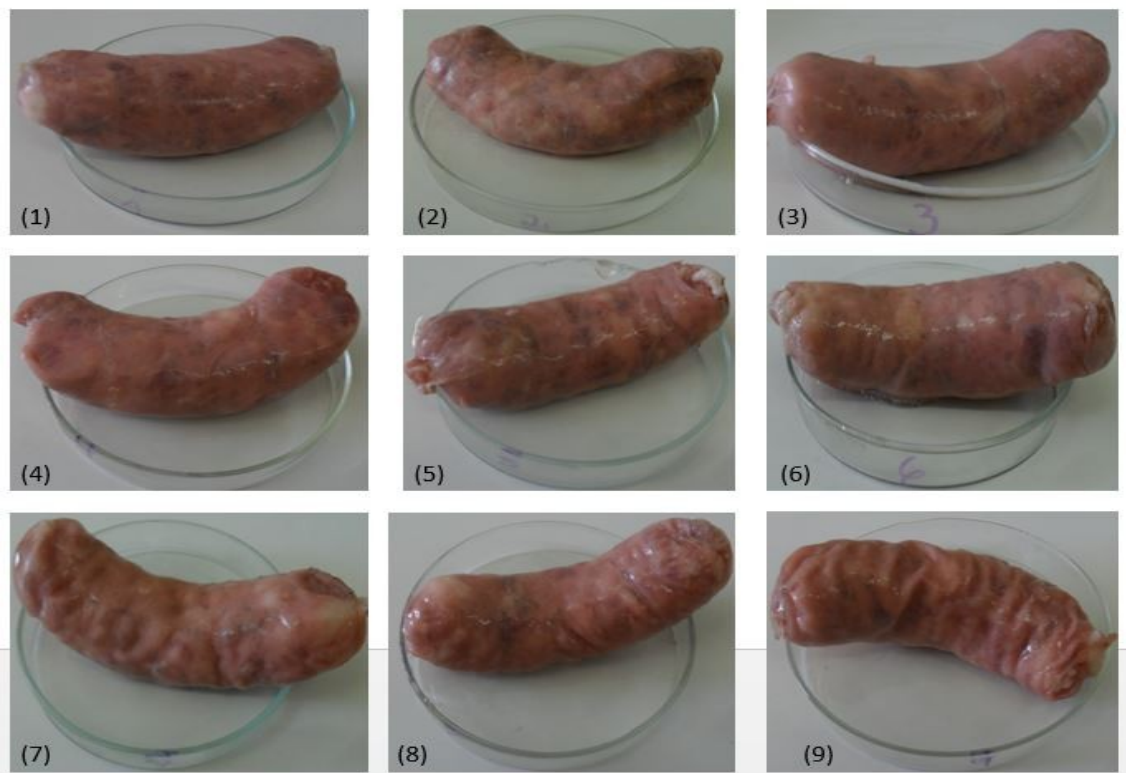
Devido as propriedades dos filmes de gelatina, autores como Musso et al. (2016), selecionaram esta, uma vez que seus filmes são incolores ao contrário dos filmes proteicos vegetais que geralmente apresentam determinada cor, inerentes aos compostos não proteicos extraídos conjuntamente com proteínas. Esse biopolímero natural, que pode ser derivado do colágeno, ganhou mais atenção como material para filmes comestíveis. Películas comestíveis de gelatina preparadas a partir de pele bovina e suína apresentam alta resistência à perfuração, baixa deformação por punção e alta permeabilidade ao vapor de água. Geralmente, as propriedades do filme variam dependendo da fonte de gelatina, plastificante e outros fatores (Tongnuanchan et al., 2012).

A gelatina tem sido extensivamente estudada por sua capacidade de formar filmes com boas propriedades mecânicas e funcionais e utilidade como barreira externa, protegendo os alimentos da secagem, exposição ao oxigênio e à luz (Suderman et al., 2018). Segundo Dou et al. (2018), a gelatina é a mais amplamente utilizada em

embalagens comestíveis devido à sua excelente capacidade de formação de filme, abundância, segurança, baixo ponto de fusão, biodegradabilidade e propriedades de barreira a gases.

A Figura 3 e Tabela 3 apresentam amostras de linguiças frescas e avaliação subjetiva da aplicação da solução filmogênica variando a concentração gelatina e glicerol, respectivamente.

**Figura 3** - Delineamento experimental de diferentes formulações de gelatinas e glicerol.



(1) 5,0% gelatina e 30% glicerol. (2) 5,0% gelatina e 45% glicerol. (3) 5,0% gelatina e 10% glicerol. (4) 15,0% gelatina e 30% glicerol. (5) 15,0% gelatina e 45% glicerol. (6) 15,0% gelatina e 10% glicerol. (7) 30,0% gelatina e 30% glicerol. (8) 30,0% gelatina e 45% glicerol. (9) 30,0% gelatina e 10% glicerol.

Ao analisar a Figura 3, pode-se observar que as amostras (1), (2) e (3), com concentração de gelatina de 5,0% apresentaram um filme muito fino e com pouca aderência ao produto. Já, as amostras (4), (5) e (6) onde a concentração de gelatina era de 15,0% apresentaram a melhor aparência com um filme bem aderido e em toda a extensão do produto. E as amostras (7), (8) e (9), 30,0% de gelatina, apresentam-se enrugadas e com leve perda da característica de linguiça frescal.

Estudos mostram que a adição de plastificantes em várias porcentagens melhora as propriedades mecânicas dos filmes de gelatina (Suderman et al., 2018). Neste sentido, a concentração do plastificante foi avaliada, variando de 10 a 45%, para obter um bom filme de cobertura.

Ao analisar as 3 formulações com concentração de 15,0% de gelatina (4, 5 e 6), pode-se observar que a formulação com 30% de glicerol (4) não apresentou filme em excesso como a formulação com 45,0% de glicerol (5) e com melhor aderência se comparado a formulação com 10% de glicerol (6), que apresentou uma camada muito fina de filme. A adição de diferentes concentrações de glicerol teve como finalidade melhorar as características da embalagem como cor, aparência e textura. A concentração de 10% de glicerol resultou em um filme de cobertura com uma camada bem fina. A concentração de 30% apresentou uma camada com espessura intermediária e a concentração de 45% ficou bem espessa. A formulação que apresentou o melhor aspecto visual de aderência e aparência foi a que possuía concentração de 15,0% de gelatina e 30% de glicerol, sendo selecionada para dar continuidade ao estudo de filmes de cobertura com adição de extrato de chá verde.

**Tabela 3-** Avaliação subjetiva da aplicação do filme de gelatina variando as concentrações de gelatina e glicerol.

<b>Formulações Gelatina/Glicerol</b>	<b>Continuidade</b>	<b>Homogeneidade</b>	<b>Manuseabilidade</b>	<b>Descrição</b>
(1) 5/30%	Bom	Excelente	Deficiente	Pouca aderência Camada= boa
(2) 5/45%	Bom	Bom	Deficiente	Pouca aderência Camada= espessa
(3) 5/10%	Bom	Bom	Deficiente	Pouca aderência Camada= fina
(4) 15/30%	Excelente	Excelente	Excelente	Melhor aparência Camada= boa
(5) 15/45%	Excelente	Bom	Bom	Melhor aparência Camada= espessa

(6) 15/10%	Excelente	Bom	Bom	Melhor aparência Camada= fina
(7) 30/30%	Deficiente	Excelente	Excelente	Enrugadas Camada= boa
(8) 30/45%	Deficiente	Bom	Bom	Enrugadas Camada= espessa
(9) 30/10%	Deficiente	Bom	Bom	Enrugadas Camada= fina

Filmes preparados pelo método de fundição, isto é baseado na evaporação do solvente (sem uso de calor) da solução formadora, resultando na formação de um filme compacto e estruturado, dependendo do objetivo da embalagem do alimento e do item alimentar, pode ter as propriedades ativas alteradas com a adição de compostos para melhorar as características indesejáveis da embalagem (Santos et al., 2017).

### 3.3 Cinética da atividade antioxidante in vitro do filme de gelatina com extrato de chá verde

Os resultados da cinética de atividade antioxidante dos filmes de gelatina com diferentes concentrações de chá verde são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Cinética de atividade antioxidante ( $IC_{50}$  e equações da reta) no armazenamento de filmes de gelatina com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Tempo (dias)	Concentração de chá verde (%)					
	1,0		2,5		5,0	
	$IC_{50}$	Equação Reta	$IC_{50}$	Equação Reta	$IC_{50}$	Equação Reta
1	<b>1,01</b>	$y=42,334x+7,198$ $r^2=0,8106$	<b>1,00</b>	$y=41,424x+8,540$ $r^2=0,8538$	<b>1,18</b>	$y=35,349x+9,4614$ $r^2=0,9331$
7	<b>0,69</b>	$y=56,012x+11,269$ $r^2=0,8413$	<b>0,73</b>	$y=25,061x+31,563$ $r^2=0,8812$	<b>1,1</b>	$y=17,67x+30,056$ $r^2=0,8778$
14	<b>0,67</b>	$y=47,062x+18,443$ $r^2=0,8171$	<b>0,91</b>	$y=36,338x+17,01$ $r^2=0,8238$	<b>0,83</b>	$y=27,68x+27,062$ $r^2=0,9362$
21	<b>0,76</b>	$y=55,021x+8,0793$ $r^2=0,9275$	<b>1,02</b>	$y=22,696x+26,85$ $r^2=0,7622$	<b>1,14</b>	$y=23,55x+23,22$ $r^2=0,9504$
28	<b>0,87</b>	$y=48,56x+7,7255$ $r^2=0,8227$	<b>1,20</b>	$y=15,1x+31,88$ $r^2=0,8519$	<b>1,17</b>	$y=31,316x+13,36$ $r^2=0,8403$
35	<b>0,98</b>	$y=51,770x-0,735$ $r^2=0,9319$	<b>1,21</b>	$y=32,627x+10,521$ $r^2=0,8446$	<b>1,24</b>	$y=28,745x+14,356$ $r^2=0,905$

Observa-se que os valores de  $IC_{50}$  logo após a elaboração até 14 dias de armazenamento apresentaram um decréscimo, o que indica maior liberação do chá neste período. Após 21 dias de armazenamento, foi observado um aumento nos valores, o que

indica redução da atividade causada pela extração do chá do filme com o passar do tempo. Observa-se também que em todo o período de armazenamento, a amostra que obteve os melhores valores de IC<sub>50</sub> foi a formulada com 1% de chá, indicando absorção máxima deste no filme. O aumento da concentração de extrato acima da concentração de 1% não apresentou aumento na atividade antioxidante, sendo um resultado positivo em relação a concentração ideal para ação antioxidante liberada pelo filme e características do filme, pois a adição do extrato altera cor e aparência do filme de forma proporcional a sua concentração.

Revestimentos comestíveis podem fornecer uma camada protetora para alimentos frescos, evitando assim grandes perdas de qualidade e quantidade (López et al., 2017, Li et al., 2014). Alguns revestimentos comestíveis ativos podem proporcionar uma composição interna desejável com incorporação de extratos naturais (EOs, extratos vegetais e seus constituintes) em materiais de embalagem (Iturriaga et al., 2012), com o intuito de estender o prazo de validade de alimentos perecíveis e minimamente processados como, por exemplo, peixe (Gómez-Estaca et al., 2010), carne (Corrales et al., 2009; Hong et al., 2009) e frutas (Jang et al., 2011).

Devido à complexidade do alimento, um efeito *in vitro* do extrato não é reproduzido quando aplicado aos alimentos nas mesmas condições, ou seja, o extrato torna-se menos eficaz (Santos et al., 2017), porém segundo o autor, uma vez incorporados na embalagem do alimento, os compostos ativos podem ser liberados de forma controlada para manter ou melhorar as propriedades organolépticas, a qualidade e a integridade microbiológica dos alimentos.

### **3.4 Caracterização do Filme**

#### **3.4.1 Propriedades óticas**

Cor e aspecto físico são parâmetros adicionais que devem ser avaliados segundo a sua influência para garantir que o revestimento não altere a maneira e aspectos de comercialização, portanto, o filme deve ser o mais transparente possível. Para avaliar a homogeneidade do extrato de chá verde nos filmes e, portanto, na superfície do produto, foram utilizadas técnicas de colorimetria. A Tabela 5 apresenta os parâmetros de cor para os filmes de interfolhamento adicionados com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

**Tabela 5** - Parâmetros de cor para os filmes de recobrimento adicionados com diferentes concentrações de chá verde.

Concentração de chá (%)	L*	a*	b*	$\Delta E$
Branco	59,21 <sup>a</sup> ±1,40	-0,86 <sup>d</sup> ±0,31	4,65 <sup>c</sup> ±0,43	-
1,0	51,33 <sup>b</sup> ±2,20	-0,09 <sup>c</sup> ±0,01	10,71 <sup>b</sup> ±1,06	9,97 <sup>c</sup> ± 0,42
2,5	47,54 <sup>b</sup> ±1,17	0,48 <sup>b</sup> ±0,02	18,24 <sup>a</sup> ±1,82	17,96 <sup>b</sup> ± 0,76
5,0	38,00 <sup>c</sup> ±1,10	2,10 <sup>a</sup> ±0,02	15,77 <sup>a</sup> ±1,53	24,13 <sup>a</sup> ± 0,82

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais na coluna para cada tipo de filme, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey) para o mesmo parâmetro de cor.

O parâmetro L\* indica a luminosidade da amostra, assim quanto mais próximo a 100 mais clara é a amostra. O tratamento estatístico mostrou que, com o aumento na concentração de chá no filme de gelatina a amostra apresenta um escurecimento devido a coloração do chá, alterando a transparência do filme. Observou-se diferença significativa de luminosidade dos filmes com 1 e 2,5% de chá em relação ao controle (sem chá) e a concentração de 5%, o qual alterou muito o seu valor de luminosidade, tornando-se escurecido.

O parâmetro de cromaticidade a\* indica a variação entre as cores verde (-) e vermelho (+), o qual mostrou que com o aumento na concentração de chá no filme de recobrimento de gelatina, esse parâmetro passa de valores negativos para positivos, característicos na coloração do chá, ou seja, apresentou uma variação para o vermelho, enquanto os com baixa concentração estavam mais próximos ao verde. Avaliando estatisticamente os dados as todas as amostras foram diferentes entre si ( $p < 0,05$ ).

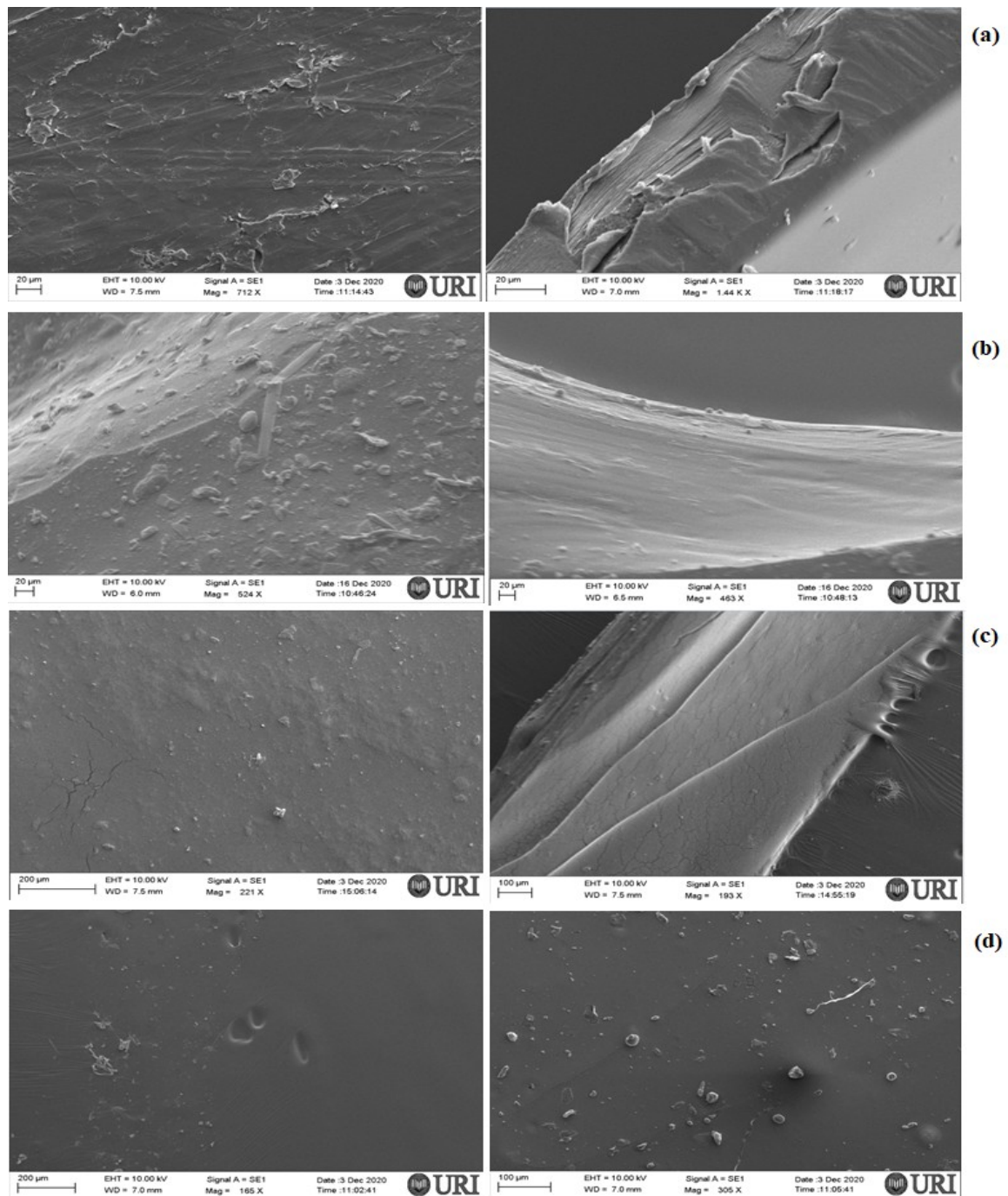
Para a cromaticidade b\*, que varia entre as cores azul (-) e amarelo (+), os valores encontram-se na região do amarelo, variando com a concentração de chá. A concentração de 1,0% de chá no filme de gelatina mostrou-se estatisticamente intermediária, mais amarela que o filme controle, mas inferior aos filmes com 2,5 e 5% de chá.

O parâmetro  $\Delta E$  determina a diferença total de cor dos filmes de recobrimento com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde em relação ao controle (sem adição de extrato). Dessa forma, pode-se observar que o aumento da concentração de extrato de chá verde adicionado aos filmes aumentou o  $\Delta E$  com diferença significativa entre as amostras ( $p > 0,05$ ). Em geral, observou-se que a adição de chá altera todos os parâmetros de cor dos filmes, com maior tendência ao vermelho/amarelo e perda de brilho com o aumento da concentração de chá.

### 3.4.2 Estrutura morfológica (MEV)

Os resultados para verificação da estrutura transversal e da superfície por microscopia eletrônica de varredura é apresentado na Figura 4. A microscopia eletrônica de varredura de um filme busca correlacionar as propriedades físico-químicas com sua estrutura morfológica (Grenner & Fennema, 1989). Através das imagens transversais é possível identificar uma estrutura mais homogênea com a incorporação de 1,0% de chá e a presença de irregularidades com o acréscimo de chá (Figura 4b). Ao analisar a superfície é possível verificar grumos, ou seja, presença de chá não incorporado a estrutura polimérica, esse efeito foi observado nas três concentrações estudadas, porém com 2,5% de chá é possível verificar a melhor condição de incorporação do chá a estrutura.

**Figura 4** - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de superfícies de seção transversal de filmes.



(a) gelatina pura e com (b) 1,0% de extrato de chá verde (c) 2,5% de extrato de chá verde (d) 5,0% de extrato de chá verde.

De forma geral os filmes de gelatina com adição de extrato de chá verde apresentaram boa homogeneidade e continuidade macroscópica, sem trincas ou partículas insolúveis. Esses resultados podem ser comparados com autores como Leite et al. (2020), os quais verificaram que filmes bionanocompósitos de gelatina apresentaram boa homogeneidade e continuidade macroscópica.



Em relação às análises estruturais, é possível obter informações morfológicas como: orientação e qualidade da interface de fibras de reforço, a interface entre matriz e fase dispersa de blendas imiscíveis, presença de impurezas, bolhas, trincas, superfícies irregulares, entre outros.

Li et al. (2013), avaliaram a microscopia de filmes de gelatina incorporados com extratos naturais em 1,0 e 5,0 mg/mL e observaram que a superfície do filme de controle era homogênea, sem áreas quebradiças ou bolhas e o filme com adição de extrato apresentou uma superfície heterogênea e formação de poros após a adição dos extratos antioxidantes a uma concentração de 1,0 mg/mL, diferente do observado no presente trabalho. Conforme os autores, quanto maior a concentração de extrato incorporado, mais heterogênea foi a superfície exibida para os filmes. A formação de superfícies heterogêneas segundo o autor está relacionada à redução desses extratos dissolvendo-se na gelatina quando maior a concentração do extrato.

### 3.4.3 Parâmetros de umidade

A Tabela 6 apresenta os parâmetros de umidade, atividade de água ( $a_w$ ) e solubilidade para os filmes de recobrimento com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

**Tabela 6** - Parâmetros de umidade,  $a_w$  e solubilidade para os filmes de recobrimento com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Concentração de chá	Umidade	$a_w$	Solubilidade em água	Solubilidade em óleo
Branco	26,95 <sup>a</sup> ± 0,71	0,918 <sup>a</sup> ± 0,05	40,157 <sup>d</sup> ± 0,241	22,287 <sup>d</sup> ± 0,416
1,0%	24,09 <sup>a</sup> ± 2,91	0,945 <sup>a</sup> ± 0,03	49,473 <sup>c</sup> ± 0,300	24,627 <sup>c</sup> ± 0,119
2,5%	25,54 <sup>a</sup> ± 2,27	0,933 <sup>a</sup> ± 0,02	57,693 <sup>b</sup> ± 0,235	25,887 <sup>b</sup> ± 0,047
5,0%	24,85 <sup>a</sup> ± 0,55	0,920 <sup>a</sup> ± 0,03	62,557 <sup>a</sup> ± 0,381	27,357 <sup>a</sup> ± 0,215

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

No filme de gelatina não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com diferentes concentrações de chá ou em relação ao controle, para os parâmetros de umidade e  $a_w$  (Tabela 6). Os resultados para a solubilidade de água apresentaram um acréscimo conforme o aumento na porcentagem de chá. Esses resultados podem estar relacionados com a solubilidade do extrato e ligações formadas

com a incorporação de chá, pois devido a capacidade do extrato em realizar ligações de hidrogênio com a água, essa interação pode (filme e água) influenciar na solubilidade do filme, pois esse comportamento não foi observado nos resultados de solubilidade em óleo, os quais se mantiveram muito semelhantes com a incorporação de extrato de chá.

Esses resultados diferem dos resultados encontrados por Rattaya et al. (2009), que investigaram a solubilidade de filmes de gelatina, ou quais diminuí com a incorporação de extrato de alga marinha, independentemente do pH. Segundo os autores, isso foi associado à formação de ligação covalente não dissulfeto na matriz do filme, provavelmente induzida pela interação entre fenóis oxidados no extrato de algas marinhas e moléculas de gelatina. Esse comportamento não foi observado para os filmes adicionados com extrato de chá verde, o que pode estar relacionado com solubilidade do extrato. Diferente também dos autores Nunez-Flores et al. (2012), os quais investigaram a solubilidade de filmes de gelatina de peixe com adição de lignosulfato-LS. Segundo os autores, apesar da natureza altamente polar do LS devido a abundância de grupos de ácido e álcool que lhe conferem uma natureza altamente solúvel em água, a solubilidade do filme de gelatina foi drasticamente reduzida nas misturas 80:20 e 75:25, com sem diferenças significativas entre eles.

Outros autores como Li et al. (2014), que avaliaram a preparação e caracterização de filmes ativos à base de gelatina incorporados com antioxidantes naturais, verificaram que o teor de umidade e a solubilidade em água dos filmes não foram alterados com a adição de nenhum dos antioxidantes naturais.

### **3.5 Atividade Antibacteriana do Filme de Gelatina com Extrato de Chá Verde**

Observou-se que, embora o extrato de chá verde tenha apresentado atividade, o filme de gelatina não apresentou atividade antibacteriana para as bactérias testadas (*L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* e *S. choleraesuis*) independentemente da concentração avaliada, pois houve crescimento bacteriano por toda a superfície da placa.

Uma possível explicação para este resultado pode ser a lenta liberação do extrato, como observado na cinética de atividade antioxidante, fazendo com que a concentração liberada durante o experimento (24 h) tenha sido insuficiente para inibir o crescimento bacteriano.

### 3.6 Aplicação em Produto Linguiça Frescal

#### 3.6.1 Estabilidade Oxidativa do Produto

Os filmes de recobrimento de gelatina com adição de 1,0% de extrato de chá verde foram aplicados sobre linguiças frescas e avaliados durante a vida útil do produto, de 7 em 7 dias, quanto ao seu comportamento frente a oxidação lipídica através das análises de índice de peróxido, pH, acidez e TBARs.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os valores de pH, acidez e oxidação lipídica em linguiças refrigeradas (4 °C) padrão (sem filme de recobrimento), recobertas com filme de gelatina e com filme de gelatina adicionada de 1,0% de extrato de chá verde e embalados em sacos de polipropileno sem e com vácuo, respectivamente.

Nas análises físico-químicas realizadas para o estudo do processo oxidativo durante o armazenamento das linguiças frescas com aplicação de filme de cobertura adicionado de chá verde e armazenado sem vácuo (Tabela 7), observou-se um decréscimo no valor de pH e um aumento na acidez até os 76 dias de armazenamento.

Durante o tempo de armazenamento da linguiça frescal, os valores de pH podem reduzir devido as condições favoráveis ao desenvolvimento de bactérias lácticas, cujo produtos metabólicos têm a capacidade de aumentar a acidez do produto (Figueiro, 2013).

Esses valores de redução de pH estão também intimamente relacionados, devido ao processo de rancidez hidrolítica e a conseqüente produção de ácidos orgânicos, conforme Kalem et al. (2017), que observaram um declínio significativo ( $p < 0,05$ ) nos valores de pH de salsichas controle e tratada e 0 a 56 dias de armazenamento.

Observa-se também que esta redução de pH foi mais acentuada nas linguiças padrão (sem recobrimento) a partir do 69º dia de armazenamento, mas sem diferença significativa entre os resultados das linguiças com recobrimento somente de gelatina ou com gelatina e 1,0% de chá verde.

**Tabela 7** – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com extrato de chá verde (1,0%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo.

Tempo de armazenamento (Dias)	Sem vácuo	
	Padrão	Gelatina + Chá verde
	pH	

<b>Inicial</b>	5,975 <sup>aA</sup> ± 0,050	5,937 <sup>aA</sup> ± 0,035	5,940 <sup>aA</sup> ± 0,036
<b>20</b>	5,753 <sup>bB</sup> ± 0,056	5,807 <sup>bAB</sup> ± 0,092	5,867 <sup>bA</sup> ± 0,035
<b>48</b>	5,110 <sup>cA</sup> ± 0,056	5,153 <sup>cA</sup> ± 0,050	5,077 <sup>cA</sup> ± 0,035
<b>55</b>	5,090 <sup>cA</sup> ± 0,046	5,143 <sup>cA</sup> ± 0,060	5,107 <sup>cA</sup> ± 0,015
<b>62</b>	4,973 <sup>dA</sup> ± 0,023	5,013 <sup>dA</sup> ± 0,025	4,983 <sup>dA</sup> ± 0,022
<b>69</b>	4,971 <sup>dB</sup> ± 0,012	5,016 <sup>dA</sup> ± 0,017	5,010 <sup>dA</sup> ± 0,016
<b>76</b>	4,790 <sup>eB</sup> ± 0,0100	4,946 <sup>eA</sup> ± 0,015	4,953 <sup>eA</sup> ± 0,005
<b>Acidez (g de ácido oleico/100 g amostra)</b>			
<b>Inicial</b>	6,577 <sup>eA</sup> ± 0,030	6,581 <sup>eA</sup> ± 0,199	6,574 <sup>dA</sup> ± 0,098
<b>20</b>	8,782 <sup>cdA</sup> ± 0,530	7,970 <sup>dAB</sup> ± 0,602	7,734 <sup>cb</sup> ± 0,270
<b>48</b>	7,705 <sup>dA</sup> ± 0,597	7,823 <sup>dA</sup> ± 0,194	8,035 <sup>cA</sup> ± 0,640
<b>55</b>	9,127 <sup>cA</sup> ± 0,635	9,001 <sup>cA</sup> ± 0,613	8,405 <sup>cA</sup> ± 0,624
<b>62</b>	10,509 <sup>aA</sup> ± 0,572	9,547 <sup>bcAB</sup> ± 0,878	9,470 <sup>bB</sup> ± 0,413
<b>69</b>	11,317 <sup>aA</sup> ± 0,616	9,309 <sup>bcB</sup> ± 0,590	9,657 <sup>bB</sup> ± 0,210
<b>76</b>	10,631 <sup>abA</sup> ± 0,680	11,300 <sup>aA</sup> ± 0,534	9,508 <sup>bB</sup> ± 0,344
<b>Índice de Peróxido (meq de peróxido/kg amostra)</b>			
<b>Inicial</b>	0	0	0
<b>20</b>	0	0	0
<b>48</b>	18,595 <sup>bA</sup> ± 1,219	8,323 <sup>dB</sup> ± 0,965	7,174 <sup>eB</sup> ± 1,030
<b>55</b>	21,194 <sup>bA</sup> ± 7,902	11,166 <sup>cb</sup> ± 2,135	8,235 <sup>eB</sup> ± 1,280
<b>62</b>	17,116 <sup>ba</sup> ± 2,900	14,751 <sup>cAB</sup> ± 2,411	11,938 <sup>dB</sup> ± 2,387
<b>69</b>	20,727 <sup>ba</sup> ± 2,192	12,547 <sup>cb</sup> ± 0,861	13,658 <sup>cb</sup> ± 1,310
<b>76</b>	21,549 <sup>ba</sup> ± 3,512	21,723 <sup>ba</sup> ± 3,632	21,016 <sup>ba</sup> ± 2,496

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas para cada parâmetro e maiúsculas iguais nas linhas, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

Em relação à acidez, o comportamento foi semelhante, com redução significativa do recobrimento com gelatina e 1,0% de chá verde em relação aos demais tratamentos, somente aos 76 dias de armazenamento.

O declínio no pH pode ser atribuído ao acúmulo de ácidos produzidos pelas bactérias, predominantemente bactérias anaeróbias e ácido láctico, durante o armazenamento e depende dos carboidratos disponíveis nos produtos cárneos. Wenjiao et al. (2014), observaram diminuição nos valores de pH para embutidos com carne de porco incorporados com polifenóis de chá durante o armazenamento refrigerado.

A oxidação lipídica é uma reação em cadeia de radicais livres que ocorre ao longo do processamento. O produto inicial da oxidação são os peróxidos, instáveis, esses compostos são facilmente oxidável, obtendo como produtos compostos, como aldeídos, cetonas e assim por diante. Assim, os valores encontrados para o índice de peróxido são

utilizados para avaliar a quantidade de hidroperóxido produzido pela oxidação lipídica. Se a taxa de produção de peróxido for menor que sua decomposição, o valor do peróxido começará a diminuir. Geralmente, os valores de peróxido aumentam até um certo nível e depois diminuem gradualmente, tornando o lipídio mais prejudicial (Zhao et al., 2020).

Os valores de peróxido apresentaram alterações significativas durante o armazenamento para as linguiças armazenadas sem vácuo, com tendência de aumento nos valores em função do tempo de armazenamento. Até os 69 dias de armazenamento, as amostras com recobrimento somente de gelatina e recobrimento de gelatina com 1% de chá verde diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) das amostras padrão sem recobrimento, mantendo índices de peróxido mais baixos. Esses resultados sugerem que o simples recobrimento já produza um efeito protetor em relação a oxidação lipídica.

A partir dos 76 dias de armazenamento observa-se um aumento nos índices de peróxido, nas amostras com recobrimento de gelatina e 1,0% chá verde, atingindo valores semelhantes à amostra padrão.

Nos testes para as linguiças armazenadas a vácuo (Tabela 8), observaram-se as mesmas tendências em relação às linguiças armazenadas sem vácuo (Tabela 7), com redução de pH e aumento da acidez em relação ao aumento do tempo de armazenamento.

Não foi observado diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) de pH entre as amostras padrão, recobertas com gelatina e com gelatina com adição de extrato de chá verde. A mesma tendência foi observada em relação à acidez, com exceção do tempo inicial e final de armazenamento onde observou-se menor acidez nas amostras recobertas com filme de gelatina e extrato de chá verde. Em relação ao índice de peróxidos, amostras padrão e recobertas apenas com filme de gelatina apresentação oxidação aos 76 dias de armazenamento, diferindo das amostras recobertas com gelatina e extrato de chá verde, sem presença de peróxidos detectáveis até 76 dias de armazenamento.

Comparando-se os resultados de uso de vácuo (Tabela 8) com armazenamento sem vácuo (Tabela 7), observam-se diferenças principalmente em relação ao índice de peróxidos, o qual é encontrado nas amostras a partir do 48º dia de armazenamento nas amostras armazenadas sem vácuo, independentemente do tratamento, e somente observado no 76º dia de armazenamento nas amostras armazenada a vácuo, indicando que o uso do vácuo é um recurso importante para se reduzir a oxidação lipídica, e que o recobrimento das linguiças com filme de gelatina com 1% de extrato de chá verde potencializa esta proteção à oxidação lipídica.

**Tabela 8**– Valores de pH, acidez e oxidação lipídica em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno com vácuo.

Tempo de armazenamento (Dias)	Com vácuo (3Mili Bars)		
	Padrão	Gelatina	Gelatina +Chá verde
<b>pH</b>			
<b>Inicial</b>	5,817 <sup>aA</sup> ± 0,046	5,879 <sup>aA</sup> ± 0,044	5,833 <sup>aA</sup> ± 0,051
<b>20</b>	5,167 <sup>bA</sup> ± 0,061	5,133 <sup>bA</sup> ± 0,021	5,067 <sup>bA</sup> ± 0,057
<b>48</b>	5,107 <sup>bA</sup> ± 0,012	5,067 <sup>cA</sup> ± 0,025	5,073 <sup>bA</sup> ± 0,032
<b>62</b>	4,867 <sup>cA</sup> ± 0,035	4,857 <sup>dA</sup> ± 0,015	4,857 <sup>cA</sup> ± 0,015
<b>76</b>	4,980 <sup>cA</sup> ± 0,050	4,870 <sup>dA</sup> ± 0,059	4,870 <sup>dA</sup> ± 0,062
<b>Acidez (g de ácido oleico/100 g amostra)</b>			
<b>Inicial</b>	8,043 <sup>cA</sup> ± 0,641	6,941 <sup>dB</sup> ± 0,631	6,947 <sup>cB</sup> ± 0,272
<b>20</b>	9,295 <sup>cA</sup> ± 0,625	10,093 <sup>cA</sup> ± 0,618	7,059 <sup>cB</sup> ± 0,677
<b>48</b>	9,774 <sup>cA</sup> ± 0,047	9,845 <sup>cA</sup> ± 0,054	9,866 <sup>bA</sup> ± 0,081
<b>62</b>	10,857 <sup>bA</sup> ± 0,051	10,831 <sup>bA</sup> ± 0,035	10,838 <sup>aA</sup> ± 0,053
<b>76</b>	12,434 <sup>aA</sup> ± 0,652	12,068 <sup>aA</sup> ± 0,060	10,989 <sup>aB</sup> ± 0,019
<b>Índice de Peróxido (meq de peróxido/kg amostra)</b>			
<b>Inicial</b>	0	0	0
<b>20</b>	0	0	0
<b>48</b>	0	0	0
<b>62</b>	0	0	0
<b>76</b>	9,099 <sup>B</sup> ± 1,238	13,755 <sup>A</sup> ± 1,551	0

Médias ± desvio padrão seguidas de letras maiúsculas iguais nas linhas, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

Resultados semelhantes também foram observados por Chiavaro et al. (2008) ao avaliarem a eficácia de diferentes formas de acondicionamento em relação às propriedades da linguiça suína frescal, também observaram redução e verificaram que foi devido ao desenvolvimento de bactérias lácticas no armazenamento.

Entretanto, não foram observadas diferenças significativas de pH entre os tratamentos e valores de acidez menores somente nos tempos iniciais (1 e 7 dias) e final (76 dias) de armazenamento do tratamento de recobrimento com filme de gelatina e chá verde 3,20% em relação aos demais tratamentos.

Em relação ao índice de peróxidos, estes foram observados somente após 76 dias de armazenamento nos tratamentos padrão e com recobrimento somente de gelatina,

ainda que em níveis baixos. Estes resultados indicam que o armazenamento a vácuo é capaz de reduzir a oxidação lipídica de linguiças frescas, com possível contribuição adicional do recobrimento com gelatina e chá verde a partir de 76 dias de armazenamento.

Os valores de pH e acidez seguiram um comportamento muito parecido em relação aos produtos armazenados sem filme e com filme de recobrimento com gelatina e adicionado de chá verde, esse resultado pode ser comparado com estudos realizados por Hayes et al. (2011), o qual avaliou a adição de extrato de plantas nutracêuticas na estabilidade de linguiças frescas e obteve como resultado um comportamento semelhante para linguiça com e sem extrato de planta. Segundo o autor a redução do pH está relacionada com as condições de armazenamento.

A Tabela 9 apresenta os valores de TBARS das amostras de linguiça refrigerada (4 °C) padrão (sem adição de filme), recoberta com gelatina e gelatina adicionada 1,0% de extrato de chá verde embaladas em sacos de polipropileno sem e com vácuo.

Nas amostras armazenadas sem vácuo observa-se aumento dos índices de TBARS já com 20 dias de armazenamento. As amostras padrão apresentaram mais elevados valores de TBARS já a partir de 55 dias, enquanto que para as amostras com recobrimento de gelatina e gelatina com chá verde 1,0%, os níveis mais elevados ocorreram somente a partir de 62 dias de armazenamento.

O recobrimento com gelatina e chá verde 1,0% foi capaz de manter índices significativamente mais baixos de TBARS em comparação com as amostras padrão e com recobrimento somente com gelatina a partir de 48 dias de armazenamento.

Para os diferentes testes com posterior armazenamento com vácuo, os valores de TBARS oscilaram entre 0,198 e 0,289 mg malonaldeído/Kg durante todo o período de armazenamento, sem diferenças significativas entre os tratamentos e entre os tempos de armazenamento avaliados neste estudo. Esses resultados mostram a eficácia do armazenamento a vácuo para o processo oxidativo de produtos cárneos, pois apresentaram valores baixos de malonaldeído.

**Tabela 9** – Valores de TBARS em linguiça refrigerada (4 °C) padrão, recoberta com gelatina e gelatina com extrato de chá verde (1,0%) e embalados sem e com vácuo.

Tempo de armazenamento (Dias)	TBARS (mg malonaldeído/kg amostra)		
	Padrão	Gelatina	Gelatina +Chá verde
	Sem vácuo		

<b>Inicial</b>	0,136 <sup>dA</sup> ± 0,010	0,168 <sup>cA</sup> ± 0,055	0,141 <sup>cA</sup> ± 0,010
<b>20</b>	0,250 <sup>cAB</sup> ± 0,077	0,350 <sup>bA</sup> ± 0,057	0,222 <sup>bB</sup> ± 0,043
<b>48</b>	0,390 <sup>bA</sup> ± 0,013	0,359 <sup>bA</sup> ± 0,043	0,226 <sup>bB</sup> ± 0,022
<b>55</b>	0,446 <sup>abA</sup> ± 0,061	0,384 <sup>bA</sup> ± 0,025	0,228 <sup>bB</sup> ± 0,027
<b>62</b>	0,504 <sup>aA</sup> ± 0,119	0,468 <sup>aA</sup> ± 0,022	0,263 <sup>abB</sup> ± 0,032
<b>69</b>	0,536 <sup>aA</sup> ± 0,125	0,447 <sup>aA</sup> ± 0,028	0,263 <sup>abB</sup> ± 0,025
<b>76</b>	0,492 <sup>aA</sup> ± 0,030	0,462 <sup>aA</sup> ± 0,028	0,325 <sup>aB</sup> ± 0,060
<b>Com vácuo</b>			
<b>Inicial</b>	0,272 <sup>aA</sup> ± 0,050	0,232 <sup>aA</sup> ± 0,011	0,201 <sup>aA</sup> ± 0,025
<b>20</b>	0,279 <sup>aA</sup> ± 0,059	0,205 <sup>aA</sup> ± 0,030	0,203 <sup>aA</sup> ± 0,024
<b>48</b>	0,289 <sup>aA</sup> ± 0,050	0,229 <sup>aA</sup> ± 0,023	0,219 <sup>a</sup> ± 0,031
<b>55</b>	0,282 <sup>aA</sup> ± 0,054	0,239 <sup>aA</sup> ± 0,029	0,213 <sup>a</sup> ± 0,038
<b>62</b>	0,274 <sup>aA</sup> ± 0,028	0,259 <sup>aA</sup> ± 0,020	0,198 <sup>a</sup> ± 0,053
<b>69</b>	0,288 <sup>aA</sup> ± 0,051	0,249 <sup>aA</sup> ± 0,023	0,239 <sup>a</sup> ± 0,041
<b>76</b>	0,287 <sup>aA</sup> ± 0,041	0,257 <sup>aA</sup> ± 0,050	0,281 <sup>aA</sup> ± 0,030

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas para cada parâmetro e maiúsculas iguais nas linhas, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

O chá verde adicionou propriedades antioxidantes aos filmes desenvolvidos, melhorando a estabilidade oxidativa lipídica e a qualidade de armazenamento do produto modelo de carne quando armazenado sem vácuo. Esse resultado pode ser comparado aos resultados encontrados por Noorbakhsh-Soltani et al. (2018), que avaliaram a adição de compostos fenólicos a filmes comestíveis, os quais apresentam uma estabilidade frente ao processo oxidativo com o tempo. Vilarinho et al. (2018) demonstraram que amostras de salame embaladas com o ácido polilático (PLA)/montmorilonita (MMT) apresentaram menor quantidade de malonaldeídos (MDA) em relação ao salame embalado com filme de PLA intocado durante todos os períodos de contato, evidenciando a influência do filme nanocompósito para reduzir a extensão da oxidação lipídica. A sua eficácia pode ser verificada ainda pois as maiores médias de MDA foram observadas nos tratamentos padrão e gelatina (valores entre 0,485 e 0,531 mg malonaldeído/Kg) e os menores valores para as linguças cobertas com filme de gelatina com 1,0% de extrato de chá verde (valores entre 0,263 e 0,332 mg malonaldeído/Kg).

A mistura de polímeros biodegradáveis com aditivos é um dos métodos mais eficazes para obter novo material com as propriedades desejadas. Além disso, eles podem operar como transportadores para incorporar uma ampla variedade de aditivos, como agentes antioxidantes e antimicrobianos (Siripatrawan & Harte, 2010; Tan et al., 2015).



Os valores de TBARS seguiram uma tendência crescente durante o armazenamento, como pode ser observado por Kalem et al. (2017), no estudo de controle e salsichas tratadas. Segundo o autor no início os valores estavam bem abaixo do limite aceitável de 1 mg de malonaldeído por quilograma até o 42º dia de armazenamento para controle, bem como dos produtos incorporados ao extrato. Os produtos excederam o limite no 56º dia de armazenamento.

Valores significativamente altos de TBARS durante o armazenamento podem ser atribuídos à hidrólise lipídica, ranço oxidativo e formação de produtos secundários à temperatura de refrigeração. Um aumento semelhante nos valores de TBARS também foi relatado por Indumathi e Reddy (2015) em *nuggets* de frango e Gadekar et al. (2014), em carne de cabra reestruturada à medida que os dias de armazenamento avançavam. Embora, os valores de TBARS seguiram uma tendência crescente com o armazenamento, no entanto, os valores dos produtos tratados com extrato eram mais baixo do que o controle em todos os intervalos de armazenamento exceto no dia 0. Isto pode ser atribuído às propriedades antioxidantes do chá verde que contém grandes quantidades de polifenóis, flavonoides e taninos. A atividade antioxidante dos compostos fenólicos deve-se principalmente às suas propriedades redox, que podem desempenhar um papel importante na adsorção e neutralização de radicais livres, como a remoção do oxigênio singlete e dos peróxidos formados durante a decomposição. Wenjiao et al. (2014), também observaram uma diminuição significativa ( $p < 0,05$ ) nos valores de TBARS de embutidos de porco incorporados aos polifenóis do chá.

Pode-se ressaltar ainda que o produto armazenado sem vácuo recoberto com filme de gelatina adicionado de 1% de extrato de chá apresentou resultado de TBARS similares aos resultados encontrados para o produto armazenado com vácuo.

### 3.6.2 Qualidade Microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas de coliformes fecais, *Staphylococcus* coagulase positiva, *Salmonella* sp. e bactérias lácticas realizadas nas amostras de Linguíça fresca, apresentaram resultados de positividade para coliformes fecais  $< 1 \times 10^1$  NMP/g, não caracterizado como *E. coli* e para bactérias lácticas em todas as amostras com contagem de  $2 \times 10^1$  UFC/mL. Os resultados de positividade foram verificados

somente após o período de armazenamento de 30 dias. O aumento do desenvolvimento de bactérias lácticas durante o armazenamento, cujos produtos metabólicos têm a capacidade de aumentar a acidez do produto, pode explicar a redução nos valores de pH do mesmo (Figueiro, 2013).

As análises microbiológicas apresentaram resultados dentro dos limites estabelecidos pela RDC nº 331 e IN nº 60 de 2019 (Brasil, 2019a,b).

#### **4. CONCLUSÃO**

A melhor formulação selecionada através da avaliação subjetiva, a qual caracterizou como melhor filme de recobrimento a base de gelatina foi de 15% de gelatina e 30% de glicerol. O extrato de chá verde e este adicionado a filmes ativos apresentou elevada capacidade antioxidante, revelando grande potencial para ser incorporado em embalagens alimentares ativas com propriedades antioxidantes. O estudo da cinética possibilitou a seleção da melhor concentração de extrato devido aos resultados da atividade antioxidante com o passar do tempo e características do filme após a adição deste, sendo selecionada a concentração de 1%.

O estado de oxidação lipídica das linguças frescas foi determinado após o armazenamento por 83 dias sem vácuo e por 76 dias para produtos com vácuo. Os resultados demonstraram que a incorporação de extrato de chá verde, no filme de gelatina, retardou a oxidação lipídica. O presente trabalho demonstrou a capacidade antioxidante dos filmes de gelatina adicionados de extratos de chá verde e permitiu concluir que a presença de extrato de chá verde no filme pode reduzir o fenômeno de oxidação lipídica de produtos cárneos, apresentando-se como uma alternativa para incremento de vida útil desses produtos.

#### **REFERÊNCIAS**

BALOURI, M.; SADIKI, M.; IBNSOUDA, S. K. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. **Journal of Pharmaceutical Analysis**, v. 6 n. 2, 71–79, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019a. **Listas de padrões microbiológicos para alimentos**. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, 26/12/2019. Edição: 249, Seção: 1, p. 133.

BRASIL. Resolução - RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019b. **Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação.** Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, 26/12/2019. Edição: 249, Seção: 1, p. 96.

BUYUKBALCI, A.; EL, S. N. Determination of in vitro antidiabetic effects, antioxidant activities and phenol contents of some herbal teas. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 63, n. 1, p. 27–33, 2008.

CANSIAN, R. L.; MOSSI, A. J. PAROUL, N.; TONIAZZO, G. ZBORALSKI, F.; PRICHOA, F. C. KUBIAK, G. B.; LERIN, L. A. Atividade Antioxidante e Antimicrobiana de extrato de canela-sassafrás (*Ocotea odorífera* (Vell.) Rowher). **Perspectiva**, v. 34, n. 127, p. 123-133, 2010.

CORRALES, M., HAN, J. H.; TAUSCHER, B. Antimicrobial properties of grape seed extracts and their effectiveness after incorporation into pea starch films. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 425-433, 2009.

DIAS, F. S.; RAMOS, C. L.; SCHWAN, R. F. Characterization of spoilage bacteria in pork sausage by PCR–DGGE analysis. **Food Science and Technology**, v.33, p. 468-474, 2013.

DOU, L. LI, B.; ZHANG, K.; CHU, X.; HOU, H. Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.118, n. B, p. 1377-1383, 2018.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. de M.; MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J. QUEIROZ, F. P. C. Edible films and toppings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of *Crimson* grapes. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 369-375, 2007.

FIGUEIRO, L. S. **Influência da redução do teor de nitrito de sódio na estabilidade oxidativa e avaliação microbiológica de linguiça suína frescal.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

GADEKAR, Y. P.; SHARMA, B. D.; SHINDE, A. K.; VERMA, A. K.; MENDIRATTA, S. K. Effect of natural antioxidants on the quality of cured, restructured goat meat product during refrigerated storage ( $4 \pm 1$  °C). **Small Ruminant Research**, v. 119, 72-80, 2014.

GIMÉNEZ, B.; LÓPEZ DE LACEY, A.; PÉREZ-SANTÍN, E.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MONTERO, P. Release of active compounds from agar and agar–gelatin films with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 264-271, 2013.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LACEY, A. L. DE; LOPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, v. 27, e. 889896, 2010.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J. GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: Water vapor permeability and other physical properties. **International Journal Food Science Technology**, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

GRENNER, I. K.; FENNEMA, O. Evaluation of edible, bilayer films for use as moisture barriers for food. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 6, p. 1400-1406, 1989.

HAYES, J. E.; STEPANYAN, V.; ALLEN, P.; GRADY, M. N. O.; KERRY, J. P. Evaluation of the effects of selected plant-derived nutraceuticals on the quality and shelf-life stability of raw and cooked pork sausages. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 164-172, 2011.

HONG, Y. H., LIM, V. A.; SONG, K. B. Physical properties of *Gelidium Corneum*-gelatin blend films containing grapefruit seed extract or green tea extract and its application in the packaging of pork loins. **Journal of Food Science**, v. 74, C6-C10, 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008.

ITURRIAGA, L., OLABARRIETA, I.; MARAÑÓN, I. DE. Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films. **International Journal of Food Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 58-64, 2012.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Suínos: Abate, Corte e Processamento na Área Rural e Processamento Artesanal de Produtos com Carne Suína**. Campinas: CTC, 2005.

INDUMATHI, J.; REDDY, O. Effect of different natural antioxidant extract on the Shelf life of functional chicken meat nuggets. **International Journal of Advanced Research**, v. 3, p. 820-828, 2015.

JANG, S. A. S.; SHIN, Y. J.; CANÇÃO, K. B. Effect of rapeseed protein-gelatin film containing grapefruit seed extract on 'Maehyang' strawberry quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, 620-625, 2011.

KALEM I. K.; BHAT, Z. F.; KUMAR, S.; DESAI, A. *Terminalia arjuna*: A novel natural preservative for improved lipid oxidative stability and storage quality of muscle foods. **Food Science and Human Wellness**, v. 6, n. 4, p. 167-175, 2017.

KORNACKI, J. L.; JOHNSON, J. L. **Enterobacteriaceae, coliforms, and *Escherichia coli* as quality and safety indicators**. In F. P Downes & K. Ito (Eds.). Compendium of methods for the microbiological examination of foods (pp. 69-82). Washington: American Public Health Association. 2001.

KULISIC, T.; RADONIC, A.; KATALINIC, V.; MILOS, M. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. **Food Chemistry**, v. 85, p. 633-640, 2004.

LEITE, L.S.F.; FERREIRA, C.M.; CORREA, A.C.; MOREIRA, F.K.V. Scale-up production of gelatin-cellulose nanocrystal bionanocomposite films by continuous casting. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, e. 116198, 2020.

LI, J. H.; MIAO, J., WU, J.-L., CHEN, S.-F., & ZHANG, Q.-Q. Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 166-173, 2014.

LÓPEZ, D.; MÁRQUEZ, A.; CUTIÑO, M. G.; YAZIGI, D. V.; BUSTOS, R.; MATIACEVICH, S. Edible film with antioxidant capacity based on salmon gelatin and boldine. **Food Science and Tecnology**, v. 77, p. 160-169, 2017.

MARTINS, C. S. F. **Filme Ativo com Extrato de Chá Verde na Preservação de Alimentos Suscetíveis à Oxidação Lipídica**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. 2018.

- MESQUITA, R. A. **Desenvolvimento de biofilme comestível à base de gelatina e própolis para conservação de frutas.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2015.
- MORAIS, S. M. DE; CAVALCANTI, E. S. B.; COSTA, S. M. O.; AGUIAR, L. A. Antioxidant action of teas and seasonings more consumed in Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, p. 315-320, 2009.
- NAJWA, I. S. N. A.; GUERRERO, P.; CABA, K. DE LA; HANANI, Z. A. N. Physical and antioxidant properties of starch/gelatin films incorporated with *Garcinia atroviridis* leaves. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, e. 100583, 2020.
- NOORBAKHS-SOLTANI, S. M.; ZERAFATS, M. M.; SABBAGHI, S. A comparative study of gelatin and starch-based nanocomposite films modified by nanocellulose and chitosan for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 189, p. 48-55, 2018.
- NUNEZ-FLORES, R., GIMÉNEZ, B., FERNÁNDEZ-MARTÍN, F., LÓPEZ-CABALLERO, ME, MONTERO, MP, & GÓMEZ-GUILLÉN, MC. Role of lignosulphonate in properties of fish gelatin films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1, p. 60–71, 2012.
- PAPASTERGIADIS, A.; MUBIRU, E.; VAN LANGENHOVE, H.; MEULENAER, B. Malondialdehyde measurement in oxidized foods: evaluation of the spectrophotometric thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) test in various foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 9589–9594, 2012.
- RATTAYA, S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 1, p. 151-157, 2009.
- RANGARAJ, V. M.; RAMBABU, K.; BANAT, F.; MITTAL, V. Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. **Food Chemistry**, v. 355, e. 129631, 2021.
- RODRIGUES, M. J.; NEVES, V.; MARTINS, A.; RAUTER, A. P.; NENG, N. R.; NOGUEIRA, J. M. F.; VARELA, J.; BARREIRA, L.; CUSTÓDIO, L. In vitro antioxidant and anti-inflammatory properties of *Limonium algarvense* flowers' infusions

and decoctions: A comparison with green tea (*Camellia sinensis*). **Food Chemistry**, e. 200, p. 322–329, 2016.

ROJAS-GRAU, M. A.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; FREDMAN, M.; HENIKA, P. R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; MCHUGH, T. H. Mechanical, Barrier and Antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, e. 54, v. 24, p. 9262-9267, 2006.

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

SARBON, N. M.; NAZLIN, F. B.; HOWELL, K. Preparation and characterization of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n.1, p. 143-151, 2013.

SHETTA, A.; KEGERE, J.; MAMDOUH, W. Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 731-742, 2019.

SILVESTRI, J. D.; PAROUL, N.; CZYIEWSKI, E.; LERIN, L.; ROTAVA, I.; CANSIAN, R. L.; MOSSI, A.; TONIAZZO, G.; OLIVEIRA, D. DE; TREICHEL, H. Perfil da composição química e atividades antibacteriana e antioxidante do óleo essencial do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata* Thunb.). **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 589-594, 2010.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 24, p. 770-775, 2010.

SUDERMAN, N. ISA, M. IN.; SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, v. 24, p. 111-119, 2018.

TAN, Y.M.; LIM, S. H.; TAY, B. Y.; LEE, M. W.; THIAN, E. S. Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite films for applications in food packaging technology. **Materials Research Bulletin**, v. 69, p. 142-146, 2015.

TERRA, N. N.; BRUM, M. A. R. **Carne e seus derivados: técnicas de controle de qualidade**. São Paulo: Nobel, 1988.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p.1571-1579, 2012.

UGALDE, M.L., CEZARO, A M. DE., CENCE, A., VALÉRIO, C. J., PAROUL, A., TONIAZZO, G., STEFFENS, J., CANSIAN, R. L. Actividad Antibacteriana y Antioxidante de los Aceites Esenciales Comerciales de Romero, Clavo de Olor, Orégano e Salvia. **Repositorio Espanhol de Ciência e Tecnologia**, e. 18, v. 25, p. 54-61, 2016.

UMARAW, P.; MUNEKATA, P. E. S.; VERMA, A. K.; BARBA, F. J.; SINGH, V. P.; KUMAR, P.; LORENZO, J. M. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 98, p. 10-24, 2020.

VILARINHO, F., ANDRADE, M., BUONOCORE, G. G., STANZIONE, M., VAZ, M. F., SILVA, A. S. Monitoring lipid oxidation in a processed meat product packaged with nanocomposite poly (lactic acid) film. **European Polymer Journal**, v. 98, p. 362-367, 2018.

VANIN, A. B., ORLANDO, T., PIAZZA, S., PUTON, B. M. S., CANSIAN, R. L., OLIVEIRA, D., PAROUL, N. Antimicrobial and antioxidant activities of clove essential oil and eugenyl acetate produced by enzymatic esterification. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 174, 1286-1298, 2014.

WENJIAO, F. YUNCHUAN, C., JUNXIU, S., YOHEGKUI, Z. Effects of tea polyphenol on quality and shelf life of pork sausages **Journal Food Science Technology**, v. 51, 191-195, 2014.

ZHAO B. ZHOU, H., ZHANG, S.; PAN, X., LI, S., ZHU, N., WU, Q., WANG, S., QIAO, X., CHEN, W. Changes of protein oxidation, lipid oxidation and lipolysis in Chinese dry sausage with different sodium chloride curing salt content. **Food Science and Human Wellnes**, v. 9, n. 4, p. 328-337, 2020.



---

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA COM  
EXTRATO DE CHÁ VERDE E AVALIAÇÃO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA DE  
PRODUTOS CÁRNEOS INTERFOLHADOS**

**RESUMO**

O objetivo do trabalho foi caracterizar filmes à base de fécula de mandioca industrial incorporado com extrato de chá verde e investigar a eficácia da atividade antioxidante desse filme comestível contra a degradação oxidativa de produtos cárneos cozidos fatiados. A concentração de 1% de chá verde nos filmes formulados com 5% de fécula (m/v), 35% de glicerol (m/m) apresentaram os melhores resultados na cinética de atividade antioxidante com IC50 entre 0,012 e 0,14 mg/mL durante 60 dias. Observou-se aumento da variação de cor ( $\Delta E$ ) em relação ao filme sem extrato com aumento da concentração deste. A superfície e a micromorfologia transversal dos filmes não apresentaram irregularidades no MEV. As 3 formulações com adição de extrato mostraram maior alongamento percentual na ruptura ( $\epsilon$ ) em relação ao controle (sem adição de extrato), com maior resistência à tração observada no filme com 1,0%. Os parâmetros de umidade,  $a_w$  e solubilidade apresentaram pequenas variações nas formulações. Observou-se variação nos parâmetros oxidativos, mas o interfolhamento não melhorou a estabilidade oxidativa do presunto cozido. Já, nas amostras de calabresa, o filme de fécula de mandioca com extrato de chá verde foi capaz de inibir a oxidação por 15 dias, em comparação com o padrão e as amostras interfolhadas com filmes apenas de fécula. Os resultados deste estudo mostraram que a presença de extrato de chá verde (1,0%) no filme biopolimérico pode reduzir a oxidação lipídica de determinados produtos cárneos processados, estendendo sua vida útil e, portanto, sugerindo que o novo filme é uma boa alternativa em potencial aos plásticos convencionais.

Palavras-chave: Filmes ativos, MEV, TBARS, presunto cozido, calabresa.

**1. INTRODUÇÃO**

A preservação de carnes e produtos derivados deve ser objetivada no sentido de minimizar a degradação da qualidade desses alimentos. Nesse sentido, os principais requisitos de embalagem são contenção, proteção, preservação, repartição, unitização, conveniência e comunicação. Além disso, o uso de aditivos de qualidade alimentar e comestíveis, como os biopolímeros também é uma abordagem interessante para revestimentos e filmes. Estes apresentam vantagens pelo fato de que podem melhorar a qualidade dos alimentos, dependendo do filme e ou da composição do revestimento

(Umaraw et al., 2020). Filmes biodegradáveis são uma alternativa para substituir ou minimizar o uso de embalagens não biodegradáveis, devido à maior preocupação com os impactos relacionados a esses materiais.

O desenvolvimento de filmes biodegradáveis com adição de antioxidantes naturais é uma alternativa ao uso de embalagens não biodegradáveis e uso de antioxidantes sintéticos. Polímeros biodegradáveis, como amido, têm sido estudados extensivamente como um filme de embalagem potencial com boas propriedades físicas, mecânicas e de barreira. A popularidade do amido é devido ao baixo custo, fácil obtenção e boa capacidade de formação de filmes (Nouri & Nafchi; 2014; Assis et al., 2017).

Por esse motivo, este polímero é promissor para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis, que podem ser utilizados sem nenhum tratamento antes do processamento, com ou sem adição de plastificantes e facilmente obtidos pela técnica de fundição, além de atuar como carreadores de compostos ativos (Assis et al., 2017). A maioria dos trabalhos com filmes ativos propõe aplicação do filme como embalagem externa, entretanto a migração dos compostos para o produto neste tipo de embalagem nem sempre é suficiente. Produtos cárneos comercializados fatiados estão mais expostos a processos de oxidação e, nestes casos, o interfolhamento com filmes ativos pode ser uma alternativa interessante.

O extrato de chá verde (*Camellia sinensis*), contém polifenóis, os quais incorporados em uma matriz de amido revelam melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos filmes, propriedades de barreira ao vapor de água e atividade antioxidante (Jaramillo et al., 2017). No entanto, a capacidade do extrato de chá verde como um componente ativo em filmes de amido de gerar um revestimento inteligente para interfolhamento de produtos cárneos ainda não foi investigado.

Portanto, os objetivos desta pesquisa foram elaborar e caracterizar filmes à base de fécula de mandioca industrial incorporado com extrato de chá verde e investigar a eficácia da atividade antioxidante desse filme comestível contra a degradação oxidativa de produtos cárneos cozidos fatiados.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção de filmes de interfolhamento**

Os filmes de fécula de mandioca foram obtidos a partir de uma solução contendo 3,5% de fécula (m/v), 35% de glicerol (m/m) (Proton Química®) como agente plastificante, suspensos em água destilada. Os componentes foram misturados e aquecidos gradualmente sob agitação em banho-maria, até atingir a temperatura de 70 °C sendo a mesma mantida por 10 minutos.

As soluções filmogênicas (SF) foram resfriadas até 35 °C para a adição do extrato de chá verde comercial (Duas Rodas®, São Paulo, Brasil) nas proporções 1,0, 2,5 e 5,0% (m/v de solução filmogênica), correspondendo a 17,5, 34,5 e 51,4% (m/m) de filme. Manteve-se uma SF sem a adição do extrato, a qual foi denominada de controle. As SF foram vertidas em panela de teflon de 15 cm de diâmetro previamente higienizadas com álcool 70%, objetivando a formação de filmes com espessura homogênea, sendo posteriormente submetidas à secagem em estufa com circulação de ar à 40 °C por 4 h. Passado este período, os filmes foram retirados das placas e armazenados em recipientes devidamente fechados à 4 °C até as análises posteriores.

### **2.2 Cinética de atividade antioxidante do filme de fécula de mandioca**

Avaliou-se a liberação de extrato de chá verde *in vitro* através da determinação da atividade antioxidante (AA) durante o armazenamento de filmes de interfolhamento a base de fécula de mandioca por 60 dias. Para a determinação da atividade antioxidante, os filmes previamente elaborados foram imersos em 10 mL de álcool etílico absoluto (Química Moderna, 99,3%), com agitação contínua de 220 rpm em *shaker* orbital, durante os 60 dias, protegidos da luz, em temperatura ambiente (25 °C ± 2 °C). O líquido residual de cada amostra foi submetido a determinação da AA (DPPH), a cada 7 dias.

A avaliação da atividade antioxidante foi baseada na medida da extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH). Foi realizada a incubação, por 30 min., de 500 µL de uma solução etanólica de DPPH 0,1 mM, com 500 µL de soluções, contendo diluições do etanol residual do contato com os filmes nos diferentes tempos. A solução denominada controle, foi preparada substituindo-se, 500 µL do etanol residual por 500 µL de etanol. A solução denominada “branco” foi preparada com as soluções em diferentes concentrações do etanol residual, sem DPPH.

O percentual de captação do radical DPPH foi calculado em termos da percentagem de atividade antioxidante (AA%), conforme a Equação 1.

$$AA\% = 100 - \{[(\text{Abs. amostra} - \text{Abs. branco}) \times 100] \div \text{Abs. controle}\} \quad (1)$$

A determinação foi realizada em espectrofotômetro UV Visível (Agilent Technologies, modelo 8453E) em comprimento de onda de 515 nm. Após a avaliação da faixa de concentração ideal, foi calculada a concentração de extrato necessária para capturar 50% do radical livre DPPH (IC<sub>50</sub>) por análise de regressão linear (Silvestri et al., 2010). Os resultados foram expressos pela média aritmética dos valores obtidos em três repetições.

### 2.3 Caracterização dos filmes

Os filmes selecionados na avaliação cinética de atividade antioxidante foram avaliados com relação a propriedades óticas, estrutura morfológica, propriedade mecânicas, umidade e solubilidade.

#### 2.3.1 Propriedades óticas

A cor objetiva foi determinada em colorímetro CR-400 Minolta Chromameter (Minolta Cia Ltda.), no espaço CIE L\*a\*b\*, onde L\* é luminosidade, a\* é intensidade da cor vermelha e b\* é intensidade da cor amarela. As determinações foram realizadas utilizando 20 g de filmes secos. O ΔE foi avaliado pela diferença entre os parâmetros L\*, a\* e b\* de cada concentração testada em relação ao branco pela Equação 2.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad (2)$$

#### 2.3.2 Estrutura morfológica

Para avaliar a estrutura morfológica foram realizadas análises de microscopia eletrônica (MEV) utilizando um microscópio marca Zeiss, modelo EVO LS25. Para o recobrimento da superfície das amostras com ouro foi utilizado um metalizador Quorum, SC 7620. As micrografias foram obtidas na tensão de 30 KV.

### 2.3.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes foram determinadas em uma máquina universal de ensaios mecânicos Instron 5569 (Instron Corporation, EUA) equipada com célula de carga de 500 N. Os testes foram realizados seguindo a norma ASTM D882-09 com algumas modificações. Corpos-de-prova em formato de fita (1,0 cm x 1,0 cm) foram pré-condicionados por no mínimo 48 h sob umidade relativa de 53% a 25 °C. Os ensaios foram realizados com separação inicial entre garras de 8,0 cm e velocidade de estiramento de 10 mm/min. Os valores médios de módulo elástico (E, MPa), resistência à tração ( $\sigma T$ , MPa) e alongamento na ruptura ( $\epsilon B$ , %) foram calculados. A espessura de cada corpo-de-prova foi determinada com um micrômetro digital Mitutoyo (Mitutoyo Corp., Japão) (Leite et al, 2020).

### 2.3.5 Umidade

A determinação de umidade foi realizada por método gravimétrico segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008), com adaptações, onde 1 g de cada amostra foi pesada e colocada em cadinhos previamente secos até peso constante, distribuídos em estufa de circulação de ar (Fanem Modelo 320 SE) a 105 °C  $\pm$  0,5 °C e secos até peso constante. O percentual de umidade foi calculado pela Equação 3:

$$U\% = (100 * N)/P \quad (3)$$

Onde: U é a umidade percentual, N é a número de gramas de umidade (perda de massa em gramas) e P é o número de gramas da amostra.

### 2.3.6 Solubilidade em água e óleo

Nesta análise foi obtida a porcentagem de material seco do filme solubilizado em água após 24 h de imersão (Gontard et al., 1994). Discos de 2,0 cm de diâmetro dos filmes foram cortados e secos a 105 °C por 24h em estufa, para a obtenção da porcentagem de material seco. Posteriormente as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e o sistema foi mantido durante 24 h à 25 °C, sob agitação (50 rpm). Após este período as amostras foram secas durante 24 h à 105 °C, em uma estufa com circulação e renovação de ar para determinar a massa seca final da amostra não solubilizada.

A solubilidade em óleo foi realizada conforme o mesmo procedimento, porém substituindo a água por azeite de oliva extra virgem. Após sistema ser mantido durante 24 h à 25 °C, sob agitação (50 rpm), foi realizada a retirada das amostras, sendo inseridas em papel filtro qualitativo com uma área de 24 cm<sup>2</sup>, onde permaneceram durante 2 h, para posteriormente ocorrer a secagem durante 24 h, a 105 °C, em estufa com circulação e renovação de ar, para finalmente determinar a massa seca final da amostra não solubilizada.

## 2.4 Aplicação no produto

Os filmes ativos selecionados na cinética de ação antioxidante, foram aplicados em presunto cozido e calabresa fatiada. As fatias de presunto e calabresa foram interfolhadas com os filmes desidratados, a base de fécula de mandioca e glicerol (Figura 1).

**Figura 1** - Presunto cozido interfolhado com filme ativo de fécula de mandioca adicionado de extrato de chá verde (1%)



Fonte: O Autor, 2020.

Os produtos interfolhados com filmes ativos foram embalados com filme de PVC (policloreto de vinila, 15 µm) e armazenados em recipientes fechados à 4 °C, por 60 dias, para acompanhamento da vida útil com relação a quatro aspectos principais: pH, acidez, oxidação lipídica, e qualidade microbiológica. Para fins comparativos foi mantido um tratamento padrão, o qual não foi interfolhado, e outra amostra interfolhada com filme sem adição de chá verde, sendo submetido às mesmas análises dos demais tratamentos.

### 2.4.1 Oxidação lipídica - TBARs

Para avaliar a extensão da oxidação lipídica ocorrida nos produtos embalados com e sem o filme ativo, foi utilizado o teste das substâncias reativas ao ácido 2 tiobarbitúrico (TBA), de acordo com metodologia descrita por Papastergiadis et al. (2012), no que se refere à adição de sulfanilamida para as amostras que contém nitrito, com algumas adaptações. Foram adicionados 0,5 mL de butil-hidroxi-tolueno (BHT) 0,5 % em um tubo contendo 5 g de amostra triturada. Em seguida, 2 mL de solução de sulfanilamida 0,5 %, deixando em repouso por 10 min. Posteriormente, 18 mL de ácido tricloroacético (TCA) 5 %, homogeneizando-se. Em uma alíquota de 2 mL do filtrado, serão adicionados 2 mL de ácido tiobarbitúrico TBA 0,08 M, sendo a reação conduzida em banho-maria (40 °C) por 1 h e 30 min. Posteriormente, realizou-se leitura em espectrofotômetro a 531 nm. A quantificação foi realizada frente a uma curva padrão de solução de 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) nas concentrações de  $1 \times 10^{-8}$  a  $1 \cdot 10^{-7}$  mol/mL. O resultado foi expresso em mg malonaldeído por kg de amostra.

#### 2.4.2 Índice de peróxido

O índice de peróxido foi determinado segundo metodologia descrita pelo ITAL (2005) com adaptações. Pesou-se 5 g da amostra adicionando-se 30 mL de uma solução de ácido acético clorofórmio em e agitado, adicionando-se 0,5 mL de uma solução saturada de iodeto de potássio e deixar em repouso por 1 min. Em seguida foi adicionado 30 mL de água destilada e 0,5 mL de uma solução de amido como indicador, titulando-se a com solução padrão de tiosulfato de sódio a 0,01 N. O resultado foi expresso em meq de peróxido por kg de amostra.

#### 2.4.3 pH

Foram utilizadas 10 g de cada amostra, homogeneizadas em 100 mL de água destilada, este homogeneizado submetido aos eletrodos do pHmetro durante 5 min, sendo procedida a leitura do pH (Dias et al., 2013).

#### 2.4.4 Acidez

A determinação da acidez total foi realizada segundo metodologia descrita por Terra e Brum (1988). Inicialmente, 10 g de amostra foram diluídas em 200 mL de água destilada, trituradas durante 1 min e transferidas para um balão volumétrico de 250 mL, e o volume completado, a solução filtrada. Em seguida, foram transferidos 25 mL do

filtrado e adicionado de 75 mL de água destilada juntamente com 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%. Posteriormente, realizou-se a titulação com solução de NaOH 0,1N, até o ponto de viragem (surgimento da coloração rósea e/ou pH = 8,2). A acidez total foi expressa em g de ácido oléico por 100 g de amostra.

## 2.5 Análise Estatística

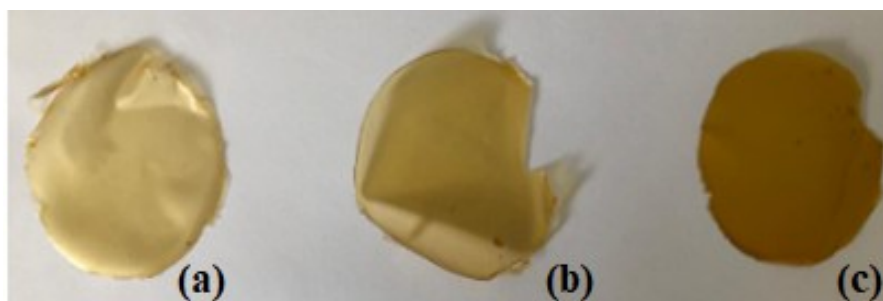
Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa ASSISTAT®.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Obtenção do filme de interfolhamento

A Figura 2 apresenta o aspecto visual das formulações de filme de amido de fécula de mandioca com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde, demonstrando diferenças na coloração conforme a quantidade de chá adicionada. Para avaliar a relação da quantidade de chá adicionado com a atuação como antioxidante, seguiu-se a avaliação *in vitro* da atividade de antioxidante para uma posterior seleção, pois relacionado aos filmes de interfolhamento a coloração do filme pouco iria influenciar em aspectos visuais na escolha do produto.

**Figura 2** - Filme ativo a base de fécula de mandioca e glicerol com diferentes concentrações de chá verde.



(a) 1%, (b) 2,5% e (c) 5% (v/v de solução filmogênica).

Fonte: O autor, 2020.



### 3.2 Cinética de atividade antioxidante do filme de fécula de mandioca

Os resultados da cinética de atividade antioxidante do líquido residual em etanol referente ao filme de fécula de mandioca adicionado de extrato de chá verde, estão apresentados na Tabela 1.

Os resultados de atividade antioxidante dos filmes de fécula de mandioca com as diferentes concentrações de chá verde indicam menor variação dos valores de IC<sub>50</sub>, tanto nos dias de armazenamento como entre as concentrações testadas. Observa-se menor liberação do extrato no 1º dia, com liberação mais homogênea do mesmo a partir do 14º dia de armazenamento.

**Tabela 1** – Cinética de atividade antioxidante com equações da reta e IC<sub>50</sub> para os diferentes tempos de armazenamento do filme de fécula de mandioca com diferentes concentrações de chá verde.

Tempo (dias)	Concentração de chá verde (%)					
	1		2,5		5	
	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta	IC <sub>50</sub>	Equação Reta
1	<b>0,120</b>	y=402,06x+4,1021 r <sup>2</sup> =0,9108	<b>0,125</b>	y=362,34x+4,707 r <sup>2</sup> =0,9419	<b>0,134</b>	y=323,98x+6,462 r <sup>2</sup> =0,9579
7	<b>0,040</b>	y=1010,5x+4,0812 r <sup>2</sup> =0,9238	<b>0,065</b>	y=696,66x+4,717 r <sup>2</sup> =0,9828	<b>0,092</b>	y=422,56x+10,83 r <sup>2</sup> =0,9212
14	<b>0,020</b>	y=2222,4x+6,759 r <sup>2</sup> =0,9408	<b>0,035</b>	y=1108,1x+11,613 r <sup>2</sup> =0,9784	<b>0,016</b>	y=1336,2x+28,871 r <sup>2</sup> =0,9973
21	<b>0,021</b>	y=1300,2x+22,915 r <sup>2</sup> =0,6383	<b>0,041</b>	y=813,47x+16,623 r <sup>2</sup> =0,9167	<b>0,017</b>	y=2801,5x+3,251 r <sup>2</sup> =0,9922
28	<b>0,012</b>	y=4168,2x+1,4291 r <sup>2</sup> =0,9444	<b>0,049</b>	y=803,31x+10,638 r <sup>2</sup> =0,9304	<b>0,014</b>	y=3252,5x+4,429 r <sup>2</sup> =0,8397
35	<b>0,020</b>	y=2045,1x+9,6217 r <sup>2</sup> =0,636	<b>0,062</b>	y=594,96x+13,214 r <sup>2</sup> =0,9518	<b>0,011</b>	y=4412x+2,9846 r <sup>2</sup> =0,8789
42	<b>0,130</b>	y=2231,1x+209,18 r <sup>2</sup> =0,9621	<b>0,070</b>	y=326,9x+27,111 r <sup>2</sup> =0,9485	<b>0,117</b>	y=382,45x+5,3855 r <sup>2</sup> =0,9522
60	<b>0,130</b>	y=2072,7x+225,88 r <sup>2</sup> =0,9389	<b>0,081</b>	y=541,21x+6,3644 r <sup>2</sup> =0,939	<b>0,130</b>	y=2824,5x+136,61 r <sup>2</sup> =0,9309

De maneira geral, os valores de IC<sub>50</sub> dos filmes de fécula com 1% de extrato de chá verde são menores ou semelhantes aos valores com as demais concentrações nos diferentes tempos de armazenamento, indicando que esta concentração é suficiente para obtenção de atividades antioxidantes elevadas.

### 3.3 Caracterização do filme

#### 3.3.1 Propriedades óticas

Para avaliar a homogeneidade do extrato de chá verde nos filmes e, portanto, na superfície do produto, foram utilizadas técnicas de colorimetria. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de cor para os filmes de interfolhamento adicionados com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Devido aos parâmetros de cor serem aspecto físico, os quais devem ser avaliados segundo a sua influência para garantir que o revestimento e o interfolhamento não alterem a maneira e aspectos de comercialização, é necessário que o filme seja o mais transparente possível, com isso foi avaliado o parâmetro L\*, o qual indica a luminosidade da amostra, assim quanto mais próximo a 100 mais clara é a amostra. O tratamento estatístico mostrou que, com o aumento na concentração de chá no filme a amostra apresenta um escurecimento devido a coloração do chá, alterando a transparência do filme, essa diferença foi significativa a partir da concentração de 2,5% (v/v de solução filmogênica). O filme com 1% de chá manteve a mesma luminosidade do filme controle.

**Tabela 2** - Parâmetros de cor para o filme de interfolhamento de fécula de mandioca, adicionado com diferentes concentrações de chá verde.

Concentração de chá	L*	a*	b*	$\Delta E$
Controle	63,01 <sup>a</sup> ± 2,08	-1,64 <sup>c</sup> ± 0,11	0,95 <sup>c</sup> ± 0,06	-
1%	61,18 <sup>a</sup> ± 2,07	-1,59 <sup>c</sup> ± 0,20	9,32 <sup>b</sup> ± 0,41	12,13 <sup>c</sup> ± 0,52
2,5%	47,64 <sup>b</sup> ± 1,32	-0,88 <sup>b</sup> ± 0,14	19,08 <sup>a</sup> ± 1,12	19,08 <sup>b</sup> ± 0,83
5%	40,14 <sup>c</sup> ± 1,01	3,21 <sup>a</sup> ± 0,10	22,68 <sup>a</sup> ± 1,01	25,54 <sup>a</sup> ± 0,87

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais na coluna para cada tipo de filme, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey) para o mesmo parâmetro de cor.

O parâmetro de cromaticidade a\* que indica a variação entre as cores verde (-) e vermelho (+), aumenta com o aumento na concentração de chá. Esse efeito é característico da coloração do chá, ou seja, apresentou uma variação para o vermelho com o aumento da concentração, enquanto os com baixa concentração estavam mais próximos ao verde, considerando que o extrato de chá verde apresenta coloração parda clara. Avaliando estatisticamente os dados, a concentração de 1% não apresentou diferença em relação ao controle ( $p > 0,05$ ). Já as concentrações de 2,5 e 5,0% diferem entre si e em relação as demais.

Para a cromaticidade  $b^*$ , que varia entre as cores azul (-) e amarelo (+), os valores encontram-se na região do amarelo, variando com a concentração de chá. O aumento da cor amarela foi intermediária, com a concentração de 1% e mais pronunciada nos filmes com 2,5 e 5,0% de chá, os quais não diferiram significativamente entre si.

Em relação ao parâmetro  $\Delta E$ , que determina a diferença total de cor dos filmes de interfolhamento com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde em comparação ao filme controle (sem adição de extrato), pode-se observar que ao aumentar a concentração de extrato de chá verde adicionado aos filmes ativos, aumenta o  $\Delta E$  com diferença significativa entre as amostras ( $p > 0,05$ ).

Em geral, ao avaliar as propriedades óticas, observa-se que a adição de extrato de chá altera todos os parâmetros de cor dos filmes, com maior tendência ao vermelho/amarelo e perda de brilho com o aumento da concentração.

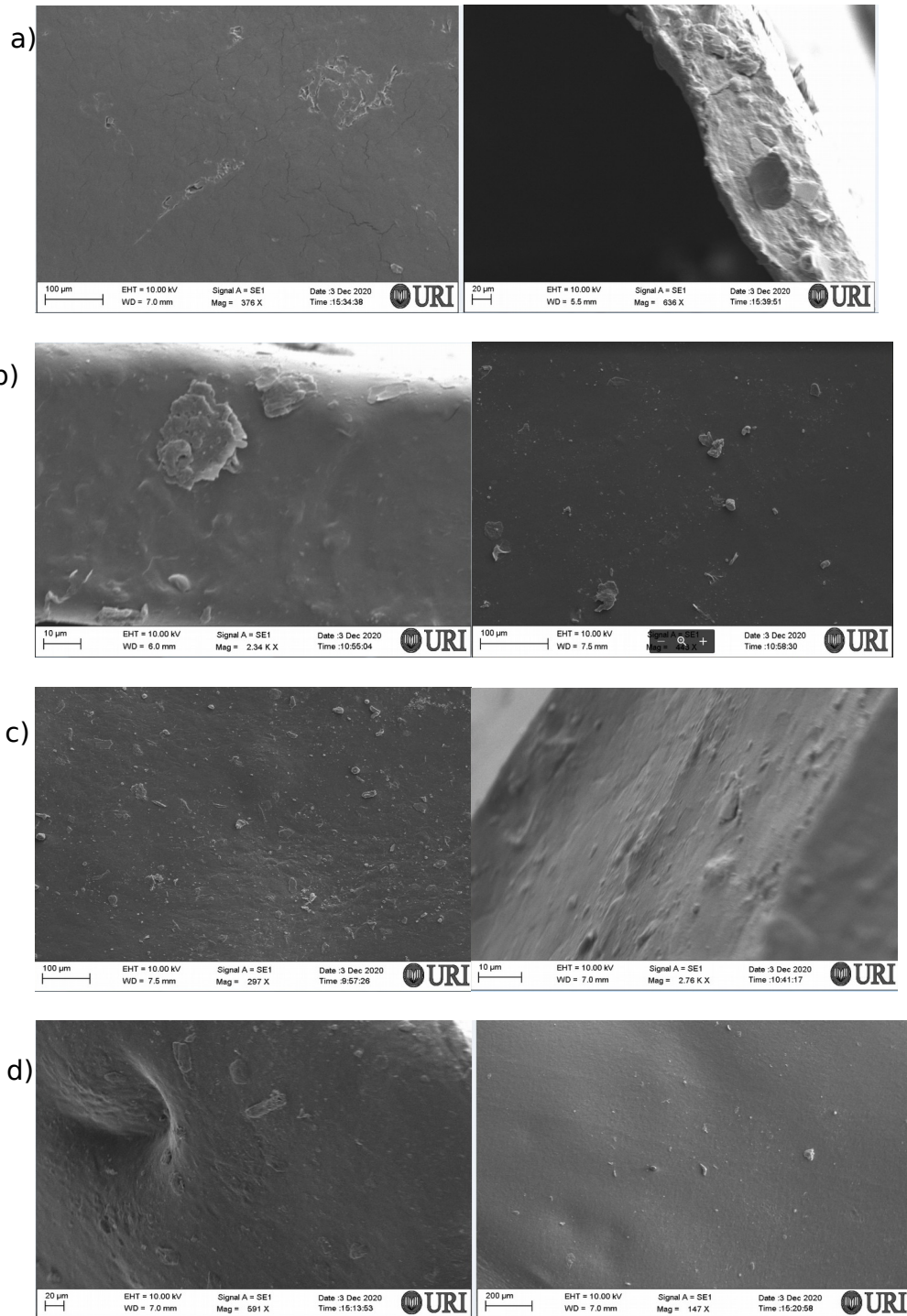
### 3.3.2 Estrutura morfológica

Os resultados para verificação da estrutura transversal e da superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) é apresentado na Figura 3.

A microscopia eletrônica de varredura de um filme busca correlacionar as propriedades físico-químicas com sua estrutura morfológica (Grenner & Fennema, 1989). Em relação às análises estruturais, é possível obter informações morfológicas como orientação e qualidade da interface de fibras de reforço, a interface entre matriz e fase dispersa de blendas imiscíveis, presença de impurezas, bolhas, trincas e superfícies irregulares.

Com o MEV foi possível observar que a superfície e a micromorfologia transversal não apresentaram irregularidades, como vesículas, orifícios e fendas, indicando interação e compatibilidades dos compostos utilizados na solução filmogênica, semelhante ao observado por Ju et al. (2020), que avaliaram filmes de quitosana adicionados de bio nanocompósitos. Conforme os resultados apresentados na Figura 3 pode-se verificar que os filmes de fécula de mandioca e glicerol com adição de extrato de chá verde apresentam uma boa interação e compatibilidade entre os componentes.

**Figura 3** - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de superfícies de seção transversal de filmes de fécula de mandioca.



Filmes de fécula de mandioca sem extrato (a) e com 1,0% (b), 2,5% (c) e 5,0% (d) de extrato de chá verde (v/v na solução filmogênica).

Fonte: O autor, 2020.

### 3.3.3 Propriedades mecânicas

O efeito da concentração do extrato nas propriedades mecânicas foi avaliado pelo alongamento na ruptura ( $\epsilon$ ) dos filmes e resistência à tração (RT) (Tabela 3).

Para todos os filmes, os valores percentuais de  $\epsilon$  variaram de 27,66 a 80,77% e de RT variaram de 0,29 a 0,87 Mpa (Tabela 3). Esses valores podem ser comparados com os obtidos por Caetano et al. (2018), que avaliaram filmes a base de fécula de mandioca adicionado de compostos naturais, os quais encontraram valores para a resistência à tração dos filmes (RT) entre 0,32 a 1,07 MPa.

**Tabela 3** - Parâmetros de ruptura e resistência a tração filmes de interfolhamento com adição de diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Filmes	Alongamento na ruptura - $\epsilon$ (MPa)	%	Resistência a tração - RT (MPa)	%	Módulos (0,05-0,25%) (GPa)
Controle	0,47 <sup>b</sup> ± 0,07	27,66 <sup>b</sup> ± 5,55	0,47 <sup>b</sup> ± 0,07	27,54 <sup>b</sup> ± 5,57	0,003 ± 0,001
1,0%	0,86 <sup>a</sup> ± 0,13	48,17 <sup>ab</sup> ± 16,38	0,87 <sup>a</sup> ± 0,13	47,45 <sup>ab</sup> ± 16,32	0,010 ± 0,004
2,5%	0,38 <sup>bc</sup> ± 0,03	51,70 <sup>a</sup> ± 17,50	0,39 <sup>bc</sup> ± 0,03	50,84 <sup>ab</sup> ± 16,40	0,002 ± 0,000
5,0%	0,28 <sup>c</sup> ± 0,09	80,77 <sup>a</sup> ± 27,66	0,29 <sup>c</sup> ± 0,10	74,11 <sup>a</sup> ± 36,73	0,006 ± 0,002

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

As formulações com adição de extrato com 1 e 2,5% de chá mostraram maior alongamento percentual na ruptura ( $\epsilon$ ) em relação ao controle (sem adição de chá), com maior resistência à tração observada no filme com 1,0% (v/v) e um alongamento percentual menor na ruptura em comparação com as outras formulações com chá (Tabela 3), que caracterizou este material como mais rígido que o controle. Conforme Ju et al. (2020) o qual avaliou a resistência à tração de filmes de quitosana, a adição de bionanocompósitos melhorou as propriedades mecânicas pois apresentou maiores valores

de resistência a tração, semelhante ao encontrado, onde o filme com adição de 1,0% de extrato de chá verde apresentou os melhores resultados para as propriedades mecânicas.

Essas diferenças no comportamento mecânico dos filmes formulados podem ser explicadas pela interação do extrato com os constituintes dos filmes, alterando as propriedades das fases contínuas e o efeito da cristalinidade formada após o processamento e armazenamento do filme de amido. Além disso, a regularidade da molécula de amilose proporcionou a formação de regiões cristalinas conforme pode ser observado com os resultados de MEV e, juntamente com um maior número de pontos de contato, contribuiu para um comportamento semelhante aos polímeros semicristalinos convencionais, por exemplo, uma maior resistência à tração e menor alongamento na porcentagem de ruptura (Perazzo et al., 2014).

A incorporação de aditivos em determinadas concentrações testadas confere maior resistência aos filmes, característica importante para uso no setor de embalagens em geral, onde não é necessária grande deformação ( $\epsilon$ ) dos filmes. A adição do extrato de chá verde (acima de 1%) afetou negativamente a resistência à tração, pois o aumento nas concentrações de extrato aumentou a porcentagem de ruptura. O alongamento na ruptura indica a flexibilidade dos filmes e a capacidade de alongamento. O aumento acentuado de chá impactou negativamente esse parâmetro, quando comparado ao resultado de o filme de controle e de filme com 1% de extrato. As propriedades dos filmes de fécula dependem de uma série de fatores, como a natureza do polímero e sua estrutura coesiva, tipo de processamento, condições ambientais, tipo de plastificante, espessura entre outros (Caetano et al., 2018; Perazzo et al., 2014).

A base do filme que continha plastificantes adicionados (glicerol), adicionada de extrato de chá que pode aumentar esta característica, pode ter resultado em interações excessivas entre a rede do filme e os plastificantes e menor flexibilidade do filme. Esta variação pode ser causada por alguns dos compostos naturais presentes nos extratos, que podem afetar bastante a rede de filmes de amido e o desempenho mecânico. Este resultado pode ser comparado com resultados encontrados por Pelissari (2009), os quais relataram em seu estudo de que o óleo de orégano adicionado aos filmes à base de amido de mandioca causou uma redução na resistência à tração dos filmes e um aumento significativo no alongamento, provavelmente devido à ação plastificante de óleo.

O maior módulo de tração foi observado para o filme incorporado com 1,0% de chá sofrendo uma queda e posterior aumento com o aumento na concentração de chá.

Segundo Soni et al. (2020), o aumento nos valores dos módulos de tração é afetado pela adição de certa concentração de amido, pois o amido tem a capacidade de formar aglutinados com as nanofibras de celulose e melhorar a compatibilidade de resistência mecânica, como a concentração de fécula é sempre semelhante, o que pode estar relacionado com esse resultado é a formação de grânulos nos filmes adicionados com 5,0% de chá, como observado pela microscopia (Figura 4).

### 3.3.4 Parâmetros de umidade

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de umidade, atividade de água ( $a_w$ ) e solubilidade para os filmes de fécula de mandioca de interfolhamento, com diferentes concentrações de extrato de chá verde. Os resultados não apresentaram diferenças estatísticas entre as diferentes concentrações de chá incorporadas e o filme controle para o parâmetro umidade.

**Tabela 4** - Parâmetros de umidade,  $a_w$  e solubilidade para os filmes de interfolhamento com diferentes concentrações de extrato de chá verde.

Concentração de chá	Umidade	$a_w$	Solubilidade em água	Solubilidade em óleo
Controle	0,51 <sup>a</sup> ± 0,03	0,691 <sup>b</sup> ± 0,009	55,49 <sup>d</sup> ± 0,31	33,46 <sup>d</sup> ± 0,25
1,0%	0,55 <sup>a</sup> ± 0,02	0,706 <sup>b</sup> ± 0,007	59,18 <sup>c</sup> ± 0,19	35,33 <sup>c</sup> ± 0,36
2,5%	0,52 <sup>a</sup> ± 0,04	0,721 <sup>a</sup> ± 0,005	64,58 <sup>b</sup> ± 0,29	37,66 <sup>b</sup> ± 0,19
5,0%	0,51 <sup>a</sup> ± 0,03	0,730 <sup>a</sup> ± 0,006	68,35 <sup>a</sup> ± 0,23	38,45 <sup>a</sup> ± 0,18

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais na coluna para cada tipo de filme, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

Em relação a atividade de água, observou-se um acréscimo desta com a incorporação de 2,5 e 5,0% de extrato de chá verde, diferindo das demais formulações (Tabela 4). Esses resultados podem estar relacionados a sensibilidade do extrato a água, por ser altamente hidrossolúvel.

A solubilidade é uma propriedade importante dos filmes biodegradáveis porque pode afetar a resistência a água dos filmes, especialmente em um ambiente úmido. A solubilidade está relacionada com as propriedades hidrofílicas dos filmes, ionização de grupos amino ou carboxílico, dissociação de hidrogênio e ligações iônicas e flexibilidade de polímeros (Mathew et al., 2006). Ao analisar a Tabela 4, observou-se um aumento significativo ( $p > 0,05$ ) da solubilidade em água e em óleo dos filmes com o aumento da

concentração de extrato de chá verde nestes. De acordo com Mir et al. (2018), o extrato de chá verde apresenta um efeito significativo sobre a solubilidade dos filmes, e essa variação poderia ser atribuída aos diferentes componentes ativos do extrato de chá verde. Segundo os mesmos autores, isso pode ser justificado devido aos grupos hidroxilas que aumentaram a solubilidade dos filmes.

A capacidade de umidificação de tais componentes pode alterar a resistência mecânica dos materiais biodegradáveis. Componentes naturais que absorvem água podem aumentar a hidrofiliabilidade de filmes de base biológica de fécula de mandioca, que já são materiais altamente hidrofílicos, em função do tipo de processamento e das condições ambientais de armazenamento (Perazzo et al., 2014). Além disso, a solubilidade do filme é uma importante propriedade funcional, que indica a biodegradabilidade dos filmes.

Peng et al. (2013), investigaram os efeitos de 0,5; 1 e 2% de extrato de chá verde e extrato de chá preto nas propriedades físicas, estruturais e antioxidantes dos filmes de quitosana e verificaram que a adição de extratos diminuiu significativamente a permeabilidade ao vapor de água e melhoraram significativamente a solubilidade do filme na água.

### **3.4 Aplicação em Produtos cárneos**

#### **3.4.1 Estabilidade oxidativa de presunto cozido**

Os resultados da avaliação da estabilidade oxidativa de presunto cozido interfolhado com filmes de fécula de mandioca sem e com 1% de extrato de chá verde incorporado, são apresentados na Tabela 5.

Os resultados entre o controle e as amostras interfolhadas com filme de fécula de mandioca sem adição de chá, não apresentaram diferenças significativas para as medidas de pH. As amostras com filme de interfolhamento adicionado de extrato de chá verde (1,0%) apresentaram diferenças significativas e os menores valores, o que pode estar relacionado com as interações entre o extrato e a água presente no produto. O presunto é um alimento com alto teor de umidade e o extrato apresenta afinidade pela água, formando pontes de hidrogênio. Alexandretti et al. (2013) realizaram testes de sinérese de presunto durante o armazenamento e demonstram uma grande perda de água juntamente com a diminuição do pH.



Os valores de pH ficaram 5,2 a 5,45 para a amostra sem chá e controle, respectivamente. Segundo Toldrá (2002), valores de pH de presunto entra 5,8 e 6,2 estão equivalente a produtos frescos e em ótimas condições para consumo, valores observados até 50 dias de armazenamento em todos os tratamentos.

**Tabela 5** – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica (índice de peróxidos e TBARs) em presunto cozido padrão, interfolhado com filme polimérico a base de fécula sem e com extrato de chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo e armazenados a 4 °C.

Tempo de armazenamento (Dias)	Padrão (sem filme)	Filme de Fécula de mandioca	Filme de Fécula + Chá verde (1,0%)
<b>pH</b>			
<b>Inicial</b>	6,55 <sup>aA</sup> ± 0,08	6,55 <sup>aA</sup> ± 0,08	6,55 <sup>aA</sup> ± 0,08
<b>7</b>	6,51 <sup>aA</sup> ± 0,01	6,45 <sup>aA</sup> ± 0,01	6,45 <sup>aA</sup> ± 0,01
<b>14</b>	6,43 <sup>abA</sup> ± 0,03	6,47 <sup>aA</sup> ± 0,01	6,49 <sup>aA</sup> ± 0,03
<b>21</b>	6,39 <sup>bA</sup> ± 0,02	6,34 <sup>bA</sup> ± 0,05	6,31 <sup>bA</sup> ± 0,03
<b>28</b>	5,83 <sup>cB</sup> ± 0,08	6,00 <sup>cA</sup> ± 0,03	5,94 <sup>cA</sup> ± 0,04
<b>35</b>	5,88 <sup>cA</sup> ± 0,04	5,97 <sup>cA</sup> ± 0,06	5,86 <sup>cdA</sup> ± 0,05
<b>50</b>	5,95 <sup>cA</sup> ± 0,04	6,01 <sup>cA</sup> ± 0,02	5,84 <sup>dB</sup> ± 0,03
<b>60</b>	5,44 <sup>dA</sup> ± 0,04	5,39 <sup>dA</sup> ± 0,02	5,20 <sup>eB</sup> ± 0,04
<b>Acidez (g de ácido oléico/100 g)</b>			
<b>Inicial</b>	9,31 <sup>dA</sup> ± 0,74	9,31 <sup>bA</sup> ± 0,74	9,31 <sup>bA</sup> ± 0,74
<b>7</b>	8,71 <sup>dA</sup> ± 1,01	8,72 <sup>bA</sup> ± 1,54	8,71 <sup>bA</sup> ± 1,62
<b>14</b>	9,52 <sup>cdA</sup> ± 1,67	10,252 <sup>bA</sup> ± 1,53	10,23 <sup>bA</sup> ± 0,63
<b>21</b>	12,52 <sup>bcA</sup> ± 1,68	10,96 <sup>bA</sup> ± 1,06	14,61 <sup>aA</sup> ± 2,57
<b>28</b>	11,73 <sup>bcdA</sup> ± 2,54	11,18 <sup>abA</sup> ± 2,68	13,54 <sup>aA</sup> ± 1,67
<b>35</b>	14,99 <sup>abA</sup> ± 1,21	13,462 <sup>aA</sup> ± 2,74	15,35 <sup>aA</sup> ± 2,93
<b>50</b>	13,54 <sup>abA</sup> ± 1,27	13,88 <sup>aA</sup> ± 1,26	13,54 <sup>aA</sup> ± 1,64
<b>60</b>	15,72 <sup>aA</sup> ± 1,25	14,60 <sup>aA</sup> ± 1,26	16,10 <sup>aA</sup> ± 1,63
<b>Índice de Peróxidos (mq de peróxido/kg)</b>			
<b>Inicial</b>	0	0	0
<b>7</b>	0	0	0
<b>14</b>	0	0	0
<b>21</b>	4,66 <sup>A</sup> ± 1,14	6,81 <sup>A</sup> ± 1,70	3,43 <sup>A</sup> ± 1,81
<b>28</b>	0	0	0
<b>35</b>	0	0	0
<b>50</b>	0	0	0
<b>60</b>	0	0	0
<b>TBARs (mg malonaldeido/kg)</b>			

<b>Inicial</b>	0,18 <sup>ca</sup> ± 0,03	0,18 <sup>ca</sup> ± 0,03	0,18 <sup>da</sup> ± 0,03
<b>7</b>	0,14 <sup>ca</sup> ± 0,04	0,16 <sup>ca</sup> ± 0,01	0,16 <sup>da</sup> ± 0,02
<b>14</b>	0,37 <sup>ba</sup> ± 0,06	0,34 <sup>ba</sup> ± 0,06	0,38 <sup>ca</sup> ± 0,05
<b>21</b>	0,41 <sup>ba</sup> ± 0,16	0,27 <sup>ba</sup> ± 0,10	0,27 <sup>ca</sup> ± 0,05
<b>28</b>	0,43 <sup>ba</sup> ± 0,09	0,53 <sup>aa</sup> ± 0,09	0,46 <sup>bcA</sup> ± 0,06
<b>35</b>	0,72 <sup>aa</sup> ± 0,15	0,53 <sup>aa</sup> ± 0,11	0,51 <sup>abcA</sup> ± 0,16
<b>50</b>	0,84 <sup>aa</sup> ± 0,14	0,57 <sup>aa</sup> ± 0,13	0,64 <sup>abA</sup> ± 0,15
<b>60</b>	1,09 <sup>aa</sup> ± 0,20	0,78 <sup>aa</sup> ± 0,15	0,85 <sup>aa</sup> ± 0,18

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas para cada parâmetro e maiúsculas iguais nas linhas, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

Os parâmetros de acidez não apresentaram diferenças significativas entre as amostras analisadas (padrão, interfolhado com filme sem chá e interfolhado com filme com adição de extrato de chá verde). Observou-se um aumento da acidez com o tempo, o que pode estar relacionado com o curto período de maturação, que pode ter induzido uma pequena proteólise, e o crescimento de bactérias ácido-láticas durante o processamento, induzindo um aumento ( $p < 0,05$ ) da acidez dos produtos (Tabela 5). Além disso, os valores de pH podem ser comparados com os encontrados por Lima et al. (2017), o qual também não observou efeito significativo dos tratamentos, com os produtos apresentando um pH médio de 5,55.

Os peróxidos foram detectados apenas aos 21 dias de armazenamento, mas em valores baixos e semelhantes entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), inviabilizando uma análise de comportamento dos mesmos durante o armazenamento. Pode-se relacionar a presença detectável de peróxidos com o aumento no índice de TBARS após 21 dias de armazenamento. Os valores de TBARS aumentaram em relação ao tempo de armazenamento, sendo que não houve uma diferença significativa entre as amostras padrão, filmes de interfolhamento a base de fécula de mandioca sem e com adição de extrato de chá verde. Pode-se observar ainda que o interfolhamento não melhorou a estabilidade oxidativa do presunto. Essas reações de oxidação, constatadas pelo aumento nos valores de índice de TBARS, onde a rancidez oxidativa se desenvolve naturalmente, podem ser induzidas pela ação pró-oxidante do sal adicionado e pela quantidade de ácidos graxos livres liberados em consequência da ação lipolítica da microbiota ou de sistemas enzimáticos endógenos (Toldrá, 2002; Poulanne; Petaja-Kanninen, 2014).

Os valores de TBARS ficaram entre 1,09 e 0,78 mg de malonaldeído/kg de amostra, para o padrão e produto interfolhado com filme de fécula de mandioca sem

adição de chá verde, respectivamente. Esses resultados podem ser comparados com outros autores. Segundo Lima et al. (2017) os valores atingiram  $1,01 \pm 0,68$  mg MAD/kg, para presuntos crus adicionados de prebióticos. Bermúdez et al. (2014) também verificaram um aumento nos valores de TBARS durante a elaboração de presunto cru, que atingiram valor médio ao final do processamento de  $1,48$  mg MDA/kg. Valores similares ( $1,41$  mg MA/kg) também foram reportados por Coutron-Gambotti e Gandemer (1999) em presuntos crus ao final de 24 meses de processamento.

### 3.4.2 Estabilidade oxidativa de calabresa cozida

Os resultados da avaliação da estabilidade oxidativa de calabresa cozida interfolhada com filmes de fécula de mandioca sem e com 1% de extrato de chá verde incorporado, são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Valores de pH, acidez e oxidação lipídica (índice de peróxidos e TBARS) em calabresa cozida, interfolhada com filme polimérico a base de fécula sem e com extrato de chá verde (1%) e embalados em sacos de polipropileno sem vácuo e armazenados a 4 °C.

Tempo de armazenamento (Dias)	Padrão (sem filme)	Filme de Fécula de mandioca	Filme de Fécula + Chá verde (1,0%)
<b>pH</b>			
0	$6,38^{abA} \pm 0,03$	$6,38^{aA} \pm 0,03$	$6,38^{aA} \pm 0,03$
3	$6,38^{abA} \pm 0,02$	$6,36^{abA} \pm 0,04$	$6,38^{aA} \pm 0,01$
6	$6,33^{bA} \pm 0,03$	$6,26^{bA} \pm 0,06$	$6,31^{bA} \pm 0,02$
9	$6,35^{abA} \pm 0,02$	$6,33^{abA} \pm 0,03$	$6,34^{abA} \pm 0,02$
12	$6,41^{aA} \pm 0,04$	$6,39^{aA} \pm 0,04$	$6,41^{aA} \pm 0,05$
15	$6,42^{aA} \pm 0,05$	$6,38^{aA} \pm 0,02$	$6,39^{aA} \pm 0,04$
18	$6,17^{cA} \pm 0,03$	$6,12^{cA} \pm 0,03$	$6,18^{cA} \pm 0,04$
<b>Acidez (g de ácido oleico/100 g)</b>			
0	$8,27^{cA} \pm 0,58$	$8,27^{bA} \pm 0,58$	$8,27^{bA} \pm 0,58$
3	$8,31^{cA} \pm 0,49$	$8,91^{abA} \pm 0,53$	$8,45^{bA} \pm 0,38$
6	$9,47^{bA} \pm 0,39$	$9,80^{aA} \pm 0,46$	$9,49^{aA} \pm 0,52$
9	$8,62^{cA} \pm 0,40$	$8,76^{bA} \pm 0,37$	$8,60^{abA} \pm 0,34$
12	$9,07^{bcA} \pm 0,56$	$8,57^{bA} \pm 0,34$	$8,81^{abA} \pm 0,45$
15	$10,59^{aA} \pm 0,55$	$8,64^{bB} \pm 0,40$	$8,62^{abB} \pm 0,36$
18	$10,55^{aA} \pm 0,50$	$8,69^{bB} \pm 0,37$	$8,72^{abB} \pm 0,31$
<b>Índice de Peróxidos (mq de peróxido/1000 g)</b>			

<b>0</b>	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0
<b>6</b>	0	0	0
<b>9</b>	0	0	0
<b>12</b>	0	0	0
<b>15</b>	0	0	0
<b>18</b>	0	0	0
<b>TBARs (mg malonaldeído/kg)</b>			
<b>0</b>	0,66 <sup>ca</sup> ± 0,05	0,66 <sup>da</sup> ± 0,05	0,66 <sup>ca</sup> ± 0,05
<b>3</b>	0,81 <sup>ba</sup> ± 0,07	0,74 <sup>da</sup> ± 0,03	0,63 <sup>cb</sup> ± 0,03
<b>6</b>	0,80 <sup>ba</sup> ± 0,03	0,87 <sup>ca</sup> ± 0,05	0,67 <sup>cb</sup> ± 0,04
<b>9</b>	0,82 <sup>ba</sup> ± 0,04	0,84 <sup>ca</sup> ± 0,02	0,78 <sup>ba</sup> ± 0,06
<b>12</b>	0,79 <sup>bb</sup> ± 0,05	1,03 <sup>ba</sup> ± 0,10	0,79 <sup>bb</sup> ± 0,05
<b>15</b>	1,02 <sup>aa</sup> ± 0,06	1,17 <sup>aa</sup> ± 0,06	0,85 <sup>bb</sup> ± 0,07
<b>18</b>	1,07 <sup>aa</sup> ± 0,14	1,27 <sup>aa</sup> ± 0,10	1,22 <sup>aa</sup> ± 0,05

Médias ± desvio padrão seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas para cada parâmetro e maiúsculas iguais nas linhas, indicam não haver diferença significativa a nível de 95% (Teste de Tukey).

Os resultados referentes as medições do monitoramento do pH, mostraram que não houve diferença entre padrão, interfolhamento com fécula ou com fécula e extrato de chá verde (1,0%). Pode-se observar uma queda no pH após 18 dias de armazenamento, o que pode estar relacionado com o desenvolvimento de bactérias ácido lácticas, o que favorece a acidificação do produto (Li et al, 2014).

Para o parâmetro acidez, pode-se observar que os resultados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e o padrão, com aumento após 16 dias de armazenamento nas amostras padrão sem interfolhamento. Este resultado sugere uma ação do filme de interfolhamento reduzindo o processo de acidificação do produto. Entre o filme com e sem adição de extrato não foi possível observar diferenças significativas nesse parâmetro ( $p > 0,05$ ).

Durante o período de armazenamento não foi observado formação peróxidos em níveis detectáveis. Conforme Perazzo et al. (2014), a incorporação de aditivos antioxidantes em embalagens de amido como extrato de chá verde, em dispersões filmogênicas, são eficazes na preservação do produto embalado contra a oxidação.

As amostras interfolhadas com filmes biodegradáveis a base de fécula de mandioca e extrato de chá verde (1,0%) também exibiram valores baixos de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) até o décimo quinto dia de armazenamento,

que o sugere que o filme de fécula de mandioca com extrato de chá verde foi capaz de inibir a oxidação por 15 dias, em comparação com o padrão e as amostras interfolhadas com filmes apenas de fécula.

As proteínas podem ser oxidadas durante o armazenamento devido ao esgotamento de antioxidantes endógenos (Islam et al., 2017). Esta reação desencadeia ranço oxidativo que causa escurecimento da carne, sabores indesejáveis e mudanças na textura do produto (Kim et al., 2013). Portanto, os antioxidantes têm sido utilizados porque permitem prevenir a oxidação lipídica por meio de radicais necrófagos, rompendo a cadeia reações, decomposição de peróxidos, diminuição das concentrações localizadas de oxigênio e catalisadores de iniciação da cadeia de ligação (Monsalvea et al., 2019).

Sendo assim, a aplicação de filmes comestíveis e biodegradáveis incorporados de extratos naturais em produtos cárneos e derivados proporcionam resultados positivos no controle dos processos oxidativos. Shokrane et al. (2017), utilizaram extrato de chá verde e fibra de colágeno para estudo da estabilidade oxidativa de salsicha bovina obtiveram valores mais baixos de TBARS usando 0,5% de colágeno e 1% de extrato de chá verde. Como também reportado no caso da utilização de óleo essencial de cravo em filme de amido para avaliar a estabilidade oxidativa de salsichas comerciais com 1% de óleo essencial de cravo, o qual foi capaz de manter o valor de TBARS mais baixo do que apenas filme de amido e a amostra de controle (Ugalde et al., 2017).

Os resultados deste estudo mostraram que a presença de extrato de chá verde (1,0%) no filme biopolimérico pode reduzir a oxidação lipídica de produtos cárneos processados, estendendo sua vida útil e, portanto, sugerindo que o novo filme é uma boa alternativa em potencial aos plásticos convencionais.

#### **4. CONCLUSÃO**

A adição de extrato de chá verde altera os parâmetros de cor, com tendência ao vermelho/amarelo e perda de brilho com o aumento da concentração de chá nos filmes de interfolhamento. Ocorreu maior alongamento percentual na ruptura ( $\epsilon$ ) do que a amostra controle (sem chá), com maior resistência à tração observada no filme com 1,0% (v/v) de extrato. Os parâmetros de solubilidade e umidade não apresentaram diferenças entre as diferentes concentrações de chá incorporadas e o filme controle. Em relação a atividade de água, observou-se um acréscimo desta com a incorporação aumento na % de chá. A presença de extrato de chá verde (1,0%) no filme biopolimérico reduziu a oxidação

lipídica de calabresa, estendendo sua vida útil e, portanto, sugerindo que o novo filme é uma boa alternativa em potencial aos plásticos convencionais.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRETTI, C.; PRESTES, R. C.; LEITE, T. Stability of cans packed in different packaging. **Higiene Alimentar**, v. 21, p. 155-161, 2013.

ASSIS, R. Q.; LOPES, S. M.; COSTA, T. M. H.; FLORES, S. H.; RIOS, A. O. Active biodegradable cassava starch films incorporated lycopene nanocapsule. **Industrial Crops and Products**, v. 109, n. 1, p. 818-827, 2017.

BERMÚDEZ, R.; FRANCO, D.; CARBALHO, J.; LORENZO, J. M. Physicochemical changes during manufacture and final sensory characteristics of dry-cured Celta ham. Effect of muscle type. **Food Control**, v. 43, p. 263-269, 2014.

CAETANO, K. DOS S., LOPES, N. A., COSTA, T. M. H., BRANDELLI, A., RODRIGUES, E., FLORES, S. H., CLADERA-OLIVEIRA, F. Characterization of active biodegradable film based on canava starch and natural compounds. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 138-147, 2018.

COUTRON-GAMBOTTI, C.; GANDEMER, G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing. **Food Chemistry**, v. 64, n. 1, p. 95-101, 1999.

DIAS, F. S.; RAMOS, C. L.; SCHWAN, R. F. Characterization of spoilage bacteria in pork sausage by PCR–DGGE analysis. **Food Science and Technology**, v.33, p. 468-474, 2013.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J. GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: Water vapor permeability and other physical properties. **International Journal Food Science Technology**. Oxford, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

GRENNER, I. K.; FENNEMA, O. Evaluation of edible, bilayer films for use as moisture barriers for food. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 6, p. 1400-1406, 1989.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ISLAM, R. U., KHAN, M. A., & ISLAM, S. U. Plant derivatives as promising materials for processing and packaging of meat based products—focus on antioxidant and antimicrobial effects. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e12862, 2017.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Suínos: Abate, Corte e Processamento na Área Rural e Processamento Artesanal de Produtos com Carne Suína. Campinas: CTC, 2005.

JARAMILLO, C. M.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C. & FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 187-194, 2017.

JU, S.; ZHANG, F.; DUAN, J.; JIANG, J. Characterization of bacterial cellulose composite films incorporated with bulk chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study. **Carbohydrate Polymers**, v. 237, e116167, 2020.

KIM, S. J., CHO, A. R., & HAN, J. Antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extracts and their applications to meat product preservation. **Food Control**, v. 29, n.1, p. 112–120, 2013.

LEITE, L. S. F.; FERREIRA, C. M.; CORREA, A. C.; MOREIRA, F. K. V.; MATTOSOB, L. H. C. Scaled-up production of gelatin-cellulose nanocrystal bionanocomposite films by continuous casting. **Carbohydrate Polymers**, 2020.

LI, J. H.; MIAO, J., WU, J.-L., CHEN, S.-F., & ZHANG, Q.-Q. Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 166-173, 2014.

LIMA, I. A; GOMES, H.B.; RAMOS, A. S.; PICCOLI, R.H.; RAMOS, E. M. Physical, chemical and microbiological characterization of deboned dry-cured ham with added lactulose. **Brazilian Journal of Food technology**, v. 20, e2016028, 2017.

MATHEW, S.; BRAHMAKUMAR, M.; ABRAHAM, T. E. Microstructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal, and swelling properties of starch–chitosan blend films. **Biopolymer**, v. 82, n. 2, p. 176-187, 2006.

MIR, S. A.; DAR, B. N.; WANI, A. A.; SHAH, M. A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science Technology**, v. 80, p. 141- 154, 2018.

MONSALVEA, J. B.; TOROA, C. R.; GONZALEZA, C. C. Mechanisms of action of novel ingredients used in edible films to preserve microbial quality and oxidative stability in sausages - A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 89, p. 100-109, 2019.

NOURI, L., NAFACH, A. M. Antibacterial mechanical and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 66, p. 254-259, 2014.

PAPASTERGIADIS, A.; MUBIRU, E.; VAN LANGENHOVE, H.; MEULENAER, B. Malondialdehyde measurement in oxidized foods: evaluation of the spectrophotometric thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) test in various foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 9589–9594, 2012.

PELLISSARI, F. M. **Produção e caracterização de filmes de amido de mandioca, quitosana e glicerol com incorporação de óleo essencial de orégano**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

PENG, Y.; WU, Y.; LI, Y. Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 59, e282289, 2013.

PERAZZO, K.; CONCEIÇÃO, A. C. De V.; SANTOS, J. C. P dos; ASSIS, D. de J.; SOUZA, C.O.; DRUZIAN, I. Properties and Antioxidant Action of Actives Cassava Starch Films Incorporated with Green Tea and Palm Oil Extracts. **PLoSOne**, v. 9, n. 9, e. 105199, 2014.

POULANNE, E.; PETÄJÄ-KANNINEN, E. Principles of meat fermentation. In: TOLDRÁ, F.; HUI, Y. H.; ASTIASARAN, I.; SEBRANEK, J.; TALON, R. (Eds.). Handbook of fermented meat and poultry. **New York: John Wiley & Sons**, p. 13-17, 2014.

SHOKRANEH, N., ARIAI, P., RASOULI GHAHRODI, F., HASANNIA, F., & SABBAGHPOUR, S. The effect of coating with green Tea extract and collagen Fiber on



quality Attributes of vacuum packaged sausage. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v.7, n.1, p. 23–30, 2017.

SILVESTRI, J. D.; PAROUL, N.; CZYEWski, E.; LERIN, L.; ROTAVA, I.; CANSIAN, R. L.; MOSSI, A.; TONIAZZO, G.; OLIVEIRA, D. DE; TREICHEL, H. Perfil da composição química e atividades antibacteriana e antioxidante do óleo essencial do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata* Thunb.). **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 589-594, 2010.

SONI, R.; TAKA-AKI, A.; UYAMA, H. Cellulose nanofiber reinforced starch membrane with high mechanical strength and durability in water. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, e. 116203, 2020.

TERRA, N. N.; BRUM, M. A. R. **Carne e seus derivados: técnicas de controle de qualidade**. São Paulo: Nobel, 1988.

TOLDRÁ, F. **Dry-cured meat products**. Willey: Food & Nutrition Press, 2002. 224p.

UGALDE, M. L., CEZARO, A. M. DE., VEDOVATTO, F., PAROUL, N., STEFFENS, J., VALDUGA, E., BACKES, G. T., FRANCESCHI, E., CANSIAN, R. L. Active starch biopolymeric packaging film for sausages embedded with essential oil of *Syzygium aromaticum*. **Journal of Food Science and Technology**, v.54, n.7, p. 2171–2175, 2017.

UMARAW, P.; MUNEKATA, P. E. S.; VERMA, A. K.; BARBA, F. J.; SINGH, V. P.; KUMAR, P.; LORENZO, J. M. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. **Trends in Food Science e Technology**, v. 98, p. 10-24, 2020.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao avaliarmos a aplicação dos filmes de recobrimento com diferentes biopolímeros, a gelatina apresentou melhores resultados por não provocar alteração de coloração e aparência do produto. Para os filmes de interfolhamento pode-se observar que os filmes de acetato de celulose apresentaram baixos valores de atividade antioxidante se comparados aos filmes a base de quitosana, o qual apresentou valores significativamente expressivos de  $IC_{50}$ , porém os filmes selecionados foram a base de amidos pois apresentaram os melhores valores e  $IC_{50}$  e por históricos científico apresentam melhor biodegradabilidade. O filme de amido de milho apresentou melhor liberação do extrato de chá verde e conseqüentemente melhor atividade antioxidante.

No estudo da formulação do filme de recobrimento a base de gelatina de 15% de gelatina e 30% de glicerol, apresentou os melhores aspectos visuais de continuidade, homogeneidade e manuseabilidade. O extrato de chá verde e este adicionado a filmes ativos apresentou capacidade antioxidante, no qual a concentração de 1% já se mostrou eficaz e sem influência sobre os parâmetros visuais do produto. Com isso, os resultados da aplicação do filme de recobrimento em linguças frescas com avaliação dos parâmetros oxidativos, demonstraram que a incorporação de extrato de chá verde, no filme de gelatina, retardou a oxidação lipídica, em produto armazenado sem vácuo, o qual conferiu condições similares aos armazenados com vácuo no mesmo período após 73 dias de armazenamento.

Para os filmes de interfolhamento a fécula de mandioca foi selecionada e a concentração de 1%, pois apresentou os melhores resultados de  $IC_{50}$ . Ou seja, melhor capacidade de liberação do extrato e aumento com o tempo da atividade antioxidante. No escudo das propriedades mecânicas, observamos que ocorreu maior alongamento percentual na ruptura ( $\epsilon$ ) do que a amostra controle (sem chá), com maior resistência à tração observada no filme com 1,0% (v/v) de extrato. Ao aplicarmos em produto pode-se observar que a presença de extrato de chá verde (1,0%) no filme biopolimérico reduziu a oxidação lipídica de calabresa, estendendo sua vida útil e, portanto, sugerindo que o novo filme é uma boa alternativa em potencial aos plásticos convencionais. Já em presunto cozidos esse resultado não foi expressivo devido as características do próprio produto, pois apresenta alta atividade de água e menor teor de gordura.

## **SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS**

Novos estudos investigam técnicas de aperfeiçoamento de encapsulamento para liberação gradativa de composto, com isso, é sugerida novas estudos com outras técnicas para liberação do extrato de chá verde com o tempo, quando aplicado em filmes ativos. Outro favor a ser investigado é o biopolímero desenvolvido a base de quitosana, devido aos resultados de IC50 dos filmes, os quais apresentaram valores consideráveis de atividade antioxidante e se apresentam como um potencial polímero a ser aplicado como embalagem ativa, sendo sugerida investigações com aplicação em produto. Na investigação de formulações e novos polímeros a ser empregado como embalagem ativa são estudados parâmetros como permeabilidade a vapor de água, TGA e biodegradabilidade, os quais aprofundariam a viabilidade de aplicação dos filmes estudados.