



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
FACULDADE DE FARMÁCIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE  
ALIMENTOS**

**EMILY ARAÚJO PORTO**

**FILMES ATIVOS DE ALGINATO DE SÓDIO CONTENDO  
ÓLEO DE BURITI PARA APLICAÇÃO EM HAMBURGUER**

**UFBA**

Salvador

2021



**EMILY ARAÚJO PORTO**

**FILMES ATIVOS DE ALGINATO DE SÓDIO CONTENDO  
ÓLEO DE BURITI PARA APLICAÇÃO EM HAMBURGUER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos (PGAli) da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira

**Orientador**

Prof. Dr. Leilson Rocha Bezerra

**Coorientador**

Salvador

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
FACULDADE DE FARMÁCIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS



## TERMO DE APROVAÇÃO

EMILY ARAÚJO PORTO

### FILMES ATIVOS DE ALGINATO DE SÓDIO CONTENDO ÓLEO DE BURITI PARA APLICAÇÃO EM HAMBÚRGUER

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 13 de dezembro de 2021.

#### BANCA EXAMINADORA

Dr. RONALDO LOPES OLIVEIRA (ORIENTADOR)  
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dr. THADEU MARINIELLO SILVA (EXAMINADOR)  
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dr. ANDRÉ LEANDRO DA SILVA (EXAMINADOR)  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, Paraíba)

Porto, Emily Araújo.

Filmes ativos de alginato de sódio contendo óleo de buriti para aplicação em hambúrguer /  
Emily Araújo Porto. - 2021.  
71 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Leilson Rocha Bezerra.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador,  
2021.

1. Alimentos - Embalagens. 2. Alimentos - Qualidade. 3. Acondicionamento e conservação  
de alimentos. 4. Hambúrgueres - Embalagens. 5. Biopolímeros. 6. Mauritia flexuosa. I. Oliveira,  
Ronaldo Lopes. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 664.09

CDU - 664.8.038

## AGRADECIMENTOS

À minha família querida pelo carinho e apoio, em especial ao meu esposo, Lucas, que sempre me apoiou muito e acreditou em mim em todas os momentos.

Aos meus pais, por estarem sempre prontos a me sustentar em momentos complicados.

Aos meus colegas pela parceria, dicas, materiais doados, caronas, desabafos e boas conversas.

Aos professores que levarei como referências profissionais.

Ao professor André, que me auxiliou em cada situação desta pesquisa em Patos-PB e também em Salvador-BA.

Àqueles que me ajudaram muito em Patos-PB para eu não me perder na cidade, Rafaela e Letícia. Também no desenvolvimento dos meus experimentos, materiais, esclarecimentos e pesquisas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.494091/2020-00).

À Univerdade Federal da Bahia e à Faculdade de Farmácia, por proporcionar a realização do Mestrado em Ciência de Alimentos.

PORTO, Emily Araújo. Filmes Ativos de Alginato de Sódio Contendo Óleo de Buriti para Aplicação em Hamburguer. Salvador, Bahia, 2021. 71 p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos – Faculdade de Farmácia. Universidade Federal da Bahia, 2021.

## RESUMO

Embalagens atualmente são produzidas de materiais poliméricos derivados do petróleo e não são recicláveis, ou seja, baixa biodegradabilidade, o que levou a problemas ambientais. Com isso, a necessidade de desenvolver embalagens biodegradáveis e a preocupação da conservação correta dos alimentos com segurança e qualidade se tornou crescente. O alginato de sódio é um biopolímero produzido por organismos vegetais e microbianos utilizado na indústria de alimentos como, emulsificante, quelante e para formar filmes. O óleo de buriti proveniente da polpa da fruta (*Mauritia flexuosa*), encontrada na Amazônia e Cerrado, possui propriedades antioxidantes, plastificante, fotoprotetoras e antimicrobianas, o qual associado ao alginato pode potencializar o efeito de filme ativo. No primeiro capítulo, uma revisão bibliográfica abordando os aspectos que envolvem os filmes e suas propriedades. No capítulo dois, o objetivo foi desenvolver e a caracterizar filmes de alginato de sódio incorporados ao óleo de buriti para conservação de hambúrguer em armazenamento em substituição de embalagens tradicionais. Os filmes foram produzidos com a técnica de “casting” com a solução filmogênica de alginato de sódio e concentrações de 0; 0,5; 1,0; 1,5 % do óleo de buriti. Realizou-se a caracterização dos filmes através da espessura, propriedades mecânicas, térmicas e toxicidade. O filme de 0,5 % apresentou propriedades mais próximas das desejáveis na indústria. Para um segundo estudo foram produzidos hambúrgueres em laboratório e avaliou-se armazenados sob refrigeração (4 °C) em três tratamentos, A: Sem filme; B: Filme de alginato; C: Filme com 0,5 % de óleo de buriti nos tempos 0, 3, 6 e 9 dias. As variáveis analisadas foram, composição química, capacidade de retenção de água, pH, cor, textura, teor de ferro e análises microbiológicas que demonstraram redução e/ou manutenção do pH, redução da perda de água no armazenamento e na cocção, manutenção da cor, textura e diminuição da contagem microbiológica comparado ao controle. O desenvolvimento de filmes de alginato de sódio incorporados ao óleo de buriti para conservação de hambúrguer se revelou de forma promissora para a indústria de alimentos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Antimicrobiano. antioxidante. filme ativo. *Mauritia flexuosa*.

## ABSTRACT

Packaging is currently produced from polymeric materials derived from petroleum and is not recyclable, that is, low biodegradability which has led to environmental problems. As a result, the need to develop biodegradable packaging and the concern for the correct conservation of food with safety and quality has grown. Sodium alginate is a biopolymer produced by plant and microbial organisms used in the food industry as an emulsifier, chelator and to form films. Buriti oil from the fruit pulp (*Mauritia flexuosa*), found in the Amazon and the Cerrado, has antioxidant, plasticizer, photoprotective and antimicrobial properties, which associated with alginate can enhance the effect of active film. In the first chapter, a bibliographic review addressing the aspects that involve films and their properties. In chapter two, the objective was to develop and characterize films of sodium alginate incorporated into buriti oil for preserving hamburgers in storage instead of traditional packaging. The films were produced with the technique of "casting" with the filmogenic solution of sodium alginate and concentrations of 0; 0.5; 1.0; 1.5 % of buriti oil. The films were characterized through thickness, mechanical, thermal properties and toxicity. The 0.5 % film showed properties closer to those desirable in the industry. For a second study, hamburgers were produced in the laboratory and evaluated stored under refrigeration (4 °C) in three treatments, A: Without film; B: Alginate film; C: Film with 0.5 % buriti oil at times 0, 3, 6 and 9 days. The variables analyzed were chemical composition, water retention capacity, pH, color, texture, iron content and microbiological analyzes that demonstrated a reduction and / or maintenance of pH, reduction of water loss in storage and cooking, maintenance of color, texture and decreased microbiological count compared to control. The development of sodium alginate films incorporated into buriti oil for hamburger conservation has proved to be promising for the food industry.

**Keywords:** Active film. Antimicrobial. Antioxidant. *Mauritia flexuosa*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>Figura 1</b> Reticulação de alginato com formação de Ca <sup>2+</sup> na "caixa de ovo".....	12
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2</b> Soluções filmogênicas nas diferentes concentrações de óleo de buriti e seus respectivos filmes. A: Solução de 0 %; B: Solução de 0,5 %; C: Solução com 1,0 %; D: Solução com 1,5 %.....	42
<b>Figura 3</b> Análise de (a) módulo de elasticidade, (b) resistência à tração e (c) deformação de fratura de filmes com diferentes concentrações de OB - óleo de buriti. Os resultados foram apresentados como média e desvio padrão. Teste estatístico: ANOVA de uma via seguida de comparações múltiplas de Tukey pós-teste *p <0,05.....	44
<b>Figura 4</b> Curvas de TG para os filmes de alginato com óleo de buriti.....	45
<b>Figura 5</b> Curvas de DSC para os filmes de alginato com óleo de buriti.....	46
<b>Figura 6</b> Teste de toxicidade dos filmes nas diferentes concentrações em Artemia salina no período de 24h.....	48
<b>Figura 7</b> Teste de toxicidade dos filmes nas diferentes concentrações em Artemia salina no período de 48h.....	48
<b>Figura 8</b> Hambúrgueres preparados para o armazenamento. A: Sem filme; B: Com filme de alginato; C: Com filme de alginato e 0,5 % de óleo de buriti.....	50
<b>Figura 9</b> Crescimento de mesófilos em unidades formados de colônias (UFC) das amostras de hambúrguer envoltas com filme ativo a base de alginato de sódio incorporadas óleo de buriti (OB) em diferentes períodos de armazenamento (4 °C).....	55
<b>Figura 10</b> Crescimento de psicrófilos em unidades formados de colônias (UFC) nas amostras de hambúrguer envoltas com filme ativo a base de alginato de sódio incorporadas ao óleo de buriti (OB) em diferentes períodos de armazenamento (4 °C).....	56



## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO II</b> .....	33
<b>Tabela 1</b> Espessura dos filmes ativos a base de alginato incorporados ao óleo de buriti com as diferentes concentrações.....	42
<b>Tabela 2</b> Parâmetros instrumentais de pH, CRA, PPC e Teor de Ferro de amostras de hambúrguer envoltos em filmes ativos a base de alginato incorporados com OB realizadas em diferentes tempos de armazenamento (4 °C).....	51
<b>Tabela 3</b> Parâmetros de cor e opacidade de amostras de hambúrguer enriquecidas em filmes ativos a base de alginato incorporados ao OB realizadas em diferentes tempos de armazenamento (4 °C).....	52
<b>Tabela 4</b> Parâmetros de textura nas amostras de hambúrguer enriquecidas em filme de alginato de sódio e OB em diferentes tempos de armazenamento Valores de mesófilos das amostras de hambúrguer enriquecidas com filme ativo a base de alginato de sódio e OB em diferentes períodos de armazenamento (4 °C).....	53

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I - Produção, Caracterização e Aplicação em Hambúrguer de Filmes Ativos Incorporados ao Óleo de Buriti em Matriz de Alginato de Sódio.....</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
3.1 Segurança, conservação e embalagens de alimentos.....	13
3.2 Embalagens ativas .....	14
3.2.1 Embalagens antioxidantes .....	15
3.2.2 Embalagens antimicrobianas .....	16
3.3 Biopolímeros .....	17
3.3.1 Alginato de sódio.....	18
3.4 Óleo de buriti .....	20
3.4.1 Atividade antioxidante do óleo de buriti .....	21
3.4.2 Atividade antimicrobiana do óleo de buriti .....	21
3.5 Técnica de “casting” .....	22
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO II - Production, Characterization and Application in Hamburger of Active Films Incorporated to Buriti Oil in Sodium Alginate Matrix .....</b>	<b>37</b>

## **CAPÍTULO I**

### **Produção, Caracterização e Aplicação em Hambúrguer de Filmes Ativos Incorporados ao Óleo de Buriti em Matriz de Alginato de Sódio**

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores depreciativos que ocorrem nos alimentos, a proliferação de microrganismos e a oxidação são os que se apresentam com grande importância impulsionando o desenvolvimento de novas embalagens, principalmente primárias (QUINTAVALLA; VICINI, 2002). Principalmente, para que ocorra a correta conservação dos alimentos, as embalagens tanto primárias como secundárias, devem possuir a função de manter a segurança e qualidade dos produtos alimentícios, como os produtos cárneos, durante o transporte e estocagem, além de estender a vida de prateleira, contra possíveis contaminantes: microrganismos, produtos químicos, oxigênio, umidade, luz (ALMEIDA, 2010; RHIM *et al.*, 2013; OTONI *et al.*, 2017).

O hambúrguer é um dos alimentos perecíveis que são muito mais susceptíveis a deterioração, pela oxidação dos lipídios e proteínas, como também deterioração por microrganismos devido as suas características intrínsecas, como umidade e pH, inclusive fatores extrínsecos, como exemplo das condições de embalagem, materiais utilizados e armazenamento, onde, a partir da influência de cada um desses fatores, é possível prorrogar a vida útil dos alimentos (ÖZOGUL *et al.* 2017; LORENZO *et al.*, 2018; BRASIL, 2018).

Atualmente, as embalagens de alimentos são feitas principalmente de plástico derivado do petróleo para estender a vida de prateleira dos alimentos, mas a maioria dos materiais de embalagem apresentam baixa biodegradabilidade, o que causa descarte de resíduos e problemas de poluição ambiental (CHI; CATCHMARK, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2021). Anualmente, aproximadamente 8 milhões de resíduos plásticos são depositados nos oceanos, equivalente a 80% de todo plástico descartado, podendo haver, até 2050, mais plásticos do que peixes em seu habitat (EMF, 2016; UNEP, 2020).

A partir das preocupações com o meio ambiente, o interesse pela pesquisa por polímeros biodegradáveis tem sido crescente (MAHALIK; NAMBIAR, 2010; IMRE; PUKÁNSZK, 2013; PEELMAN *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2021), o que levou ao surgimento de novas linhas de pesquisa nas últimas décadas. A tendência no desenvolvimento de embalagens ativas está no estudo do uso de substâncias naturais bioativas incorporadas por meio do processo de emulsão a matriz biopolimérica melhorando as propriedades mecânicas, de barreira e de atividade antimicrobiana (KERRY; BUTLER, 2008; DARBASI *et al.*, 2017).

O alginato é classificado como biopolímero polissacarídeo e, é utilizado em várias indústrias, além de alimentos, bebidas, têxtil, impressão e farmacêutica como agente

espessante, estabilizador, emulsificante, agente quelante, encapsulamento, expensor, agente de suspensão ou para formar géis, filmes e membranas (HAY *et al.*, 2013).

*Mauritia flexuosa* L.f., também chamada de buriti é uma palmeira da família *Arecaceae* encontrada na Amazônia e Cerrado (CÂNDIDO *et al.*, 2015). A atividade antioxidante do extrato de óleo de buriti foi relacionada ao alto teor de carotenóides presente (KOOLEN *et al.*, 2013). Possibilitando o uso do óleo em associação ao filme de alginato, o qual apresenta composição fenólica com efeito antioxidante, antimicrobiano, fotoprotetor e relatado como agente plastificante (KOOLEN *et al.*, 2013; PIMENTEL *et al.*, 2007; SCHLEMMER *et al.*, 2007).

De acordo com esses dados, os filmes de alginato com incorporação de óleo de buriti podem melhorar suas características e ser utilizados como embalagens ativas em hambúrguer, pois possuem atividade antioxidante e antimicrobiana que leva a uma extensão do tempo de prateleira do produto embalado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Obter, caracterizar e aplicar filmes de alginato de sódio contendo óleo de buriti na conservação de hambúrguer em armazenamento para substituição de embalagens de polímeros sintéticos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Verificar em qual nível o óleo de buriti pode ser incorporado em filmes de alginato de sódio;
- Caracterizar fisicoquimicamente os filmes de alginato de sódio contendo óleo de buriti.
- Avaliar a toxicidade dos filmes de alginato de sódio contendo óleo de buriti no hambúrguer;
- Estudar a capacidade de contenção da proliferação microbiana no hambúrguer dos filmes de alginato de sódio contendo óleo de buriti no hambúrguer;
- Investigar os filmes de alginato de sódio incorporados ao óleo de buriti produzidos, em relação à vida de prateleira no hambúrguer no período de 9 dias.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Segurança, conservação e embalagens de alimentos

Dentre os fatores depreciativos que ocorrem nos alimentos, a proliferação de microrganismos e a oxidação são os efeitos que se apresentam com grande importância para o desenvolvimento de novas embalagens (QUINTAVALLA; VICINI, 2002). A oxidação é a principal causa não microbiana da deterioração da qualidade em carnes e produtos cárneos e é um processo que se inicia a partir do abate do animal e segue progressivamente até o produto final a ser consumido (RIBEIRO *et al.*, 2019). Para que ocorra a correta conservação dos alimentos, as embalagens devem possuir a função de manter a segurança e qualidade dos produtos alimentícios durante o transporte e estocagem, além de estender a vida de prateleira, contra possíveis contaminantes: microrganismos, produtos químicos, oxigênio, umidade, luz, como também apresentarem informações de interesse para comercialização e para o consumidor (ALMEIDA, 2010; RHIM *et al.*, 2013). No princípio, a aplicabilidade da embalagem era unicamente isolar os alimentos do ambiente externo, mas recentemente, ela também é aplicada como proteção ativa, resultando no aumento da vida de prateleira dos alimentos e na melhoria da qualidade dos alimentos (AHMED *et al.*, 2017; BENBETTAÏEB *et al.*, 2017).

Materiais poliméricos derivados do petróleo são amplamente utilizados devido à sua versatilidade, boas propriedades mecânicas e baixo custo (BRODY *et al.*, 2001; JIMÉNEZ *et al.*, 2012). Polímeros são macromoléculas que podem ser caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares, e possuem unidades químicas ligadas por covalência, repetidas regularmente ao longo da cadeia, cuja repetição do monômero indica o grau de polimerização (MANO; MENDES, 1999). Para a produção de uma embalagem, esses polímeros requerem a apresentação das características desejáveis, como transparência, maciez, termossoldabilidade e boa resistência (ALMEIDA, 2010). Atualmente, as embalagens de alimentos são feitas principalmente de plástico derivado do petróleo para estender a vida útil dos alimentos, mas a maioria dos materiais de embalagem apresentam baixa biodegradabilidade, o que causa descarte de resíduos e problemas de poluição ambiental (CHI; CATCHMARK, 2018).

A partir das preocupações com o meio ambiente, o interesse pela pesquisa por polímeros biodegradáveis tem sido crescente (MAHALIK; NAMBIAR, 2010; IMRE; PUKÁNSZK, 2013; PEELMAN *et al.*, 2013). Estes materiais de natureza biodegradável são produzidos a partir de recursos alternativos e com menor consumo de energia (IMRE; PUKÁNSZK, 2013).

De certa forma eles auxiliam na redução do volume de resíduos no meio ambiente por apresentar rápida degradação biológica, reduzem a quantidade de dióxido de carbono lançado na natureza, pois são obtidos a partir de recurso natural, podem também ser utilizados para substituição dos polímeros petroquímicos comumente utilizados (OJJO; RAY, 2013).

Diversos novos conceitos foram introduzidos nas embalagens de alimentos para satisfazer as exigências dos consumidores (SOUZA *et al.*, 2013; MOHAMED *et al.*, 2020). Com isso, novas linhas de pesquisa estão surgindo nas últimas décadas e uma delas tem como objetivo desenvolver embalagens que interajam com o produto embalado, adicionando vantagens para eles. Inúmeras dessas embalagens ativas têm sido desenvolvidas a partir de matérias primas naturais como amido, alginato, caseína, celulose, entre outras, tanto a matriz polimérica como os aditivos funcionais que são incorporados (MACHADO, 2011; JUNG *et al.*, 2020).

### **3.2 Embalagens ativas**

A embalagem ativa é caracterizada como uma embalagem que não apenas separa o alimento do contato com o meio ambiente, mas que também interage com o alimento para manter suas propriedades originais e naturais, e vem sendo aplicada em variados propósitos na indústria de alimentos, absorvendo oxigênio nos pastifícios, absorvendo etileno nas hortaliças e frutas e filmes com antimicrobianos naturais usados em queijos e fatiados (ROONEY, 1995; SARANTÓPOULOS; REGO, 2012; JUNG *et al.*, 2020). A ação dessas embalagens primárias ocorre na superfície dos alimentos, onde é observado a maioria das reações de deterioração, reduzindo o uso de aditivos e conservantes na produção dos alimentos, garantindo um produto de qualidade e maior tempo de prateleira (IMRAN *et al.*, 2010).

Tanto as indústrias como pesquisadores têm aumentado a atenção às embalagens ativas devido ao seu grande potencial e impacto positivo na segurança e qualidade do alimento (SIRIPATRAWAN; NOIPHA, 2012). A tendência no desenvolvimento de embalagens ativas está no estudo do uso de substâncias naturais bioativas incorporadas por meio do processo de emulsão a matriz biopolimérica melhorando as propriedades mecânicas, de barreira e de atividade antimicrobiana (KERRY; BUTLER, 2008; GALUS; KADZIŃSKA, 2015).

Na incorporação de agentes em filmes usados na preservação de alimentos é imprescindível o conhecimento completo e adequado do processo para garantir a estabilidade dos compostos ativos e sua ação efetiva (LÓPEZ *et al.*, 2007). Como Schlemmer e Sales (2010) estudaram blendas, materiais originários de dois ou mais polímeros com características constitucionais ou de configurações diferentes, e que possuem baixo grau de ligação química entre si. Blendas essas provenientes de poliestireno e amido termoplástico usando dois



plastificantes, glicerol e óleo de buriti, e assim obtiveram resultados satisfatórios, o que os levaram a sugerir que o óleo de buriti produz blendas termicamente mais estáveis.

### 3.2.1 Embalagens antioxidantes

Um dos mecanismos mais constantes de deterioração e redução da vida de prateleira dos alimentos, principalmente em carnes e derivados, é a oxidação (VERMEIREN *et al.*, 1999). Além de modificar o sabor, cor e a qualidade nutritiva (perda de vitaminas e degradação de lipídios) dos alimentos, a oxidação também produz compostos reativos e tóxicos que caracterizam um grande risco para os consumidores, pois estão associados a muitas doenças multifatoriais, principalmente câncer, doenças cardiovasculares e desordens inflamatórias (KAWANISHI *et al.*, 2002; SACHIDANANDAME *et al.*, 2005; LAGUERRE *et al.*, 2007; LEGOYNIE *et al.*, 2012; JOHNSON e DECKER, 2015; SOLADOYE *et al.*, 2015).

Diversas substâncias antioxidantes têm sido usadas na indústria para inibir a oxidação em alimentos. Entretanto, a incorporação de antioxidantes em alimentos pode modificar os parâmetros de qualidade alimentar, como a cor ou o sabor, além de que há por parte do consumidor, uma preferência por exclusão de aditivos em alimentos (MITSUMOTO *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2015).

Uma das tecnologias alternativas que levam a grandes expectativas para preservar alimentos sensíveis à oxidação é a embalagem ativa antioxidante (LEE, 2005). Esse sistema se assemelha a embalagem antimicrobiana, uma vez que consiste na incorporação de substâncias antioxidantes em filmes plásticos, papéis ou sachês, de onde ocorre liberação para proteger os alimentos da degradação de cunho oxidativo, inibindo as reações de oxidação ao entrarem em contato com radicais livres e peróxidos e, conseqüentemente, levando ao aumento da sua vida de prateleira (VERMEIREN *et al.*, 1999; BRODY *et al.*, 2001; LEE *et al.*, 2004; TOVAR *et al.*, 2005; MIN; KROCHTA, 2007).

A tecnologia de embalagem antioxidante se apresenta promissora para aplicações comerciais, entretanto é fundamental que elas se adequem a critérios da segurança dos alimentos. A liberação dos antioxidantes sintéticos para os alimentos gera preocupações nos consumidores no que diz respeito à sua saúde por estar associado ao potencial de carcinogênese em algumas pesquisas (SIMIÃO, 1985; VERMEIREN *et al.*, 1999; YILDIRIM *et al.*, 2001; MELO; GUERRA, 2002). Alguns antioxidantes naturais que possuem a possibilidade de serem utilizados incluem ácidos fenólicos (á-tocoferol), ácidos orgânicos (ácido ascórbico), extrato de plantas (alecrim, chá, etc.) e poliaminas (espermina e espermidina) (YANISHLIEVA-MASLAROVA, 2001).

Vargas Júnior *et al.* (2015) avaliaram os efeitos antioxidantes de embalagens ativas para a carne desenvolvida a partir de amido de milho, polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) e ácido cítrico e os autores puderam verificar que as amostras de carne embaladas com os filmes ativos, armazenadas e refrigeradas mostraram uma redução significativa dos níveis de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), subproduto da peroxidação lipídica (degradação de gorduras).

Mir *et al.* (2017) reduziram o crescimento bacteriano a partir da redução da oxidação lipídica, mantendo ou melhorando as características sensoriais e estendendo a vida de prateleira da rista (carne moída com gordura) durante o armazenamento em temperatura ambiente e em refrigeração por 25 dias com cominho, cardamomo e pó de cravo em filmes.

Noor *et al.* (2018), utilizaram extrato de *Aspargo racemosus* em filmes de alginato de cálcio à base de maltodextrina em carne de cabra e observaram propriedades antimicrobianas e antioxidantes, potencial para melhorar a estabilidade oxidativa lipídica e a qualidade de armazenamento dos produtos cárneos sem afetar suas características sensoriais.

Leão *et al.* (2019), evidenciaram a atividade antioxidante das nanoemulsões do óleo de buriti, que é capaz de reduzir o íon ferro e inibir a degradação oxidativa.

### 3.2.2 Embalagens antimicrobianas

Um dos tipos promissores de embalagem ativa é a embalagem antimicrobiana que apresenta uma substância de preferência natural incorporada ou imobilizada no material utilizado na embalagem e tem a capacidade de eliminar ou inibir microrganismos deteriorantes e patogênicos como, *Salmonella typhimurium* (BRINK *et al.*, 2019), *Bacillus cereus* (HASHEMI GAHRUIE *et al.*, 2017), *Escherichia coli* (HAGHIGHI *et al.*, 2019), *Staphylococcus aureus* (GUO *et al.*, 2019), *Listeria monocytogenes* (RADFORD *et al.*, 2017).

Os filmes ativos com a função de antimicrobiano podem proteger ativamente a superfície do produto inibindo o desenvolvimento de microrganismos mudando ativamente a condição do alimento embalado, preservando assim, sua qualidade e segurança, mantendo as propriedades sensoriais e levando ao aumento da vida de prateleira dos produtos (VERMEIREN *et al.*, 2002; ESPITIA *et al.*, 2014). Esse sistema antimicrobiano é uma forma de embalagens ativas que demonstra boas perspectivas sobretudo para carnes (KERRY; BUTLER, 2008; GALUS; KADZIŃSKA, 2015).

A substância natural selecionada com finalidade antimicrobiana pode ser incorporada diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou contidos em sachês (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2004). Essa adição que ocorre nos filmes poliméricos pode ser realizada de duas

formas: incorporação e imobilização. Na incorporação, ocorre a liberação do agente antimicrobiano para o alimento embalado, enquanto na imobilização o composto atua apenas a nível de superfície do produto, sendo que cada forma se adequa de acordo com cada tipo de alimento (HAN, 2005; ZHANG *et al.*, 2021).

Batista *et al.* (2012) observaram atividade antimicrobiana do óleo de buriti em bactérias gram-positivas e gram-negativas.

Sung *et al.* (2014) realizaram um estudo do óleo essencial de alho como agente antimicrobiano e incorporaram à película de embalagem de Polietileno de baixa densidade (PEBD), onde a *Listeria monocytogenes* foi inibida.

Kporwodu *et al.* (2018) desenvolveram filmes ativos contendo nanoemulsões de óleo essencial de canela que foi demonstrado forte atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas a exemplo de *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

### 3.3 Biopolímeros

Polímeros são macromoléculas que podem ser caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares, e possuem unidades químicas ligadas por covalência, repetidas regularmente ao longo da cadeia, cuja repetição do monômero indica o grau de polimerização (MANO e MENDES, 1999). Enquanto que os biopolímeros são polímeros do tipo polissacarídeo e proteína (ATARÉS *et al.*, 2010) produzidos por organismos vivos, vegetais ou microbianos (BORSCHIVER *et al.*, 2008). Filmes desenvolvidos a partir de biopoliméricos de proteínas e polissacarídeos demonstram boas propriedades mecânicas, mas são altamente permeáveis à água devido à sua natureza de maioria hidrofílica (KRISTO *et al.*, 2007).

Na produção de um filme biopolimérico, uma macromolécula e um plastificante são necessários para a formação de uma matriz coesa e contínua (DENAVI *et al.*, 2009). As macromoléculas mais utilizadas são as proteínas (colágeno, glúten, zeína, gelatina, caseína) e os polissacarídeos (alginato, pectina, amido, celulose, quitosana) (LUCKACHAN; PILLAI, 2011) ou a com a combinação desses materiais (DONHOWE; FENNEMA, 1992).

Os polímeros têm sua classificação de acordo com sua fonte (renováveis ou petroquímicas) ou pelo seu método produção, com destaque para as seguintes categorias (CLARINVAL; HALLEUX, 2005):

- Polímeros por síntese química convencional, ácido polilático (PLA), poli( $\epsilon$ -caprolactona), poli (succinato de butileno) e álcool polivinílico;

- Polímeros por extração direta através da biomassa como polissacarídeos, amido, quitosana, celulose, pectina, proteínas, zeína de milho, gelatina, caseína, proteína de soja, glúten de trigo;
- Polímeros produzidos por microrganismos, polihidroxialcanoatos (PHAs), incluindo poli ( $\beta$ -hidroxibutirato) (PHB), poli (hidroxibutirato-co-valerato) (PHBV), celulose bacteriana, goma xantana e goma pululana;
- Polímeros obtidos pela mistura, de PLA-PHA, amido-PLA, amido-PHB, amido-poli ( $\epsilon$ -caprolactona), derivados de celulose-amido, amido-álcool polivinílico, PHA-queratina, quitosana-PLA e PHB-quitosana.

Guilbert *et al.* (1997), desenvolveram filmes de polissacarídeos e proteínas que possuem uma alta permeabilidade ao vapor d'água, no entanto os polissacarídeos apresentam efetiva barreira à migração de lipídios, e os filmes de proteínas efetiva barreira para gases (KROCHTA, 2002; TANADA-PALMU; GROSSO, 2005). Geralmente os filmes elaborados a partir de lipídios, apesar de uma barreira ao vapor de água comprovada, podem possibilitar a oxidação, alterando características sensoriais do produto (GUILBERT *et al.*, 1997).

Entre as embalagens biodegradáveis, o polímero natural mais utilizado na produção é o amido, pela sua propriedade termoplástica (podem ser amolecidos pelo calor e endurecidos pelo frio, repetidas vezes sem perder suas propriedades), é um composto de fácil acesso e baixo custo (CHIVRAC *et al.*, 2010; KECHICHIAN *et al.*, 2010; MALI *et al.*, 2004).

A força coesiva, ou tensão, de um filme está relacionada à estrutura química do polímero utilizado, natureza do solvente, presença de aditivos, como agentes de ligações cruzadas, e condições do meio durante a sua produção. O grau de coesão influencia na resistência, na flexibilidade e na permeabilidade dos filmes (KESTER; FENNEMA, 1986; GONTARD; GUILBERT, 1996).

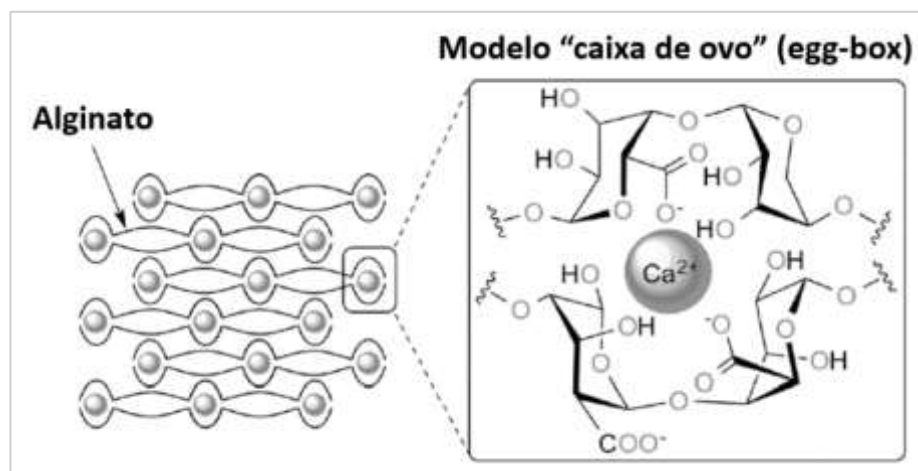
### 3.3.1 Alginato de sódio

Os alginatos são polissacarídeos indigestíveis de ocorrência natural comumente produzidos e refinados a partir de vários gêneros de algas marrons como por exemplo, *Laminaria hyperborean*, *Macrocystis pyrifera*, *Ascophyllum nodosum*; menor extensão *Laminaria digitate*, *Laminaria japonica*, *Eclonia maxima*, *Lesonia negrescens*, *Sargassum* sp. (SMIDSRØD; SKJÅK-BRÆK, 1990; NISPEROS-CARRIEDO *et al.*, 1994; EMMERICHS *et al.*, 2004; SKURTYYS *et al.*, 2010; HAY *et al.*, 2013). Algumas bactérias como *Azotobacter vinelandii* ou cepas mucóides de *Pseudomonas aeruginosa* também sintetizam polímeros do tipo alginato como exopolissacarídeo (substâncias poliméricas extracelulares) (EVANS; LINKER, 1973; EMMERICHS *et al.*, 2004).

A estrutura molecular dos alginatos é composta por copolímeros binários lineares e não ramificados de resíduos de ácido -D-manurônico (M) e de ácido -L-gulurônico (G) ligados por 1-4 ligações glicosídicas (NISPEROS-CARRIEDO *et al.*, 1994; HAY *et al.*, 2013; MOE *et al.*, 1994; DRAGET *et al.*, 2009). Uma estrutura de alginato de algas pode ser separada em três frações (três blocos de ácido urônico): são regiões homopoliméricas dos blocos M e G e blocos MG alternados contendo ambos os ácidos poliurônicos (NISPEROS-CARRIEDO *et al.*, 1994; DRAGET, 2009; ANZAI *et al.*, 1990). Os alginatos bacterianos têm grupos O-acetil, enquanto eles não estão presentes na estrutura dos alginatos de algas (DAVIDSON *et al.*, 1977). Além disso, os alginatos bacterianos têm maior pesos moleculares comparados aos polímeros de algas (CLEMENTI, 1997).

A propriedade mais interessante dos alginatos é sua capacidade de reagir com cátions metálicos polivalentes, especificamente íons cálcio. Os íons estabelecem a associação cooperativa entre os blocos M e G, resultando em uma rede tridimensional onde podem ser embalados e coordenados. Esse arranjo é retratado como o modelo de "caixa de ovos" na Figura 1 (GRANT *et al.*, 1973).

**Figura 1** - Reticulação de alginato com formação de  $\text{Ca}^{2+}$  na "caixa de ovo"



**Fonte:** Adaptado de KÜHBECK *et al.*, 2015

Como os filmes de alginato são matrizes hidrofílicas, o processo de reticulação com cátions polivalentes tem sido usado para melhorar suas propriedades de barreira à água, resistência mecânica, coesão e rigidez (RHIM *et al.*, 2003; RHIM, 2004). A incorporação de óleos nessa matriz depende da utilização de um componente emulsificante.

A Food and Drug Administration (FDA), órgão de regulamentação alimentícia dos Estados Unidos da América, classifica o alginato de sódio de grau alimentar como substância GRAS (geralmente considerada segura) no Título 21 do Código de Regulamentos Federais

(CFR) e lista seu uso como agente emulsificante, estabilizador, espessante e gelificante (FDA, 2020).

O alginato é usado em várias indústrias, além de alimentos, bebidas, têxtil, impressão e farmacêutica como agente espessante, estabilizador, emulsificante, agente quelante, encapsulamento, expansor, agente de suspensão ou usado para formar géis, filmes e membranas (KIM *et al.*, 2000; HAY *et al.*, 2013). Também é amplamente utilizado na emulsão e em produtos de carne reestruturados como agentes de produção, espessamento, suspensão e estabilização de emulsão, pois, suas propriedades de espessamento, alta estabilidade e boa característica de gelificação podem melhorar a suculência, a textura, a cor e o sabor dos produtos à base de carne (RAHARJO *et al.*, 1994; KUMAR *et al.*, 2007; FERNANDEZ-MARTIN *et al.*, 2009; CHEN *et al.*, 2014; SALDANA, *et al.*, 2015; ZHENG *et al.*, 2019). Saldana *et al.* (2015) mostraram que as quantidades de líquido liberadas de produtos do tipo Mortadela formulados com alginato de sódio foram diminuídas e diminuíram o impacto na estrutura de produtos de carne com baixo teor de gordura.

### 3.4 Óleo de buriti

*Mauritia flexuosa* L.f., também chamada de buriti é uma palmeira da família *Arecaceae* encontrada em todo o território brasileiro, com foco na Amazônia e Cerrado (CÂNDIDO *et al.*, 2015). A polpa de seus frutos é laranja e possui altas concentrações de beta-caroteno (RODRIGUES *et al.*, 2010), vitaminas A, B, C e E, proteínas e minerais (cálcio, ferro). O óleo pode ser extraído da polpa da fruta quando prensada a frio e é rico em ácidos graxos monoinsaturados, e pode ser comparado a outros óleos de grande valor comercial como óleo de oliva, canola e amendoim (MANHÃES; SABAA-SRUR, 2011; FREIRE *et al.*, 2016). A sua composição fenólica tem despertado interesse como antioxidante, cicatrizante, fotoprotetor e antimicrobiano (KOOLEN *et al.*, 2013).

O óleo extraído da polpa do buriti é conhecido por suas propriedades funcionais devido às altas concentrações de ácidos graxos monoinsaturados, em maior quantidade que os óleos de oliva e castanha do Brasil (VIEIRA *et al.*, 2006; AQUINO *et al.*, 2012).

Os flavonóides são os principais polifenóis presentes nos extratos de buriti, principalmente os flavonóides glicosilados e antocianinas, que são responsáveis por sua capacidade antioxidante (KOOLEN *et al.*, 2013). A polpa de buriti contém 18:2 (ácido linoléico) (COSTA *et al.*, 2010). O perfil de ácidos graxos do óleo extraído da polpa de buriti apresenta um alto teor de 18:1 (ácido palmítico) e baixo teor de 18:2 (ácido linoléico) (SILVA *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2010; DARNET, 2011).

O estudo de Schlemmer e Sales (2010) demonstrou que os materiais poliméricos para embalagens produzidos com óleo de buriti apresentam, além de um melhor efeito plastificante e uma maior suscetibilidade à degradação no solo, ou seja, de natureza biodegradável, evitando acúmulo de plásticos não biodegradável no meio ambiente. Durães *et al.* (2006) observaram que quando o óleo de buriti é misturado a polímeros petroquímicos possibilita a obtenção de materiais fotoprotetores e fotoluminescentes, mais flexíveis e com excelente estabilidade térmica. Pimentel *et al.* (2007) e Schlemmer *et al.* (2007) chegaram à conclusão de que o óleo de buriti pode agir como plastificante de filmes de amido.

#### 3.4.1 Atividade antioxidante do óleo de buriti

A atividade antioxidante do extrato de óleo de buriti foi relacionada ao alto teor de carotenóides (KOOLEN *et al.*, 2013). Com isso, ele apresenta alta estabilidade oxidativa, devido ao alto teor de tocoferol (RODRIGUES *et al.*, 2010). Os compostos fenólicos se encontram em maior concentração na casca do que na polpa da fruta buriti (CANDIDO *et al.*, 2015). O estudo realizado por Resende *et al.* (2019), demonstrou que as farinhas dos subprodutos do buriti podem ser consideradas fontes relevantes de fibras alimentares e antioxidantes naturais, com diferenças na composição e desempenho antioxidante das farinhas justificadas pelas funções botânicas de cada parte da fruta. Koolen *et al.* (2013) revelaram que as frutas da *Mauritia flexuosa* contêm uma quantidade considerável de compostos fenólicos responsável por sua atividade antioxidante. No trabalho de Leão *et al.* (2019), foi evidenciada a atividade antioxidante das nanoemulsões do óleo de buriti, que é capaz de reduzir o íon ferro e inibir a degradação oxidativa. Semelhantemente, Nonato *et al.* (2020) demonstraram que o óleo da polpa da fruta da *M. flexuosa* possui moderada atividade antioxidante primária e boa capacidade de quelar de íons de ferro.

#### 3.4.2 Atividade antimicrobiana do óleo de buriti

Os compostos que apresentam grupos fenólicos, como o extrato de buriti são mais efetivos na atividade antimicrobiana (DORMA; DEANS, 2000). Entretanto, Nazif (2002) reportou que os ácidos graxos insaturados possuem atividade antimicrobiana. Extratos fenólicos das folhas, troncos e frutos de buriti foram avaliados quanto à atividade antimicrobiana e mostraram atividade fraca a moderada sobre as seguintes bactérias, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Micrococcus luteus*, porém, não apresentou ação antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Bacillus cereus* (KOOLEN *et al.*, 2013). Enquanto que, Nazif (2002) e Silveira *et al.* (2005) indicaram que os ácidos graxos saturados e insaturados poderiam contribuir para a atividade antimicrobiana contra algumas bactérias patogênicas. A alta

atividade antimicrobiana do buriti contra *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* foi associada aos epicarpos e mesocarpos maduros, extraídos com etanol e particionados com hexano e acetato de etila. Castro *et al.* (2020) encontraram um aumento da capacidade antimicrobiana do óleo de buriti quando esse foi submetido a encapsulação. Testes demonstraram atividade antimicrobiana moderada para os frutos, pela composição química, evidenciando a ausência de ácidos graxos e fenólicos derivados do ácido chiquímico (KOOLEN *et al.*, 2013).

### 3.5 Técnica de “casting”

A técnica de “casting” é bastante utilizada em fabricação de filmes biodegradáveis. O filme é formado a partir da necessidade que a macromolécula usada possua a capacidade de formar uma matriz contínua e coesa (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Essa técnica é baseada no espalhamento da solução precursora da amostra sobre um substrato (geralmente uma placa de vidro) e submetida a evaporação. Após essa evaporação total do solvente utilizado, o filme é formado sobre a superfície do substrato. A evaporação do solvente pode ser acelerada por aquecimento em estufa (AMBROSI *et al.*, 2008).

Nessa técnica, a espessura do filme exige bastante atenção, visto que a ela é diretamente dependente da viscosidade da solução. No caso de soluções muito viscosas, a solução deve ser espalhada com algum equipamento para controlar a espessura da solução no suporte. Já em soluções diluídas, o controle da espessura ocorre através do conhecimento da gramatura do material obtido. Esta técnica exige um controle rigoroso da forma do suporte e do nível da estufa para evitar diferenças na espessura provocadas por desníveis durante a secagem. A espessura influencia diretamente as propriedades mecânicas e a permeabilidade ao vapor de água (SOBRAL, 2000; MALI *et al.*, 2004; GALDEANO, 2007).



## REFERÊNCIAS

- AHMED, I.; LIN, H.; ZOU, L.; BRODY, A. L.; LI, Z.; QAZI, I. M.; PAVASE, T. R.; LV, L. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. **Food Control**, v. 82, p. 163–178. 2017.
- ALMEIDA, G. W. R. **Desenvolvimento e caracterização de filme nanocompósito de base celulósica e sua avaliação como embalagem ativa antimicrobiana**. 2010. 97 f. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. 2010.
- AMBROSI, A.; MORRIN A.; SMYTH, M.R.; KILLARD, A.J. The application of conducting polymer nanoparticle electrodes to the sensing of ascorbic acid; **Analytica Chimica Acta**, v. 609, p. 37-43. 2008.
- ANZAI, H.; UCHIDA, N.; NISHIDE, E. Determination of D-mannuronic to L-guluronic acids ratio in acid hydrolysis of alginate under improved conditions. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 56, p. 73–81. 1990.
- AQUINO, J. S.; PESSOA, D. C. N. P.; ARAÚJO, K. L. G. V.; EPAMINONDAS, P. S.; SCHULER, A. R. P.; SOUZA, A. G.; STAMFORD, T. L. M. Refining of buriti oil (*Mauritia flexuosa*) originated from the Brazilian cerrado: Physicochemical, thermal-oxidative and nutritional implications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 212 - 219. 2012.
- ATARÉS, L.; BONILLA, J.; CHIRALT, A. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 4, p. 678–687. 2010.
- BATISTA, J. S.; OLINDA, R. G.; MEDEIROS, V. B.; RODRIGUES, C. M. F.; OLIVEIRA, A. F.; PAIVA, E. S.; FREITAS, C. I. A.; MEDEIROS, A. Atividade antibacteriana e cicatrizante do óleo de buriti *Mauritia flexuosa* L. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 136-141. 2012.
- BENBETTAÏEB, N.; TANNER, C.; CAYOT, P.; KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F. Impact of functional properties and release kinetics on antioxidant activity of biopolymer active films and coatings. **Food Chemistry**, v. 242, p. 369–377. 2017.

- BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.18, n.3, p. 256-261. 2008.
- BRASIL. Anvisa. Guia para determinação de prazos de validade de alimentos. Brasília, DF. 2018. Disponível em:  
<[http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/5056443/Guia+16\\_2018+Prazo+de.pdf/e40032da-ea48-42ff-ba8c-a9f6fc7af7af](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/5056443/Guia+16_2018+Prazo+de.pdf/e40032da-ea48-42ff-ba8c-a9f6fc7af7af)> Acesso em: 15 dez. 2021.
- BRINK, I.; ŠIPAILIENĖ, A.; LESKAUSKAITĖ, D. Antimicrobial properties of chitosan and whey protein films applied on fresh cut Turkey pieces. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 130, p. 810–817. 2019.
- BRODY, A. L.; STRUPINSKY, E. R.; KLINE, L. R. **Active packaging for food applications**. Washington, CRC Press. Boca Raton. 218 p. 2001.
- CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINICOSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319. 2015.
- CASTRO, G. M. M. A.; PASSOS, T. S.; NASCIMENTO, S. S. C.; MEDEIROS, I.; ARAÚJO, N. K.; MACIEL, B. L. L.; PADILHA, C. E.; RAMALHO, A. M. Z.; JÚNIOR, F. C. SO.; ASSIS, C. F. Gelatin nanoparticles enable water dispersibility and potentialize the antimicrobial activity of Buriti (*Mauritia flexuosa*) oil. **BMC Biotechnology**, v. 20, p, 55. 2020.
- CHEN, X.; LI, P. J.; NISHIUMI, T.; TAKUMI, H.; SUZUKI, A.; CHEN, C. G. Effects of high-pressure processing on the cooking loss and gel strength of chicken breast actomyosin containing sodium alginate. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 12, p. 3608-3617. 2014.
- CHI, K.; CATCHMARK, J.M. Improved eco-friendly barrier materials based on crystalline nanocellulose/chitosan/carboxymethyl cellulose polyelectrolyte complexes. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 195-205. 2018.
- CHIVRAC, F.; POLLET, E.; SCHMUTZ, M.; AVÉROUS, L. Starch nano-biocomposites based on needle-like sepiolite clays. **Carbohydrate Polymers**, v. 80(1), p. 145-153. 2010.

- CLARINVAL, A. M.; HALLEUX, J. In **Biodegradable Polymers for Industrial Applications**; Smith, R., Ed.; Woodhead: Cambridge, United Kingdom, p. 3, 2005.
- CLEMENTI, F. Alginate production by *Azotobacter vinelandii*. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 17, p. 327–361. 1997.
- COSTA, P. A.; BALLUS, C. A.; TEIXEIRA-FILHO, J.; GODOY, H. T. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. **Food Research International**, v. 43, n. 6, p. 1603-1606. 2010. h
- CUOMO, F.; CEGLIE, A.; DE LEONARDIS, A.; LOPEZ, F. Polymer capsules for enzymatic catalysis in confined environments. **Catalysts**, v. 9, n. 1, p. 1. 2019.
- DARBASI, M.; ASKARI, G.; KIANI, H.; KHODAIYAN, F. Development of chitosan based extended-release antioxidant films by control of fabrication variables. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 303–310. 2017.
- DARNET, S. H.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C.; LINS, R. T. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patawa (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the Amazon region. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 488-491. 2011.
- DAVIDSON, I.; SUTHERLAND, I.; LAWSON, C. Localization of o-acetyl groups of bacterial alginate. **Microbiology**, v. 98, p. 603–606. 1977.
- DENAVI, G.; TAPIA-BLÁCIDO, D.R.; ANON, M.C.; SOBRA, 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.
- DONHOWE, I. G; FENNEMA, O. **Edible films and coatings: characteristic, formation, definitions and testing methods**. In: KROCHTA, J. M.; BALDWIN, E. A. e NISPEROS-CARRIEDO, M. O. Edible coating and films to improve food quality, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., p. 1-24. 1992.
- DORMAN, H. J.; DEANS, S. G. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, v.88, n. 2, p.308–316. 2000.
- DRAGET, K.I. **Alginates**. In **Handbook of Hydrocolloids**, 2nd ed.; Woodhead Publishing: Sarston, UK, p. 807–828. 2009.

- DURÃES, J. A.; DRUMMOND, A. L.; PIMENTEL, T. A. P. F.; MURTA, M. M.; BICALHO, F. S.; MOREIRA, S. G. C.; SALES, M. J. A. Absorption and photoluminescence of Buriti oil/polystyrene and Buriti oil/poly (methyl methacrylate) blends. **European Polymer Journal**, v. 42, n. 12, p. 3324-3332. 2006.
- EMF. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics. **World Economic Forum**, p. 1-15. 2016.
- EMMERICHS, N.; WINGENDER, J.; FLEMMING, H.C.; MAYER, C. Interaction between alginates and manganese cations: Identification of preferred cation binding sites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 34, p. 73–79. 2004.
- ESPITIA, P. J. P.; DU, W.-X.; AVENA-BUSTILLOS, D. J., SOARES, R.; MCHUGH, T. H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 287–296. 2014.
- EVANS, L.R.; LINKER, A. Production and characterization of the slime polysaccharide of *Pseudomonas aeruginosa*. **Journal of Bacteriology**, v. 116, p. 915–924. 1973.
- FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; LÓPEZ-LÓPEZ, I.; COFRADES, S.; COLMENERO, F. J. Influence of adding Sea Spaghetti seaweed and replacing the animal fat with olive oil or a konjac gel on pork meat batter gelation. Potential protein/alginate association. **Meat Science**, v. 83, n.2, p. 209–217. 2009.
- FREIRE, J. A. P.; BARROS, K. B. N. T.; LIMA, L. K. F.; MARTINS, J. M.; ARAÚJO, Y. C.; OLIVEIRA, G. L. S.; AQUINO, J. S.; FERREIRA, P. M. P. Phytochemistry profile, nutritional properties and pharmacological activities of *Mauritia flexuosa*. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 11, p. 2611-2622. 2016.
- FOOD & DRUG ADMINISTRATION. Code for Federal Regulations Title 21 Part 184— Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe. Disponível online:<<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1724>> Acesso em: 28 de abril de 2020.
- GALDEANO, M. C. Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão. 2007. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina.

- GALUS, S.; KADZIŃSKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 273–283. 2015.
- 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, p. 206–211. 1996.
- GRANT, G. T.; MORRIS, E. R.; REES, D. A.; SMITH, P. J. C.; THOM, D. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. **FEBS letters**, v. 32, p. 195–198. 1973.
- GUILBERT, S.; CUQ, B.; GONTARD, N. Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. **Food Additives and Contaminants**, v. 14, p. 741-751. 1997.
- GUO, Y.; CHEN, X.; YANG, F.; WANG, T.; NI, M.; CHEN, Y.; YANG, F.; HUANG, D.; FU, C.; WANG, S. Preparation and characterization of chitosan-based ternary blend edible films with efficient antimicrobial activities for food packaging applications. **Journal of Food Science**, v. 84, p. 1411–1419. 2019.
- HAGHIGHI, H.; DE LEO, R.; BEDIN, E.; PFEIFER, F.; SIESLER, H. W.; PULVIRENTI, A. Comparative analysis of blend and bilayer films based on chitosan and gelatin enriched with LAE (lauroyl arginate ethyl) with antimicrobial activity for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, p. 31–39. 2019.
- HAN, J. H. Antimicrobial packaging systems. In: Han JH (Ed.) Innovations in food packaging. Baltimore, **Elsevier Science & Technology Books**. p. 80-107. 2005.
- HASHEMI GAHRUIE, H.; ZIAEE, E.; ESKANDARI, M. H.; HOSSEINI, S. M. Characterization of basil seed gum-based edible films incorporated with *Zataria multiflora* essential oil nanoemulsion. **Carbohydrate Polymers**, v. 166, p. 93–103. 2017.
- HAY, I.D.; REHMAN, Z.U.; MORADALI, M.F.; WANG, Y.; REHM, B.H.A. Microbial alginate production, modification and its applications. **Microbial Biotechnology**, v. 6, p. 637–650. 2013.
- IMRAN, M.; REVOL-JUNELLES A. M.; MARTYN, A.; TEHRANY, E. A.; JACQUOT, M.; LINDER, M.; DESOBRY, S. Active food packaging evolution: transformation

- from micro- to nanotechnology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 799-821. 2010.
- IMRE, B.; PUKÁNSZKY, B. Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. **European Polymer Journal**, v. 49, p. 1215–1233. 2013.
- JIMÉNEZ, A.; FABRA, M.J.; TALENS, P.; CHIRALT, A. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 2058-2076. 2012.
- JOHNSON, D. R.; DECKER, E. A. The role of oxygen in lipid oxidation reactions: a review. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p. 171–190. 2015.
- JUNG, S.; CUI, Y.; BARNES, M.; SATAM, C.; ZHANG, S.; CHOWDHURY, R. A.; ADUMBUMKULATH, A.; SAHIN, O.; MILLER, C.; SAJADI, S. M.; SASSI, L. M.; JI, Y.; BENNETT, M. R.; YU, M.; FRIGUGLIETTI, J.; MERCHANT, F. A.; VERDUZCO, R.; ROY, S.; VAJTAI, R.; MEREDITH, J. C.; YOUNGBLOOD, J. P.; KORATKAR, N.; RAHMAN, M. M.; AJAYAN, P. M. Multifunctional bio-nanocomposite coatings for perishable fruits. **Advanced Materials**, v. 32, p. 1908291. 2020.
- KAWANISHI, S.; HIRAKU, Y.; MURATA, M.; OIKAWA, S. The role of metals in site-specific DNA damage with reference to carcinogenesis. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 32, p. 822–32. 2002.
- KECHICHIAN, V., DITCHFIELD, C., VEIGA-SANTOS, P., TADINI, C.C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 1088-1094. 2010.
- KERRY, J; BUTLER, P. **Smart packaging Technologies for fast moving consumer goods**. John Wiley & Sons, Ltda. England. p. 348. 2008.
- KESTER, J. J., FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v. 40, p. 47-59. 1986.
- KIM, Y. J.; YOON, K. J.; KO, S. W. Preparation and properties of alginate superabsorbent filament fibers crosslinked with glutaraldehyde. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 78, p. 1797–1804. 2000.
- oot, H.H.F.; SILVA, F.M.A.; GOZZO, F.C.; SOUZA, A.Q.L.; SOUZA, A.D.L. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti

- (*Mauritia flexuosa* L. f.). UPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, p. 467-473. 2013.
- KPORWODU, F.; GARCIA, C. V.; SHIN, G. H.; KIM, J. T. Alginate biocomposite films incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsions: physical, mechanical, and antibacterial properties. **International Journal of Polymer Science**, v. 1, p. 8. 2018.
- KRISTO, E.; BILIADERIS, C.G.; ZAMPRAKA, A. Water vapour barrier and tensile properties of composite caseinate–pullulan films: biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination. **Food Chemistry**, v. 101, n. 2, p. 753–764, 2007.
- KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, p. 61. 2002.
- KÜHBECK, D.; MAYR, J.; HEARING, M.; HOFMANN, M.; QUIGNARD, F.; DÍAZ DÍAZ, D. Evaluation of the nitroaldol reaction in the presence of metal ion-crosslinked alginates. **New Journal of Chemistry**, v. 39, n. 3, p. 2306-2315. 2015.
- KUMAR, M.; SHARMA, B. D.; KUMAR, R. Evaluation of sodium alginate as a fat replacer on processing and shelf-life of low-fat ground pork patties. Asian-australasian. **Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 4, p. 588-597. 2007.
- LAGUERRE, M.; LECOMTE, J.; VILLENEUVE P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: existing methods, new trends and challenges. **Progress in Lipid Research**, v. 46, p. 244-282. 2007.
- LEE, C. H.; AN, D. S.; LEE, S. C.; PARK, H. J.; LEE, D. S. A coating for use as an antimicrobial and antioxidative packaging material incorporating nisin and  $\alpha$ -tocopherol. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 323-329. 2004.
- LEE, D. S. Packaging containing natural antimicrobial or antioxidant agents. In: Han JH (Ed.) *Innovations in food packaging*. Baltimore, **Elsevier Science and Technology BOOKS**. P. 108-123. 2005.
- LEÃO, K. M. M.; REIS, L. V. C.; SPERANZA, P.; RODRIGUES, A. P.; RIBEIRO, A. P. B.; MACEDO, J. A.; MACEDO, G. A. Physicochemical characterization and antimicrobial activity in novel systems containing buriti oil and structured lipids nanoemulsions. **Biotechnology Reports**, v. 24, p. e00365. 2019.

- LEGOYNIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, p. 93–98. 2012.
- LÓPEZ, P.; SÁNCHEZ, C.; BATLLE, R.; NERÍN, C. Development of flexible antimicrobial films using essential oils as active agents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 21, p. 8814–8824. 2007.
- LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; SHPIGELMAND, A.; GRANATO, D.; FRANCO, D. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. **Food Research International**, v. 106, p. 1095–1104. 2018.
- LUCKACHAN, G.; PILLAI, C.K.S. Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives. **Journal of polymers and the environment**, v. 19, p. 637-676. 2011.
- MACHADO, B. A. S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes flexíveis de amido de mandioca com nanocelulose de coco**. 2011. 161f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, BA. 2011.
- MAHALIK, N. P.; NAMBIAR, A. N. Trends in food packaging and Manufacturing stems and technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 117-128. 2010.
- MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCÍA, M.A., MARTINO, M.M., ZARITZKY, N.E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 129-135. 2004.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Revisão. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MANHÃES, L. R. T.; SABAA-SRUR, A. U. O. Centesimal composition and bioactive compounds in fruits of buriti collected in Pará. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 856-863. 2011.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2.ed. São Paulo: E. Blücher, p. 191. 1999.



- MELO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 36, p. 1-11, 2002.
- MILLER, M. F.; ANDERSEN, M. K.; RAMSEY, C. B.; REAGAN, J. O. Physical and sensory characteristics of low-fat ground beef patties. **Journal of Food Science**, v.58, n.3, p.461–463. 1993.
- MIN, S.; KROCHTA, J. M. Ascorbic acid-containing whey protein film coatings for control of oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 2964-2969. 2007.
- MIR, S. A.; MASOODI, F. A.; RAJA, J. Influence of natural antioxidants on microbial load, lipid oxidation and sensorial quality of rista—A traditional meat product of India. **Food Bioscience**, v. 20, p. 79–87. 2017.
- MITSUMOTO, M.; O’GRADY, M. N.; KERRY, J. P.; JOE BUCKLEY, D. Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, colour and lipid stability during chilled storage in cooked or raw beef and chicken patties. **Meat Science**, v. 69, n. 4, p. 773–779. 2005.
- MOE, S.; SKJÅK-BRÆK, G.; SMIDSRØD, O.; ICHIJO, H. Calcium alginate gel fibers: Influence of alginate source and gel structure on fiber strength. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 51, p. 1771–1775. 1994.
- 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, p. 116178. 2020.
- NAZIF, N. M. Phytoconstituents of *Ziziphus spina-christi* L. fruits and their antimicrobial activity. **Food Chemistry**, v. 76, p. 77–81. 2002.
- NERÍN, C.; TOVAR, L.; DJENANE, D.; CAMO, J.; SALAFRANCA, J.; BELTRÁN, J. A.; RONCÁLEZ, P. Stabilization of beef meat by a new active packaging containing natural antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.7840-7846. 2006.
- NISPEROS-CARRIEDO, M. O; KROCHTA, J. M., BALDWIN, E.A. Edible coatings and films based on polysaccharides. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*,

- M.O., Eds.; **Technomic Publishing Company**: Lancaster, NH, USA, v.1, p. 322–323. 1994.
- NOBRE, C. B.; SOUSA, E. O.; SILVA, J. M. F. L.; COUTINHO, H. D. M.; COSTA, J. G. M. Chemical composition and antibacterial activity of fixed oils of *Mauritia flexuosa* and *Orbignya speciosa* associated with aminoglycosides. **European Journal of Integrative Medicine**, v. 23, p. 84-89. 2018.
- NONATO, C. F. A.; LEITE, D. O. D.; DE CARVALHO, N. K. G.; DE LIMA, S. G.; RODRIGUES, F. F. G.; DA COSTA, J. G. M. Chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of the pulp oil of fruits of *Mauritia flexuosa* L. f. **Latin American and Caribbean Bulletin of Medicinal and Aromatic Plants**, v. 19, n. 4, p. 408–419. 2020.
- NOOR, S.; BHAT, Z. F.; KUMAR, S.; MUDIYANSELAGE, R. J. Preservative effect of *Asparagus racemosus*: A novel additive for bioactive edible films for improved lipid oxidative stability and storage quality of meat products. **Meat Science**, v. 139, p. 207–212. 2018.
- OJIJO, V.; SINHA RAY, S. Processing strategies in bionanocomposites. **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 10-11, p. 1543–1589. 2013.
- OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. Principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, p. 161-165. 2004.
- OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; AZEREDO, H. M. C.; LOREVICE, M. V.; DE MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; MCHUGH, T. H. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 1151–1169. 2017.
- ÖZOGUL, F.; TUGCE AKSUN, E.; ÖZTEKIN, R.; LORENZO, J. M. Effect of lavender and lemon balm extracts on fatty acid profile, chemical quality parameters and sensory quality of vacuum packaged anchovy (*Engraulis encrasicolus*) fillets under refrigerated condition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84. 2017.
- PEELMAN, N.; RAGAERT, P.; MEULENAER, B.; PEETERS, D.; CARDON, L.; IMPE, F. V.; DEVLIEGHERE, F. Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v.3 2, p. 128-141. 2013.

- PEREIRA, L. F. S.; INÁCIO, M. L. C.; PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C.  
Prevalência de aditivos em alimentos industrializados comercializados em uma cidade do sul de minas gerais. **Revista Ciências em Saúde**, v. 5, n. 3, p. 46-52. 2015.
- PIMENTEL, T. A. P. F.; DURÃES, J. A.; DRUMMOND, A. L.; SCHLEMMER, D.; FALCÃO, R.; SALES, M. J. A. Preparation and characterization of blends of recycled polystyrene with cassava starch. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 7530–7536. 2007.
- QUINTAVALLA, S.; VICINI, L. "Antimicrobial food packaging in meat industry". **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 373. 2002.
- RADFORD, D.; GUILD, B.; STRANGE, P.; AHMED, R.; LIM, L. T.; BALAMURUGAN, S. Characterization of antimicrobial properties of *Salmonella phage* Felix O1 and *Listeria phage* A511 embedded in xanthan coatings on Poly (lactic acid) films. **Food Microbiology**, v. 66, p. 117–128. 2017.
- RAHARJO, S.; DEXTER, D. R.; WORFEL, R. C.; SOFOS, J. N.; SOLOMON, M. B.; SHULTS, G. W.; SCHMIDT, G. R. Restructuring veal steaks with salt/phosphate and sodium alginate/calcium lactate. **Journal of Food Science**, v. 59, p. 471-473. 1994.
- RESENDE, L. M.; FRANCA, S. A.; OLIVEIRA, L. S. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53–60. 2019.
- RHIM, J. W.; PARK, H. M.; HA, C. S. "Bio-nanocomposites for food packaging applications". **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 10, p. 1629. 2013.
- RHIM, J. W. Physical and chemical properties of water-resistant sodium alginate films. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 37, p. 323–330. 2004.
- RHIM, J. W.; KIM, J. H.; KIM, D. H. Modification of Na-alginate films by CaCl<sub>2</sub> treatment. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 35, p. 2217–2221. 2003.
- RIBEIRO, J. S.; SANTOS, M. J. M. C.; SILVA, L. K. R.; PEREIRA, L. C. L.; SANTOS, I. A.; DA SILVA LANNES, S. C.; SILVA, M. V. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181–188. 2019.
- RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, A. S.; SILVA, L. H. M. Fatty acid profiles and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*), patawa (*Oenocarpus bataua*), tucuma

- (*Astrocaryum vulgare*), mari (*Poraqueiba paraensis*) and inaja (*Maximiliana maripa*) fruits. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, n. 10, 2000-2004. 2010.
- ROONEY, M. L. Active packaging in polymer films. In: Active Food Packaging (Rooney, M.L. ed) London, **Blakie Academic and Professional**, p. 74-110. 1995.
- SACHIDANANDAME, K.; FAGAN, S. C.; ERGUL, A. Oxidative stress and cardiovascular disease: antioxidants and unresolved issues. **Cardiovascular Drug Reviews**, v. 23, p. 115-32. 2005.
- SALDANA, E.; LEMOS, A. L.; SELANI, M. M.; SPADA, F. P.; De ALMEIDA, M. A.; CONTRERASCASASTILLO, C. J. Influence of animal fat substitution by vegetal fat on Mortadella-type products formulated with different hydrocolloids. **Scientia Agricola**, v. 72, n.6, p. 495-503. 2015.
- SALMIERI, S.; LACROIX, M. Physicochemical properties of alginate/ polycaprolactone-based films containing essential oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 10205-10214. 2006.
- SARANTÓPOULOS, C. I.; REGO, R. A. G. L. **Brasil Pack Trends 2020**. 1. ed. Campinas: ITAL, p. 227. 2012.
- SCHLEMMER, D.; SALES, M. J. A. Preparação, caracterização e degradação de blendas usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 6-13. 2010.
- SCHLEMMER, D.; OLIVEIRA, E. R.; SALES, M. J. A. Polystyrene/thermoplastic starch blends with different plasticizers: Preparation and thermal characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 87, n. 3, p. 635- 638. 2007.
- SILVA, S. M.; SAMPAIO, K. A.; TAHAM, T.; ROCCO, S. A.; CERIANI, R.; MEIRELLES, J. A. Characterization of oil extracted from buriti fruit (*Mauritia flexuosa*) grown in the brazilian amazon region. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 86, p. 611-616. 2009.
- SILVEIRA, C. S.; PESSANHA, M. C. S.; NEVES-JUNIOR, I.; MENEZES, F. S.; KAPLAN, M. A. C. Atividade antimicrobiana dos frutos de *Syagrus oleracea* e *Mauritia vinífera*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p. 143-148. 2005.

- SIMIÃO, A. M. Aditivos para alimentos sob o aspecto toxicológico. São Paulo: Nobel, p. 274. 1985.
- SIRIPATRAWAN, U.; NOIPHA, S. Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf-life extension of pork sausages. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1. p. 102-108. 2012.
- SKURTYS, O.; ACEVEDO, C.; PEDRESCHI, F.; ENRIONE, J.; OSORIO, F.; AGUILERA, J. M. Food hydrocolloid edible films and coatings. In *Food Hydrocolloids Characteristics, Properties and Structures*; Hollingworth, C.S., Ed.; **Nova Science Publishers, Inc.**: New York, NY, USA, p. 41–80. 2010.
- SMIDSRØD, O.; SKJÅK-BRÆK, G. Alginate as immobilization matrix for cells. **Trends in Biotechnology**, v. 8, p. 71–78. 1990.
- SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000.
- SOLADOYE, O. P.; JUAREZ, M. L.; AALHUS, J. L.; SHAND, P.; ESTÉVEZ, M. Protein oxidation in processed meat: mechanisms and potential implications on human health. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 106–122. 2015.
- SOUZA, C.O.; VEIGA-SANTOS, P.; DRUZIAN, J.I. Natural ingredients as additive for active antioxidant food packaging. **Food Quality, Safety and Technology**. Springer, New York, p. 179-304. 2013.
- SPERANZA, P.; FALCÃO, A. O.; MACEDO, J. A.; DA SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. DA C.; MACEDO, G. A. Amazonian Buriti oil: chemical characterization and antioxidant potential. **Grasas y Aceites**, v. 67, n. 2. 2016.
- SUNG, S. Y.; SIN, L. T.; TEE, T.; BEE, S.; RAHMAT, A. R.; RAHMAN, W. Control of bacteria growth on ready-to-eat beef loaves by antimicrobial plastic packaging incorporated with garlic oil. **Food Control**, v. 39, p. 214-221. 2014.
- TANADA-PALMU, P. S.; GROSSO, C. R. F. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 36, p. 199–208. 2005.

- TOVAR, L.; SALAFRANCA, J.; SÁNCHEZ, C.; NERÍN, C. Migration studies to assess the safety in use of a new antioxidant active packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 5270-5275. 2005.
- UNEP. United Nations Environment Programme. Plastic waste, Marine Plastics Litter and Microplastics: Overview. **Convenção de Basileia**. 06 jan. 2020.
- VARGAS JÚNIOR, A., FRONZA, N., FORALOSSO, F. B., DEZEN, D., HUBER, E., DOS SANTOS, J. H. Z., QUADRI, M. G. N. Biodegradable Duo-functional Active Film: Antioxidant and Antimicrobial Actions for the Conservation of Beef. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 75–87. 2015.
- VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; DEVEBERE, J. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. **Food Additives and Contaminants**, v. 19, p. 163-171. 2002.
- VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; VAN BEEST, M.; DEVEBERE, J. Developments in the active packaging of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, p. 77-86. 1999.
- VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, Brasília, Brasil. 2006.
- YANISHLIEVA-MASLAROVA, N. V. Inhibiting oxidation. In: Pokomy J, Yanishlieva N & Gordon M (Eds.) **Antioxidants in food: Practical applications**. Cambridge, Woodhead Publishing. p. 23-70. 2001.
- YILDIRIM, A.; OKTAY, M.; BÜLALOĞLU, V. The Antioxidant Activity of the Leaves of *Cydonia vulgaris*. **Turkish Journal of Medical Sciences**, v. 31, p. 23-27. 2001.
- ZHANG, L.; YU, D.; REGENSTEIN, J. M.; XIA, W.; DONG, J. A comprehensive review on natural bioactive films with controlled release characteristics and their applications in foods and pharmaceuticals. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 690–707. 2021.
- ZHENG, J.; ZENG, R.; ZHANG, F.; KAN, J. Effects of sodium carboxymethyl cellulose on rheological properties and gelation behaviors of sodium alginate induced by calcium ions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 99, p. 513-518. 2019.

## **CAPÍTULO II**

### **Production, Characterization and Application in Hamburger of Active Films Incorporated to Buriti Oil in Sodium Alginate Matrix**

**Production, Characterization and Application in Hamburger of Active Films  
Incorporated to Buriti Oil in Sodium Alginate Matrix**

**Emily Araújo Porto<sup>a</sup>, Leilson Rocha Bezerra<sup>b</sup>, Ronaldo Lopes Oliveira<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Graduate Program in Food Science, Faculty of Pharmacy, Federal University of Bahia (UFBA), Rua Barão Geremoabo, s/n, Campus Ondina, Salvador, Ba, 40170-210, Brazil*

*<sup>b</sup>Graduate Program in Animal Science and Animal Science and Health, Federal University of Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, PB, 58428-830*

**Corresponding author:** *Emily Araújo Porto. Graduate Program in Food Science, Faculty of Pharmacy, Federal University of Bahia (UFBA), Rua Barão Geremoabo, s/n, Campus Ondina, Salvador, Ba, 40170-210, Brazil e-mail: [porto.emilly@gmail.com](mailto:porto.emilly@gmail.com)*



## ABSTRACT

The polymeric materials derived from petroleum used for their versatility, are non-recyclable materials with low biodegradability and led to accumulation of waste and an environmental problem. Sodium alginate (SA) is a biopolymer, produced by plant or microbial organisms and is used in the food industry. Buriti oil (BO) (*Mauritia flexuosa*) has a phenolic composition with antioxidant, photoprotective, plasticizing and antimicrobial properties. That said, this work aimed to develop, characterize and test films of sodium alginate incorporated into buriti oil for conservation of hamburgers in storage. The films were prepared using the technique of "casting" with the filmogenic solution of SA, with concentrations of 0; 0.5; 1.0; 1.5% of BO. The variables analyzed in the films were thickness, mechanical properties, thermal analysis and toxicity. According to the results, the 0.5% film showed the closest desirable properties in the industry and for this reason it was used in the evaluation of the shelf life of the hamburger, on days 0, 3, 6 and 9 (4°C), in which demonstrated a reduction and/or maintenance of pH, reduction of water loss, maintenance of color, texture and decrease of microbiological count. The development of sodium alginate films incorporated into buriti oil for hamburger conservation has proved to be promising for the food industry.

**Keywords:** Antimicrobial, antioxidant, *Mauritia flexuosa*, package.

## 1 INTRODUCTION

The correct conservation of food occurs when the packaging has the function of maintaining the safety and quality of food products throughout the transport and storage process (RHIM *et al.*, 2013; OTONI *et al.*, 2017). Currently, food packaging is mainly made from petroleum-derived plastic to extend the shelf life of food, but most of these materials are non-recyclable and have low biodegradability, which has caused excessive waste disposal and environmental pollution problems (CHI; CATCHMARK, 2018). From this concern, interest in research for biodegradable polymers has been growing (IMRE; PUKÁNSZK, 2013; PEELMAN *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2021). Several new concepts were introduced in food packaging to satisfy consumer demands (SOUZA *et al.*, 2013; MOHAMED *et al.*, 2020). Thus, the trend in the development of active packaging is in the study of the use of natural bioactive substances incorporated through the biopolymer matrix emulsion process, improving the mechanical, barrier and antimicrobial activity properties (GALUS; KADZIŃSKA, 2015).

Alginate is classified as a polysaccharide biopolymer and is used in various industries, in addition to food, beverage, textile, printing and pharmaceuticals as a thickening agent,

stabilizer, emulsifier, chelating agent, encapsulation, expander, suspending agent or to form gels, films and membranes (HAY *et al.*, 2013).

*Mauritia flexuosa* L.f., also called buriti, is a palm tree of the Arecaceae family found in the Amazon and Cerrado (CÂNDIDO *et al.*, 2015). The antioxidant activity of buriti oil extract was related to the high content of carotenoids present (KOOLEN *et al.*, 2013). Enabling the use of oil in association with alginate film, which has a phenolic composition with an antioxidant, antimicrobial, photoprotective effect and also reported as a plasticizer (KOOLEN *et al.*, 2013; PIMENTEL *et al.*, 2007; SCHLEMMER *et al.*, 2007).

This study aimed to incorporate buriti oil in the sodium alginate film, as it was not found in the literature, to produce resistant films with better biodegradation in the environment, in addition to having active antimicrobial and antioxidant action that are characteristic for a correct conservation of burger, as well as the function of maintaining safety and quality during transport and storage against possible contaminants: microorganisms, chemicals, oxygen, moisture, light, extending the shelf life of the hamburger. That said, the objective of this work was to obtain and characterize films of sodium alginate incorporated into buriti oil to, from the results, choose the film with the best concentration for subsequent application in hamburger packaging.

## 2 MATERIAL AND METHODS

The project was carried out with the scientific collaboration of laboratory entities of the Federal University of Bahia (UFBA) and the Animal Nutrition Laboratory (LANA) of the Center for Rural Health and Technology (CSTR) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), Campus de Patos/PB and in partnership with the laboratories that are part of the Post-Graduate Program in Food Sciences at the Faculty of Pharmacy at UFBA.

### 2.1 Elaboration of active films

For the preparation of the films, the “casting” technique was used, which consists of preparing the filmogenic solution (SF) deposited on a support, followed by drying the solvent according to methodologies adapted from Oussalah *et al.* (2006) and Vasconcelos *et al.* (2021). The films were prepared from a solution containing 3% sodium alginate (m/v) (Dinâmica®), 2% glycerol (m/m) (Alphatec®) as plasticizer, 1% tween 80 (m/m) as an emulsifying agent in distilled water. The components were mixed and heated under gradual stirring with the aid of a glass rod in a magnetic stirrer until reaching a temperature of 70 °C/40 min. Pure vegetable buriti oil was added to the filmogenic solution, while still heated, purchased from a local commerce in the municipality of Teresina-PI, with concentrations of 0; 0.5; 1.0; 1.5% (m/m) of

the oil and again subjected to stirring for 20 min. at a speed of 10,000 RPM using a Mondial® brand mixer with heating (70°C).

After preparing the solutions, 40g of these were poured onto polyester plates (90x15 mm) and dried for 24 hours in an air-circulating oven at 45 °C. After drying the films, they were removed from the plates, wrapped in aluminum foil and placed in ziplock plastic bags at room temperature, for further characterization of the films.

## 2.2 Characterization of films

### 2.2.1 Thickness and weight

Thickness was analyzed by measuring the values of 5 random points in different segments of the films, using a micrometer (Digimes, Brazil) with a resolution of 0.01 mm, in triplicate, with fifteen readings for each type of film. using samples of size 90×15 mm (OLIVEIRA, 1996).

### 2.2.2 Mechanical properties

The modulus of elasticity, tensile strength and fracture deformation of films with different amounts of Buriti oil (0, 0.5, 1 and 1.5 %) were measured and compared using a texture analyzer (TA.XT plus, Stable Micro Systems Ltd., Vienna, UK). The initial separation of the claws was 10 mm and the traction speed was 5 mm/min. Data from the stress-strain (MPa) versus Deformation (%) curves were collected and processed in the equipment's software. Young's modulus for the samples was reached considering the tangent of the elastic region of the stress-strain × Deformation curves. Elongation values at break were calculated as the ratio of the final length at the break point of the specimen to the initial length of a specimen (10 mm) and expressed as a percentage. Ten repetitions were performed for each sample with dimensions of 50 mm in length and 10 mm in width. Before analysis, samples were kept for 2 days in a controlled environment at 25 °C and 50% relative humidity. Methodology adapted from ASTM D882-12 (2016) standards.

### 2.2.3 Thermal analysis

The device used to obtain the curves was the thermal analyzer model DTG-60 Shimadzu. About 4 mg of each sample were used in an alumina (aluminum oxide) crucible. The programming used was adapted from Silva *et al.* (2016): temperature range 30 to 600 °C, with heating rate of 10 °C/min, under dynamic flow of nitrogen in the oven (100 mL/min).

The initial degradation temperature used was Tonset, it is identified by the crossing between lines a and b, and is called extrapolated start or mathematical start, characterizing the best point that represents the degradation of the analyzed compounds.

For the differential scanning calorimetry (DSC) curves, the thermal analyzer instrument was used. Model DSC-60 Shimadzu, under a nitrogen atmosphere at a flow of 50 mL.min, at a heating rate of 10° C.min<sup>-1</sup>, in a temperature range from 30 to 600° C, using an alumina crucible, containing about 4 mg of sample.

#### 2.2.4 Toxicity test

The toxicity of the films produced was determined by the bioassay with *Artemia salina*. The toxicity test with *Artemia salina* nauplii was performed according to the methodology adapted from Meyer *et al.* (1982). To hatch the eggs, conditions of constant aeration and artificial lighting for 48 hours and saline solution at a concentration of 12 ppm, consisting of 15.153 g of NaCl, 1.398 g of MgCl, were used. 1.888 g of MgSO<sup>4</sup>, 0.652 g of CaCl<sup>2</sup>, 0.414 g of KCl and 0.116 g of NaHCO<sup>3</sup> in 1.0 L of distilled water.

After 48 h, 10 *Artemia salina* nauplii were transferred to test tubes containing 5 mL of artificial saline and then, the larvae were exposed to different concentrations in the tubes (0; 100; 500; 1000; 5000 µg.ml) of each film (0; 0.5; 1.0; 1.5% buriti oil) for 48 h and kept under conditions of constant aeration and artificial lighting during a saline solution at a concentration of 12 ppm at a temperature of 28 °C. Negative control was performed with artificial saline solution. The nauplii survival rate was measured after 24 and 48 h of exposure. Being considered alive all those who showed any type of movement when observed close to a light source for 10 s. All tests were performed in triplicate.

The lethal concentration (LC50) for samples of brine shrimp was used to classify the toxicity as follows: > 1000 µg.ml (non-toxic), 500 < LC50 ≤ 1000 (low toxicity), 100 < LC50 ≤ 500 (moderate toxicity), LC50 < 100 (high toxicity).

#### 2.3 Evaluation of films on the shelf life of the hamburger

The hamburger was produced with a proportion of 90% beef soft top and 10% bacon, without the addition of spices and salt (Miller *et al.*, 1993), so as not to interfere in the analysis. Meat and bacon were purchased from a local slaughterhouse (Patos-PB) and periodically inspected (BRASIL, 2004).

The hamburgers produced with a standard size, thickness and weight of 100 g each with the aid of a mold, were packaged according to the experimental group, previously sterilized in a hood with UV light, using a sealer, and subjected to the treatments: A: Control (without film),

B: Sodium alginate film, C: 0.5% buriti oil film, stored at 4 °C, simulating typical conditions of the Brazilian market. The experimental period took place on days 0, 3, 6 and 9 under the above conditions, according to the methodology adapted from Jridi *et al.* (2018), with the following analyses: cooking loss and shrinkage, water retention capacity, pH, color, texture, heme iron content and microbiological analysis of the hamburgers.

The tests described below were used to evaluate the effectiveness of the film according to the results obtained in the characterization of sodium alginate films produced in different concentrations of buriti oil, the film with the concentration of 0.5% oil was indicated for the evaluation of shelf life in the hamburgers, after removing the coatings.

### 2.3.1 Loss by cooking and shrinkage

Cooking weight loss and shrinkage were analyzed in triplicate of hamburger samples, by the difference in weight and diameter of the hamburgers before and after roasting, according to equations proposed by Duckett *et al.* (1998).

A grill (Britania® mega 2n) preheated to 200 °C, a digital skewer thermometer (Incoterm®) was used to monitor the internal temperature of the hamburger until the geometric center reached 70 °C and an inelastic measuring tape to check the diameter of the samples.

$$\text{Equation 1} \quad \% \text{ Loss by cooking} = \frac{\text{Weight of cooked sample}}{\text{Raw sample weight}} \times 100$$

$$\text{Equation 2} \quad \% \text{shrinkage} = \frac{(\text{Diameter of raw sample} - \text{Diameter of cooked sample})}{\text{Diameter of raw sample}} \times 100$$

### 2.3.2 Water holding capacity

The water retention capacity (CRA) was determined by placing the samples of hamburgers with approximately 300 mg in filter paper previously weighed (P1), and pressed for 5 minutes, using a weight of 3.4 kg. After pressing, the hamburger samples were removed and the paper was weighed again (P2). The calculation used for the water holding capacity was performed with the aid of equation 3, where “S” represents the sample weight, according to the method proposed by Sierra (1973). The water holding capacity analyzes were carried out in triplicate measurements in the four treatments.

$$\text{Equation 3} \quad \text{WHC}\% = (P2 - P1)/S \times 100$$

### 2.3.3 pH

The pH was measured using a digital pH meter combined with a TECNAL® brand glass electrode, model Tec-3MP, introduced into a 5g sample of the hamburger that was weighed and homogenized with 50ml of deionized water (ZAPATA *et al.* 2000).

### 2.3.4 Color

To assess the color of the surface of the hamburger throughout the experimental storage period, the cuts of meat were standardized to a thickness of at least 15 mm, followed by exposure to air for 30 min. at room temperature after removing the films for evaluate the color, so that the readings could then be taken with the aid of a colorimeter (KONICA MINOLTA, model CR-400), operating in the CIELAB system ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), with  $L^*$  being the luminosity, variable of the black (0%) to white (100%);  $a^*$  the intensity of the red color, varying from green(-a) to red (+a); and  $b^*$  the intensity of the yellow color, varying from blue (-b) to yellow (+b). Three measurements were taken at different points on the hamburger, using the mean values for color representation, according to the methodology described by Wheeler *et al.* (1995).

### 2.3.5 Texture evaluation

Texture profile analysis (TPA) was determined on the cooked hamburger after cooking loss analysis in a TA-XT plus texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, England) and using its own Exponent Gram equipment, version v. 51.1.0, based on the method described by Bourne (1978). The parameters performed were hardness ( $N \cdot cm^{-2}$ ), being the maximum force to compress the product, cohesion: which the sample can be deformed after rupture; elasticity: the ability that the product tends to regain its original shape after the force has been removed, and chewiness: the work required to chew the sample. For TPA results, ten repetitions were performed for each treatment.

### 2.3.6 Heme iron content

The total heme iron content was determined as previously described by Clark *et al.* (1997). The hamburger sample (2 g) was homogenized with 9 mL of acidified acetone (90% acetone, 8% deionized water, 2% HCl). The homogenate was placed for 1 hour at 25 °C in the dark and then filtered through glass wool. The absorbance of the filtrate was determined at 640 nm. The absorbance was multiplied by a factor 6800 and then divided by the sample weight to obtain the total pigment concentration in the meat with hematin/ $\mu g$  of meat. The iron content was calculated with the factor of 0.0882  $\mu g$  iron. $\mu g$  hematin (MERCK, 1989). The amount of heme iron was expressed in  $\mu g/g$  of hamburger and calculated using the following equation 4:

**Equation 4**

$$\text{Heme iron} = A640 \times 680 \times 0,0882$$

### 2.3.7 Microbiological analysis

The hamburger samples, after removing the films, with 25g of all groups (control and tests) were collected in sterilized bottles containing 225 mL of maximum recovery diluent [0.1 % (w/v) of peptone in NaCl solution 0.9 % (w/v)], and then homogenized for 5 min. In a sterile environment, dilutions from  $10^{-1}$  to  $10^{-5}$  were made using the maximum recovery diluent. One milliliter of each dilution was added to sterile Petri dishes, then approximately 15 mL of Plate Count Agar culture medium at 40 °C was added. The plates were gently shaken and incubated at 30 °C and 4 °C for 3 and 7 days, respectively, for counting mesophilic and psychrophilic microorganisms. All analyzes were performed with 3 replications. Indicator microorganisms (microbiological and sanitary standards) were evaluated according to RDC No. 12 (BRASIL, 2001; BRASIL, 2019).

### 2.4 Statistical analysis

In the characterization of the films, the data were evaluated and descriptively interpreted. The results of the shelf-life assessment, repeated in triplicate, were expressed as the mean and standard deviation. Group means were compared, between times, using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey, which was used to determine differences between treatments within the 95% confidence interval, using the GraphPad Prisma Software. Statistical data were considered significant with  $p > 0.05$ .

## 3 RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Elaboration of active films

In preparing the films, the range of 0; 0.5; 1.0 and 1.5% concentration of buriti oil was used (Figure 1). It was observed that buriti oil extravasation occurred from the films to the plate after drying, in relation to the addition of oils in higher concentrations (2.0 and 2.5%), even after changing the proportions of the emulsion solution, thus representing unfeasible losses of the product, justifying the concentration range used.

**Figure 1** - Filmogenic solutions in different concentrations of buriti oil and their respective films. A: 0%, B: 0.5%, C: 1.0%, D: 1.5%.

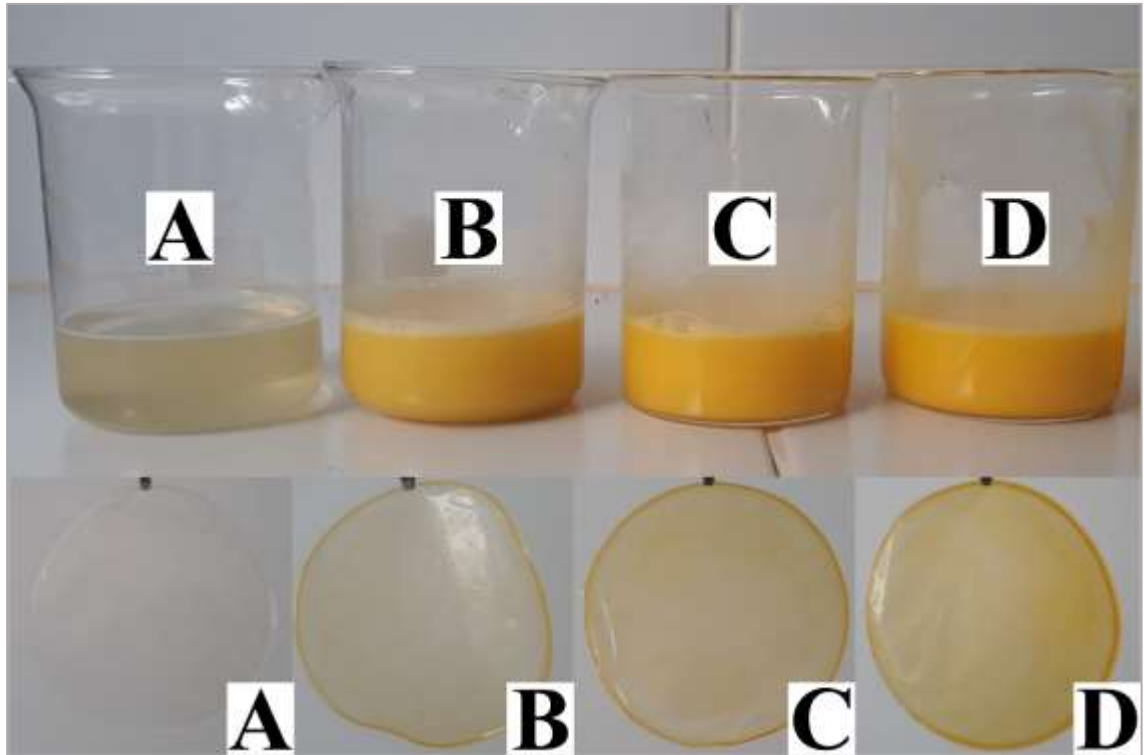


Image source: Personal archive

### 3.2 Characterization of active films

After production, the thickness of the films was evaluated at 5 points and according to the average values, shown in Table 1, they were used in the calculation of the mechanical properties presented below. The thickness increased slightly descriptively according to the inclusion level of buriti oil in relation to the treatment without inclusion up to 1%, where from 1.5% the thickness was maintained. Yerramathi *et al.* (2021), found no significant differences in thickness between sodium alginate films with different additions of ferric acid concentrations and, similarly to this study, the inclusion of oil did not change the thickness of the alginate films.

**Table 1** - Thickness of alginate-based active films incorporated into buriti oil at different concentrations

Films	Concentration of buriti oil (%)			
	0	0.5	1	1.5
Thickness (mm)	0.09±0.01	0.08±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01

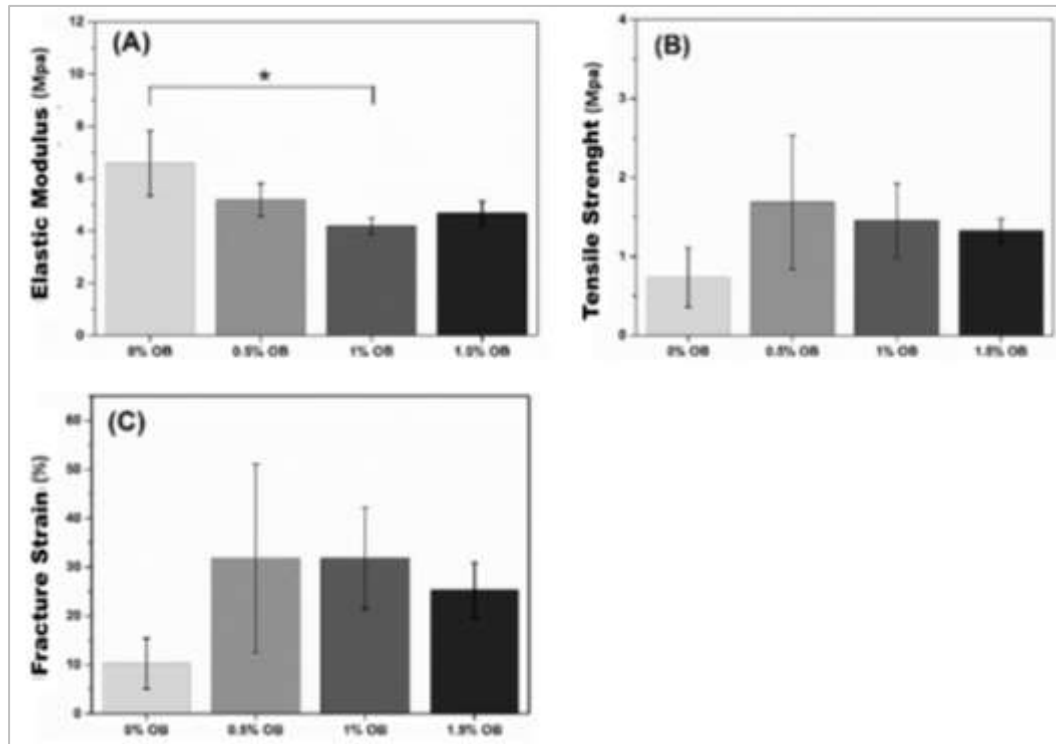
**Source:** Personal archive



### 3.2.1 Mechanical properties

Mechanical properties are related to the chemical structure of biopolymer films (MARTINS *et al.*, 2012). Figure 2 shows the mechanical properties of films with different concentrations of buriti oil. It can be seen that the addition of buriti oil enhanced the mechanical response of the films. The increase in mean values of tensile strength (RT) indicates more resistant films, and a decrease in elastic modulus (EM) and increase in fracture deformation (DF) indicate more flexible films. Although this improvement in mechanical properties occurred, it was not statistically significant ( $P < 0.05$ ), probably due to the number of samples analyzed and the high standard deviation, except for ME with 1% OB compared to 0% OB (Figure 2.A). The ME decreases when buriti oil is added, and from the concentration of 1.5%, the values rise again, losing the film strength needed in packaging. The tensile strength increases with 0.5%, however as the oil concentration increases, this strength decreases. In terms of fracture deformation, both 0.5% and 1% had similar results, decaying again from the concentration of 1.5%. The inclusion of buriti oil generates more resistant and more flexible alginate films up to a concentration of 0.5%, but as this concentration increases, the films lose these favorable characteristics.

**Figure 2** - Analysis of (a) modulus of elasticity, (b) tensile strength and (c) fracture deformation of films with different concentrations of OB - buriti oil. Results were presented as mean and standard deviation. \* $p < 0.05$ .



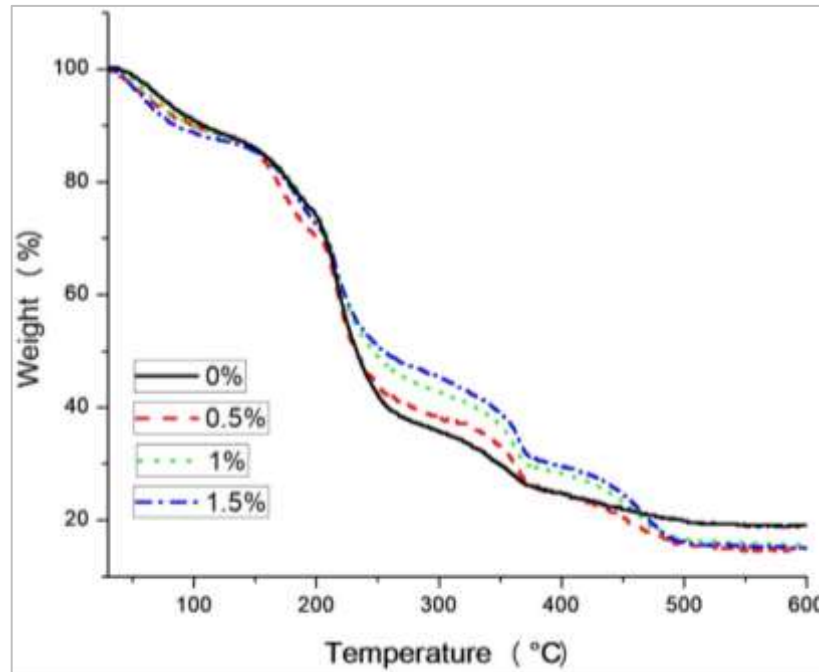
**Image source:** Personal archive

According to the work by Silva *et al.* (2016), as the concentration of buriti oil increased, the plasticity of the films and elongation at break increased and the tensile strength was reduced, suggesting that buriti oil acts as a plasticizer, which is in agreement with this study. For the development of films for use in food, the 0.5% concentration film showed more favorable and desirable mechanical properties. Silva *et al.* (2016) demonstrated that the chitosan film with only buriti oil lost its flexibility without the presence of the plasticizer (glycerol), making the plasticizer necessary in the preparation of the films together with the buriti oil.

### 3.2.2 Thermal analysis

From the TG curves (Figure 3) it is possible to observe descriptively that the control film presented three main events of thermal degradation, while the films with the addition of buriti oil presented four events.

**Figure 3 - TG curves for alginate films with buriti oil.**



**Image source:** Personal archive

The temperature range of the 1st stage (30-125°C) was similar for all films and demonstrates the output of moisture by the hydrophilic matrix of the alginate, with a slight decrease in the curve, that is, an increase in moisture loss, according to with the increase in the concentration of buriti oil, suggesting the presence of the oil, it forms a kind of barrier that prevents loss of moisture. The second stage (189 - 0%; 191 - 0.5%; 192 - 1.0%; 195 - 1.5%), allowed to evaluate the thermal stability of the materials and, according to the increase in oil concentration, there was a slight increase in this stability proportional to the oil concentration level. To assess the onset of thermal degradation, the Tonset parameter (Initial extrapolated degradation temperature) was used.

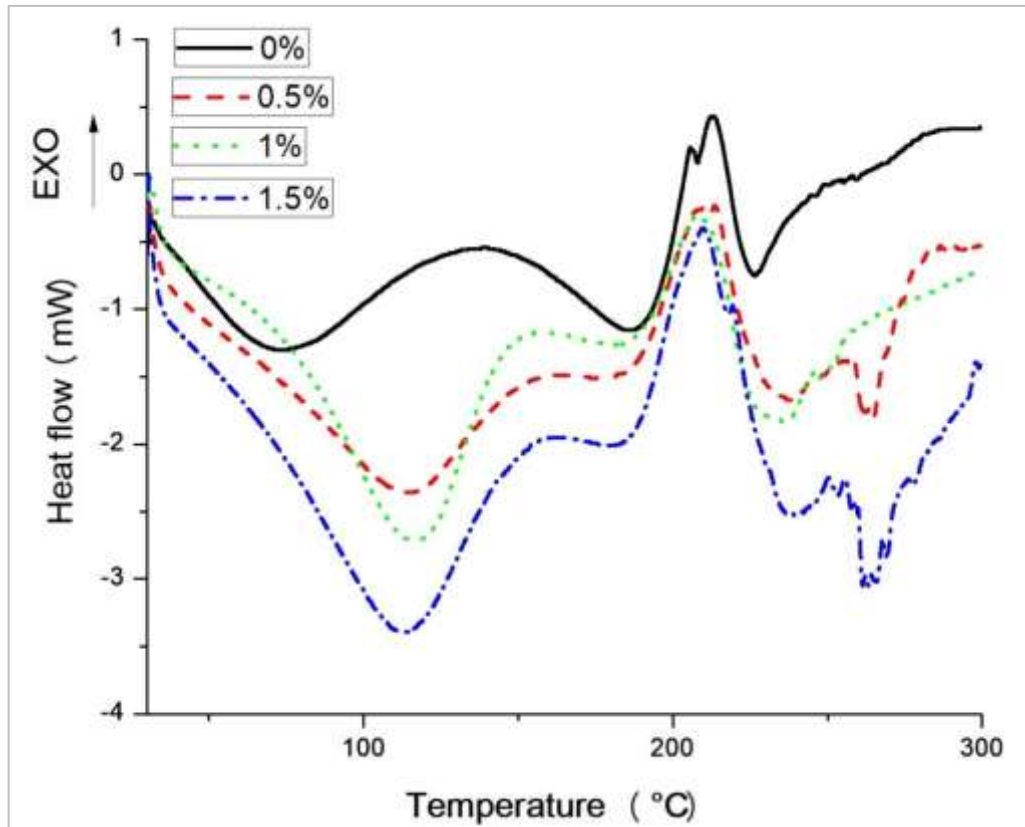
Silva *et al.* (2016) demonstrated similar TG curves to this study using chitosan films incorporated into buriti oil, as chitosan is also a polysaccharide. A third peak (350 °C) was associated with the decomposition of phenolic compounds present in the composition of buriti oil (SILVA *et al.*, 2016), as the film without the oil did not present this same peak. Aloui *et al.* (2021) incorporated gall nut extract (*Quercus infectoria*) to the alginate film and the thermal stability did not increase as observed in this work, demonstrating that buriti oil may be associated with increased thermal stability in the alginate film, corroborating with the literature, which suits the characteristics of the packages (DURÃES *et al.*, 2006; OTONI *et al.*, 2017). After this analysis, it was possible to observe that the thermal stability of the alginate films increased according to the level of inclusion of buriti oil, the most notable improvement in the

thermal stability of the films occurred between 250 and 350 °C, where it was lower Degradation rate according to the increase in the oil content entered, observation being possible from a concentration of 0.5%.

### 3.2.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

The DSC curves showed endothermic (peak down) and exothermic events. For all films, descriptively analyzed, the 1st endothermic peak is related to the moisture present, as already verified in the TG curves. As seen in Figure 4, the temperature of this event increased with the addition of oil, similarly for all levels, that is, moisture was released in a wider temperature range, between 113 and 115°C. This may indicate that the presence of oil increases the hydrophobicity of the oil in the films and, consequently, in the product, maintaining the natural moisture of the food as well as preventing the absorption of moisture from the air, being an important influence on the shelf life of the product in which the film is wrapped (SILVA *et al.*, 2016). The endothermic event at 185°C (2nd peak) for the oil-free film is likely due to the onset of thermal degradation, which continues to occur through exothermic events at 205 °C (3rd peak) and 213 °C (4th peak). Pereira *et al.* (2011) found that the unprocessed sodium alginate powder showed two endothermic and one exothermic peak, where the initial endothermic peak was observed at 82.8°C, similar to this work. For films with oil addition, the exothermic event (4th peak) of thermal degradation occurred at a higher temperature, similar to all oil additions, confirming that oil improves the thermal stability of the film, corroborating the TG curves. Pereira *et al.* (2011) used aloe vera in alginate films, where they found a slight increase in film stability and an increase in degradation temperature, similarly to this study.

**Figure 4** - DSC curves for alginate films with buriti oil.

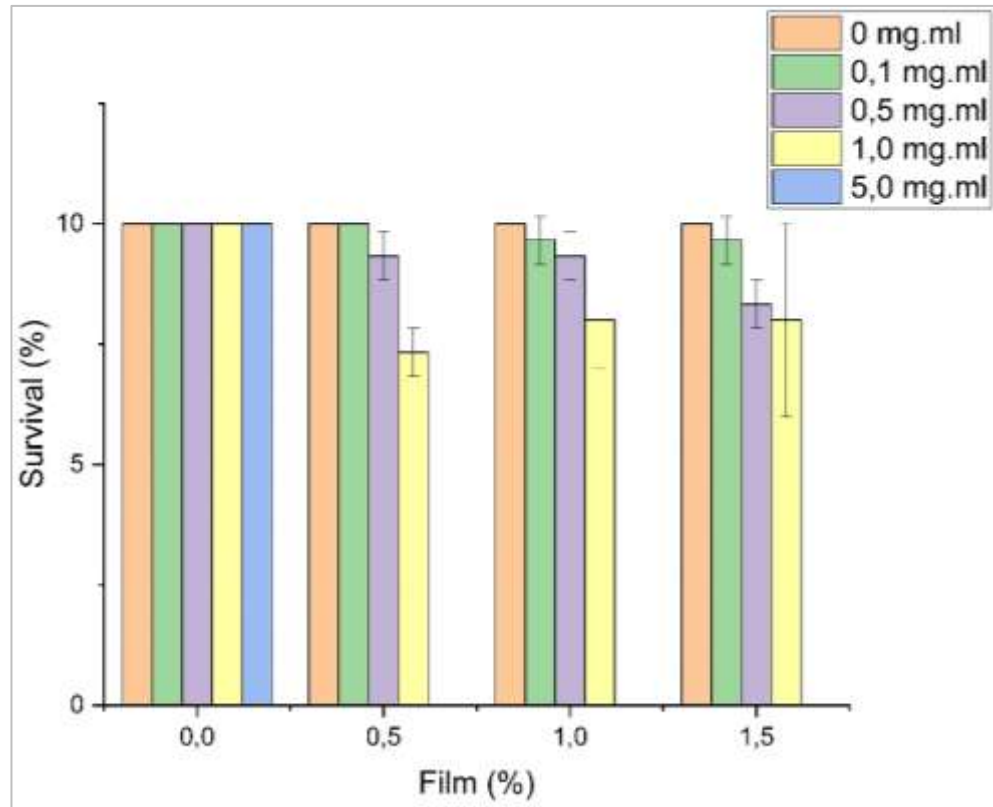


**Image source:** Personal archive

### 3.2.4 Toxicity test

Since in this study there was application of the film in food, seeking to ensure safety, since the oil was purchased from local stores, and a possible migration of the active to the food occurred, the toxicity test of films containing buriti oil was carried out. The brine shrimp is widely used and reliable as a biological assay for demonstrating good correlation with several biological activities (MEYER *et al.*, 1982). The bibliography also reveals a good correlation between the bioassay with *Artemia salina* to predict the toxicity of extracts from different plants in humans (PARRA *et al.*, 2001). The results obtained are in figures 6 and 7.

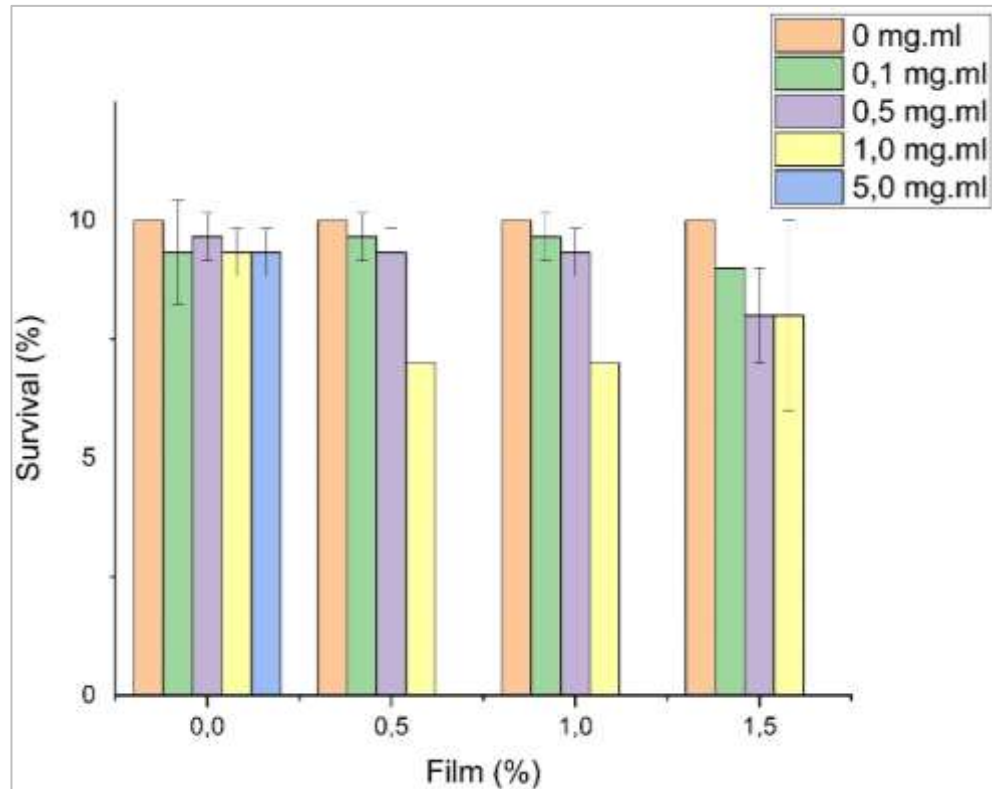
**Figure 6** - *Artemia salina* survival rate in the film toxicity test at concentrations 0; 0.5; 1.0; 1.5 % buriti oil after 24h.



**Image source:** Personal archive

The Food and Drug Administration (FDA, 2020), the US food regulatory body, classifies food grade sodium alginate as a GRAS (generally considered safe) substance under Title 21 of the Code of Federal Regulations (CFR), demonstrating the safety of using sodium alginate as a film in food. Regarding buriti oil, it is described in the literature as a functional food according to its characteristics, such as the presence of a large amount of omega-9 fatty acid, which help prevent cardiovascular disease, sulfur amino acids, important for premature babies and tryptophan, a precursor of niacin, considerable amounts of carotenoids, polyphenols and ascorbic acid, which can be used to prevent diseases arising from oxidative stress, such as cancer (SANTOS *et al.*, 2015). High  $\beta$ -carotene content along with its pro-vitamin A activity (MELENDEZ-MARTINEZ *et al.*, 2013). What identifies the low toxicity associated with buriti oil.

**Figure 7** - *Artemia salina* survival rate in the film toxicity test at concentrations 0; 0.5; 1.0; 1.5 % buriti oil after 48h.



**Image source:** Personal archive

### 3.3 Assessing the effect of films on hamburger shelf life

According to the results obtained in the characterization of sodium alginate films produced at different concentrations of buriti oil, the film with a concentration of 0.5% oil was indicated for the evaluation of shelf life in hamburgers, as it presented characteristics mechanical and thermal more stable, lower cost due to the smaller amount of oil used in production, close to what is desirable for the food industry and that describe active films (RHIM *et al.*, 2013). Furthermore, none of the films showed toxicity in the tests.

#### 3.3.1 Instrumental parameters of hamburger quality

When observing the pH values in Table 2, both the treatment in the control and in the 0% film, there was an increase according to days 0 and 9 of storage of the hamburgers, while in the film with 0.5% buriti oil these numbers were observed. remained stable or decreased, but without significant difference between treatments, which can be explained by the likely antioxidant action of the oil neutralizing free radicals formed (SANTOS *et al.*, 2015), within what is considered normal for beef, where the limit maximum considered viable for consumption varies between 6.0 and 6.4 (BRASIL, 1997). The reduced pH observed in the presence of 0.5% buriti oil film in meat storage is indicated for the reduction of bacterial growth

that leads to a delay in protein denaturation and thus, consequently, less water loss from this product, leading to conservation of the meat longer in shelf life (OFFER, 1991).

**Figure 8** - Hamburgers prepared for storage. A: Control (without film); B: With alginate film; C: With alginate film and 0.5 % buriti oil.



**Image source:** Personal archive

In table 2, it is possible to observe that the parameter of water holding capacity had a slight increase to 0.5% BO on day 9 of the study compared to the control. As for the iron content (Table 2), there were no significant changes during the study period ( $p > 0.05$ ). The iron content is related to the color index of the red hue ( $a^*$ ) of the samples, as it indicates the amount of myoglobin in the meat (JOHNS *et al.*, 1989). During the lipid oxidation process, heme iron can be partially converted to non-heme iron in meat, that is, the higher the iron content, the greater the catalysis of lipid oxidation that occurs at the time of this conversion. (REZAEI; HOSSEINI, 2008).

In the study by Leão *et al.* (2019), showed that buriti oil was able to reduce the iron ion and, consequently, inhibit oxidative degradation. Nonato *et al.* (2020) demonstrated that the oil from the pulp of the *M. flexuosa* fruit has the capacity to chelate iron ions.

On day 0 of the control treatment (Table 2), cooking loss was greater than for the other treatments ( $p < 0.05$ ), which may mean less juiciness of the meat, unlike on other days, when the values did not have had changes. These results can be explained by the hydrophobicity formed in the films by the presence of oil and is probably due to the slight improvement in the water retention capacity and the characteristics of the water barrier after the migration of this oil to the hamburger (OFFER, 1991; SILVA *et al.*, 2016; DEGHANI *et al.*, 2018).



**Table 2** - Instrumental pH, WHC, WL and Iron Content parameters of hamburger samples wrapped in alginate-based active films incorporated with OB performed at different storage times (4 °C)

Parameter	Treatment	Storage Time (days)			
		0	3	6	9
pH	Control	5.68 ± 0.39 <sup>ba</sup>	6.11 ± 0.10 <sup>aa</sup>	6.19 ± 0.04 <sup>aa</sup>	5.20 ± 0.11 <sup>ca</sup>
	0 % BO	5.78 ± 0.02 <sup>ba</sup>	6.03 ± 0.04 <sup>ba</sup>	6.13 ± 0.09 <sup>aa</sup>	5.24 ± 0.05 <sup>ca</sup>
	0.5 % BO	5.80 ± 0.04 <sup>aa</sup>	6.07 ± 0.08 <sup>aa</sup>	5.97 ± 0.08 <sup>aa</sup>	5.12 ± 0.04 <sup>ba</sup>
WHC (%)	Control	27.43 ± 0.85 <sup>aa</sup>	21.14 ± 2.84 <sup>aa</sup>	21.44 ± 3.12 <sup>aa</sup>	16.05 ± 0.66 <sup>ba</sup>
	0 % BO	22.11 ± 3.97 <sup>aa</sup>	19.44 ± 2.09 <sup>aa</sup>	19.15 ± 2.26 <sup>aa</sup>	22.34 ± 3.86 <sup>aa</sup>
	0.5 % BO	28.18 ± 4.09 <sup>aa</sup>	23.28 ± 3.48 <sup>aa</sup>	20.93 ± 2.31 <sup>aa</sup>	20.93 ± 3.79 <sup>aa</sup>
WL (%)	Control	21.60 ± 3.64 <sup>aa</sup>	15.94 ± 2.38 <sup>aa</sup>	19.70 ± 1.99 <sup>aa</sup>	23.73 ± 3.36 <sup>aa</sup>
	0 % BO	12.28 ± 0.78 <sup>ab</sup>	17.06 ± 3.85 <sup>aa</sup>	14.77 ± 0.55 <sup>aa</sup>	18.18 ± 2.19 <sup>aa</sup>
	0.5 % BO	12.62 ± 4.65 <sup>ab</sup>	18.85 ± 1.74 <sup>aa</sup>	20.33 ± 3.31 <sup>aa</sup>	16.32 ± 2.63 <sup>aa</sup>
Iron content (µg/g)	Control	15.29 ± 1.78 <sup>aa</sup>	14.27 ± 0.72 <sup>aa</sup>	18.29 ± 2.76 <sup>aa</sup>	17.31 ± 1.54 <sup>aa</sup>
	0 % BO	14.67 ± 1.05 <sup>aa</sup>	15.75 ± 0.99 <sup>aa</sup>	15.09 ± 1.38 <sup>aa</sup>	14.01 ± 2.24 <sup>aa</sup>
	0.5 % BO	16.11 ± 2.05 <sup>aa</sup>	14.37 ± 1.59 <sup>aa</sup>	18.67 ± 3.96 <sup>aa</sup>	14.71 ± 2.62 <sup>aa</sup>

Values described as mean ± standard deviation (n = 3)

Different lowercase letters in the lines differ significantly ( $p > 0.05$ ) between the samples within each time proposed alone by the Tukey test

Different uppercase letters in the columns differ significantly ( $p > 0.05$ ) between each sample according to the nine storage times by Tukey's test

WHC - Water retention capacity; WL- Weight loss by cooking; BO - buriti oil

### 3.3.2 Color

For brightness (Table 3), there was a decrease in values over the days of storage of the hamburgers and a significant increase on day 9 for values similar to the initial ones ( $p < 0.05$ ). However, the control treatment had the highest values and on day 9 it exceeded the value of day 0 ( $p < 0.05$ ). The value of  $L^*$  informs the degree of luminosity or brightness of a color (WYSZECKI *et al.*, 2000) and can express values from 0 (black) to 100 (white). This coordinate is related to the total pigment content of a food product. Higher pigment content implies greater light absorption and, consequently, less reflectance or transmittance, making the product darker or opaquer. This makes  $L^*$  useful to differentiate between red meat and light meat (XING *et al.*, 2007).

For the red color ( $a^*$ ), it was also possible to observe, in table 3, a change in values similar to luminosity over the days, with an abrupt decrease that can be attributed to the yellow present in buriti oil after migration to the burger and from lipid oxidation or or equipment calibration error, but the numbers on day 9 remained below the initial values ( $p < 0.05$ ). According to Beriain *et al.* (2009), myoglobin is responsible for the red color of meat that leads to consumer choice for the product and the decrease in these values demonstrates the oxidation of this protein, which then produces metmyoglobin by microorganisms, which leads to a brownish color of the meat and then disapproval from the consumer (FAUSTMAN *et al.*, 2010; KAEWPRACHU *et al.*, 2017).

In the yellow color index ( $b^*$ ) shown in table 3, the change in values is similar to the red color ( $p < 0.05$ ). This color comes from the presence of lipids in the meat, from metmyoglobin and probably from the migration of buriti oil, which has a yellow coloration (KAEWPRACHU *et al.*, 2017; FAUSTMAN *et al.*, 2010). The decrease in these numbers is related to the oxidation of lipids (JOHNS *et al.*, 1989).

According to data from Komiyama, *et al.* (2009), this change in color parameters that suffer a slight decrease in values and then a significant increase is what occurs in beef over a long period of storage.

**Table 3** - Color and opacity parameters of hamburger samples wrapped in alginate-based active films incorporated into the BO performed at different storage times (4 °C)

Coloring index	Treatment	Storage time (days)			
		0	3	6	9
L*	Control	45.47 ± 2.37 <sup>ba</sup>	17.25 ± 0.81 <sup>da</sup>	20.74 ± 1.76 <sup>ca</sup>	50.42 ± 0.67 <sup>aA</sup>
	0 % BO	44.06 ± 1.05 <sup>aA</sup>	12.82 ± 1.16 <sup>bb</sup>	16.14 ± 3.22 <sup>cb</sup>	46.10 ± 2.26 <sup>aB</sup>
	0.5 % BO	44.40 ± 0.78 <sup>aA</sup>	14.60 ± 1.07 <sup>bb</sup>	15.53 ± 0.95 <sup>bb</sup>	44.84 ± 3.08 <sup>aB</sup>
a*	Control	16.73 ± 0.31 <sup>aA</sup>	0.36 ± 0.003 <sup>ca</sup>	0.35 ± 0.004 <sup>ca</sup>	9.83 ± 1.16 <sup>bb</sup>
	0 % BO	16.91 ± 0.89 <sup>aA</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>ca</sup>	0.37 ± 0.004 <sup>ca</sup>	12.68 ± 1.94 <sup>ba</sup>
	0.5 % BO	16.61 ± 1.45 <sup>aA</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>ca</sup>	0.37 ± 0.006 <sup>ca</sup>	11.40 ± 2.67 <sup>ba</sup>
b*	Control	6.43 ± 0.92 <sup>aB</sup>	0.32 ± 0.003 <sup>ca</sup>	0.33 ± 0.003 <sup>ca</sup>	6.57 ± 1.38 <sup>bb</sup>
	0 % BO	7.27 ± 0.60 <sup>aA</sup>	0.32 ± 0.003 <sup>ba</sup>	0.32 ± 0.004 <sup>ba</sup>	5.26 ± 0.76 <sup>cc</sup>
	0.5 % BO	7.88 ± 1.13 <sup>aA</sup>	0.32 ± 0.005 <sup>ba</sup>	0.33 ± 0.002 <sup>ba</sup>	7.99 ± 1.38 <sup>aA</sup>

Values described as mean ± standard deviation (n = 3); BO - buriti oil

Different lowercase letters in the lines differ significantly ( $p < 0.05$ ) between the samples within each time proposed alone by the Tukey test

Different uppercase letters in the columns differ significantly ( $p < 0.05$ ) between each sample according to the nine storage times by Tukey's test

### 3.3.3 Texture evaluation

According to the data analyzed, there was no significant difference in the parameters of elasticity, chewing and cohesiveness ( $p > 0.05$ ) (Table 4). Hardness, however, showed an increase on day 9 of storage in the hamburgers wrapped in the films, unlike the control treatment, where lower values were observed, showing greater activity of proteolytic enzymes present in the meat (MANCINI *et al.*, 2015). Meat texture is one of the important criteria in consumer preference for product choice. Hardness being the best indicator of meat quality and freshness among all meat texture parameters that depend on many intrinsic biological parameters, such as connecting collagen and fat content and muscle fiber density. (KOOHMARAIE; GEESINK, 2006; VAN WEZEMAEL *et al.*, 2014). The greater texture of the hamburger during storage wrapped in active alginate films may be due to the delay in the degradation and breakdown of myofibrillar protein and collagen by reducing the activity of endogenous enzymes (such as collagenases, cathepsins and calpains) and microorganisms present in the hamburger, result of the reduction and maintenance of pH (MANCINI *et al.*, 2015).

**Table 4** - Texture parameters in hamburger samples wrapped in sodium alginate and BO film on different days of storage (4 °C)

Parameter	Treatment	Storage time (days)			
		0	3	6	9
Hardness <sup>N</sup>	Control	1769.3 ± 361.3 <sup>aA</sup>	1614.9 ± 436.5 <sup>aB</sup>	1516.2 ± 261.8 <sup>aB</sup>	2049.6 ± 347.2 <sup>aB</sup>
	0 % BO	1944.2 ± 288.6 <sup>bA</sup>	2356.8 ± 507.5 <sup>bA</sup>	2239.4 ± 650.1 <sup>bA</sup>	2742.1 ± 416.8 <sup>aA</sup>
	0.5 % BO	1960.4 ± 269.6 <sup>bA</sup>	2367.3 ± 701.9 <sup>bA</sup>	2436.6 ± 562.1 <sup>bA</sup>	3084.6 ± 410.4 <sup>aA</sup>
Elasticity <sup>N/mm</sup>	Control	0.81 ± 0.11 <sup>aA</sup>	0.84 ± 0.09 <sup>aA</sup>	0.87 ± 0.13 <sup>aA</sup>	0.91 ± 0.05 <sup>aA</sup>
	0 % BO	0.84 ± 0.05 <sup>aA</sup>	0.89 ± 0.09 <sup>aA</sup>	0.92 ± 0.13 <sup>aA</sup>	0.88 ± 0.07 <sup>aA</sup>
	0.5 % BO	0.92 ± 0.26 <sup>aA</sup>	0.91 ± 0.06 <sup>aA</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>aA</sup>	0.85 ± 0.07 <sup>aA</sup>
Chewability <sup>N</sup>	Control	654.7 ± 144.4 <sup>aA</sup>	586.8 ± 215.4 <sup>aA</sup>	588.0 ± 215.5 <sup>aA</sup>	1992.5 ± 3205.6 <sup>aA</sup>
	0 % BO	769.0 ± 87.7 <sup>aA</sup>	1142.3 ± 589.3 <sup>aA</sup>	1195.3 ± 711.4 <sup>aA</sup>	1089.0 ± 295.3 <sup>aA</sup>
	0.5 % BO	793.5 ± 323.4 <sup>aA</sup>	994.4 ± 360.3 <sup>aA</sup>	994.4 ± 360.3 <sup>aA</sup>	1355.6 ± 456.4 <sup>aA</sup>

Cohesiveness	Control	0.47 ± 0.04 <sup>aA</sup>	0.42 ± 0.09 <sup>aA</sup>	0.47 ± 0.11 <sup>aA</sup>	0.47 ± 0.11 <sup>aA</sup>
	0 % BO	0.43 ± 0.07 <sup>aA</sup>	0.52 ± 0.19 <sup>aA</sup>	0.48 ± 0.17 <sup>aA</sup>	0.48 ± 0.17 <sup>aA</sup>
	0.5 % BO	0.47 ± 0.10 <sup>aA</sup>	0.47 ± 0.12 <sup>aA</sup>	0.35 ± 0.07 <sup>aA</sup>	0.35 ± 0.07 <sup>aA</sup>

Values described as mean ± standard deviation (n = 3)

Different lowercase letters in the lines differ significantly (p<0.05) between the samples within each time proposed alone by the Tukey test

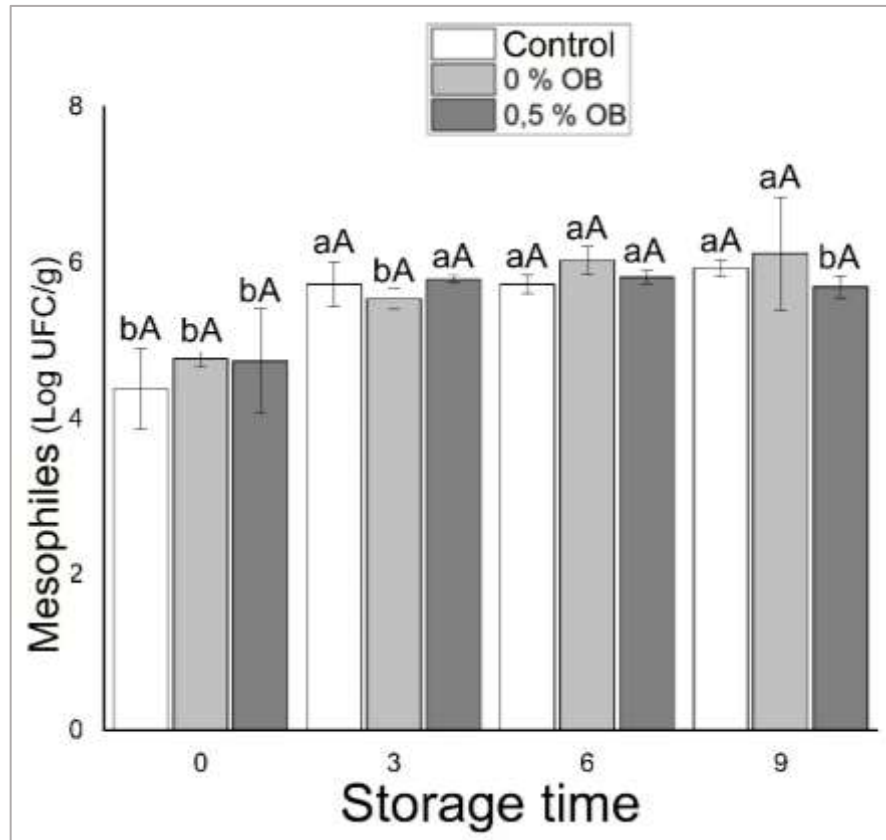
Different uppercase letters in the columns differ significantly (p<0.05) between each sample according to the nine storage times by Tukey's test

N/mm = Newton force measurement unit (N) per millimeter; BO - buriti oil

### 3.3.4 Microbiological analysis

The results of bacterial growth with the classification of mesophiles and psychrophiles can be seen in Figures 7 and 8. It is possible to notice a delay (p<0.05) in the bacterial growth of mesophiles in hamburgers coated with a 0.5% alginate film on day 9 of storage compared to control treatment. Over the days of storage, growth was close between treatments, with 0.5% B above the control on day 6, which may be due to a delay in the antimicrobial action of buriti oil. Silva *et al.* (2016) used chitosan films with buriti oil on discs with concentrations similar to those in this study to assess the antimicrobial efficiency, however, it was not possible to verify an additional antimicrobial barrier to the film related to the presence of buriti oil.

**Figure 9** - Growth of mesophiles in colony forming units (CFU) of hamburger samples wrapped with sodium alginate-based active film incorporated with buriti oil (BO) at different storage periods (4 °C)

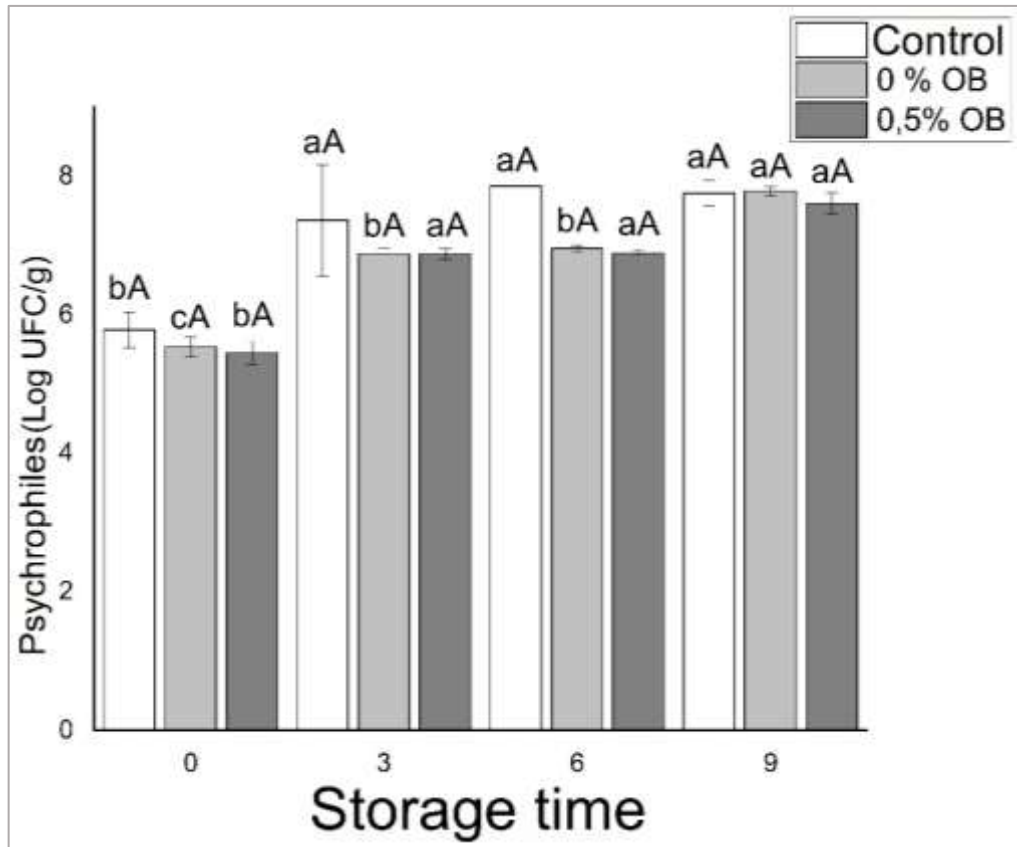


**Image source:** Personal archive

Different lowercase letters in the columns differ significantly ( $p < 0.05$ ) between samples within each treatment alone by Tukey's test. Different uppercase letters in the columns differ significantly ( $p < 0.05$ ) between each treatment according to each storage time separately by Tukey's test

Psychrophiles showed a similar growth between treatments up to day 3 (Figure 7), but with a difference from the coated hamburgers to the control. On day 6, however, there was a marked increase in the control treatment compared to the film treatments, demonstrating a microbial barrier in the films. However, day 9 of storage showed a bacterial count close to the three treatments, but lower in the sample packed with 0.5% film, which can be explained by the slow antimicrobial action of the oil. The control showed a count below contamination on the last day of analysis in relation to the sample with 0% film, where some type of cross contamination may have occurred at the time of analysis. These results show the antimicrobial activity of the compounds present in buriti oil (DORMAN; DEANS, 2000; NAZIF, 2002).

**Figure 10** - Growth of psychrophiles in colony forming units (CFU) in hamburger samples wrapped with sodium alginate active film incorporated into buriti oil (BO) at different storage periods (4 °C)



**Image source:** Personal archive

Different lowercase letters in the columns differ significantly ( $p < 0.05$ ) between samples within each treatment alone by Tukey's test. Different uppercase letters in the columns differ significantly ( $p < 0.05$ ) between each treatment according to each storage time separately by Tukey's test

Bacteria have systems of resistance to compounds that involve biochemical and genetic mechanisms, such as the inactivation of the antimicrobial agent by chemical changes, target modification, changes in the efflux pump and external permeability of the membrane, as well as enzymatic inhibition of the antibacterial target (GUIMARÃES *et al.*, 2010) which may have occurred with buriti oil in this work, for a lower antimicrobial activity. Castro *et al.* (2020) found an increase in the antimicrobial capacity of buriti oil when it was submitted to encapsulation, which may be a viable alternative to increase a future study using this oil. These mesophilic and psychrophilic microorganisms are important in the study of hamburger conservation, because by counting them in the product, it is possible to assess their shelf life (BRASIL, 2001; BRASIL, 2019).

In the literature it is possible to find fatty acid activity against *Candida albicans* strains, such as oleic acid, and it occurs through the disorganization of the cytoplasm and by the rupture

or disintegration of its plasma membranes, these fatty acids can be found in buriti oil, being also a possible origin of the antimicrobial activity observed in this work (PINTO *et al.*, 2017).

#### 4 CONCLUSIONS

The development of sodium alginate films incorporated with buriti oil for hamburger preservation proved to be a promising product for the food industry.

The characterization of the sodium alginate films produced in different concentrations of buriti oil showed that the concentration of 0.5% oil was the most suitable for the evaluation of shelf life in hamburgers.

This study proved that the addition of buriti oil to the sodium alginate film preserved the chemical, color, texture and microbiological quality of the hamburger. In this way, increasing shelf life, replacing conventional packaging, as in addition to the active characteristics in the film, they are produced with biodegradable materials, and are therefore of sustainable development.

#### Conflicts of interest

All the authors declare no conflict of interest with regard to the described research, the publication of the results, and financial issues.

#### Acknowledgements

This work was financially supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, nº 373571/2019-4).

#### REFERENCES

- ALOU, H.; DESHMUKH, A. R.; KHOMLAEM, C.; KIM, B. S. Novel composite films based on sodium alginate and gallnut extract with enhanced antioxidant, antimicrobial, barrier and mechanical properties. **Food Hydrocolloids**, v. 113. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106508>
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - ASTM. Tensile properties of thin plastic sheeting. **Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials**. Filadélfia, p. 82, 1995.
- AQUINO, J. S.; PESSOA, D. C. N. P.; ARAÚJO, K. L. G. V.; EPAMINONDAS, P. S.; SCHULER, A. R. P.; SOUZA, A. G.; STAMFORD, T. L. M. Refining of buriti oil (*Mauritia flexuosa*) originated from the Brazilian cerrado: Physicochemical, thermal-

- oxidative and nutritional implications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 212-219. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012000200004>
- BERIAIN, M. J.; GOÑI, M. V.; INDURAIN, G.; SARRIÉS, M. V.; INSAUSTI, K. Predicting *Longissimus dorsi* myoglobin oxidation in aged beef based on early post-mortem colour measurements on the carcass as a colour stability index. **Meat Science**, v. 81, p. 3, p. 439-445. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.09.009>
- BOURNE, M. Texture profile analysis. **Food Technology**, n.32, p.62-67 & 72. 1978.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 1997.
- BRASIL. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Órgão emissor: ANVISA -Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br) =>. Acesso em: 19 de maio de 2020.
- BRASIL. Anvisa. Resolução nº 216, de 15 de setembro de 2004. **Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação**. Brasília-DF. 2004.
- BRASIL. Anvisa. Resolução nº 331, de 23 de dezembro de 2019. **Padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação**. Brasília-DF. 2019.
- CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINICOSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidante capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.041>
- CASTRO, G. M. M. A.; PASSOS, T. S.; NASCIMENTO, S. S. C.; MEDEIROS, I.; ARAÚJO, N. K.; MACIEL, B. L. L.; PADILHA, C. E.; RAMALHO, A. M. Z.; JÚNIOR, F. C. SO.; ASSIS, C. F. Gelatin nanoparticles enable water dispersibility and potentialize the antimicrobial activity of Buriti (*Mauritia flexuosa*) oil. **BMC Biotechnology**, v. 20, p. 55. 2020. <https://doi.org/10.1186/s12896-020-00649-4>
- CHI, K.; CATCHMARK, J.M. Improved eco-friendly barrier materials based on crystalline nanocellulose/chitosan/carboxymethyl cellulose polyelectrolyte complexes. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 195-205. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.003>



- CLARK, E. M.; MAHONEY, A. W.; CARPENTER, C. E. Heme and total iron in ready- to-eat chicken. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 45, p. 124–126. 1997. <https://doi.org/10.1021/jf960054l>
- DEHGHANI, S.; HOSSEINI, S. V.; REGENSTEIN, J. M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. **Food Chemistry**, v. 240, p. 505–513. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- DORMAN, H. J.; DEANS, S. G. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, v.88, n. 2, p.308–316. 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>
- DUCKETT, S.K.; KLEIN, T. A.; LECKIE, R. K.; THORNGATE, J. H.; BUSBOOM, J. R.; SNOWDER, G. D. Effect of freezing on calpastatin activity and tenderness of callipyge lamb. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, p. 1869-1874. 1998. <https://doi.org/10.2527/1998.7671869x>
- DURÃES, J. A.; DRUMMOND, A. L.; PIMENTEL, T. A. P. F.; MURTA, M. M.; BICALHO, F. S.; MOREIRA, S. G. C.; SALES, M. J. A. Absorption and photoluminescence of Buriti oil/polystyrene and Buriti oil/poly (methyl methacrylate) blends. **European Polymer Journal**, v. 42, n. 12, p. 3324-3332. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.09.012>
- FAUSTMAN, C.; SUN, Q.; MANCINI, R.; SUMAN, S. P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 86–94. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.025>
- GALUS, S.; KADZIŃSKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 273–283. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- GUIMARÃES, D. O.; MOMESSO, L. S.; PUPO, M. T. Antibióticos: Importância terapêutica e perspectivas para a descoberta e desenvolvimento de novos agentes. **Química Nova**, v. 33, p. 667-679. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300035>
- HAY, I.D.; REHMAN, Z.U.; MORADALI, M.F.; WANG, Y.; REHM, B.H.A. Microbial alginate production, modification and its applications. **Microbial Biotechnology**, v. 6, p. 637–650. 2013. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12076>

- IMRE, B.; PUKÁNSZKY, B. Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. **European Polymer Journal**, v. 49, p. 1215–1233. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019>
- JOHNS, A. M., BIRKINSHAW, L. H.; LEDWARD, D. A. Catalysts of lipid oxidation in meat products. **Meat Science**, v. 25, p.209-220. 1989. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(89\)90073-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(89)90073-9)
- JRIDI, M., MORA, L., SOUISSI, N., ARISTOY, M.-C., NASRI, M., TOLDRÁ, F. Effects of active gelatin coated with henna (*L. inermis*) extract on beef meat quality during chilled storage. **Food Control**, v.84, p.238–245. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.041>
- KAEWPRACHU, P.; OSAKO, K.; BENJAKUL, S.; SUTHILUK, P.; RAWDKUEN, S. Shelf-life extension for Bluefin tuna slices (*Thunnus thynnus*) wrapped with myofibrillar protein film incorporated with catechin-Kradon extract. **Food Control**, v. 79, p. 333–343. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.014>
- KIM, Y. J.; YOON, K. J.; KO, S. W. Preparation and properties of alginate superabsorbent filament fibers crosslinked with glutaraldehyde. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 78, p. 1797–1804. 2000. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20001205\)78:10%3C1797::AID-APP110%3E3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20001205)78:10%3C1797::AID-APP110%3E3.0.CO;2-M)
- KOMIYAMA, C. M.; MENDES, A. A.; TAKAHASHI, S. E.; MOREIRA, J.; BORBA, H. B. A.; LEONEL, F. R.; ROÇA, R. O.; ALMEIDA, I. C. L. P.; NETO, A. B. Características qualitativas de produtos elaborados com carne de frango pálida e normal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n.1, p.38-45. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100007>
- KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science**, Barking, v. 74, n. 1, p. 34-43, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>
- LEÃO, K. M. M.; REIS, L. V. C.; SPERANZA, P.; RODRIGUES, A. P.; RIBEIRO, A. P. B.; MACEDO, J. A.; MACEDO, G. A. Physicochemical characterization and antimicrobial activity in novel systems containing buriti oil and structured lipids nanoemulsions.

**Biotechnology Reports**, v. 24, p. e00365. 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00365>

LEMES, A. P. **Desenvolvimento de novos compósitos biodegradáveis baseados em poli(3-hidroxi-butirato-co-Hidroxi-valerato) e lignosulfonatos**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP. Dissertação (Mestrado em química). 2005.

MANCINI, S.; PREZIUSO, G.; BOSCO, A. D.; ROSCINI, V.; SZENDRŐ, Z.; FRATINI, F.; PACI, G. Effect of turmeric powder (*Curcuma longa* L.) and ascorbic acid on physical characteristics and oxidative status of fresh and stored rabbit burgers. **Meat Science**, v. 110, p. 93-100. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.005>

MARTINS, J. T.; CERQUEIRA, M. A.; VICENT, A. A. Influence alfa-tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 220-227. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.06.011>

MELLENDEZ-MARTINEZ, A. J.; STINCO, C. M.; LIU, C.; WANG, X.-D. A simple HPLC method for the comprehensive analysis of cis/trans (Z/E) geometrical isomers of carotenoids for nutritional studies. **Food Chemistry**, v. 138, p.1341-1350. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.067>

MERCK INDEX. **An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals**, 11th ed., Merck and Company: Rahway, NJ, 1989.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B. Brine Shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Journal of Medicinal Plant Research**, v. 45, p. 31-34, 1982. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971236>

MINOLTA. Precise color communications. **Color Control from Feeling to Instrumentation**. Osaka, Japan: 1994.

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, p. 116178. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>

NAZIF, N. M. Phytoconstituents of *Ziziphus spina-christi* L. fruits and their antimicrobial activity. **Food Chemistry**, v. 76, p. 77–81. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00243-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00243-6)

- NOBRE, C. B.; SOUSA, E. O.; SILVA, J. M. F. L.; COUTINHO, H. D. M.; COSTA, J. G. M. Chemical composition and antibacterial activity of fixed oils of *Mauritia flexuosa* and *Orbignya speciosa* associated with aminoglycosides. **European Journal of Integrative Medicine**, v. 23, p. 84-89. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2018.09.009>
- NONATO, C. F. A.; LEITE, D. O. D.; DE CARVALHO, N. K. G.; DE LIMA, S. G.; RODRIGUES, F. F. G.; DA COSTA, J. G. M. Chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of the pulp oil of fruits of *Mauritia flexuosa* L. f. **Latin American and Caribbean Bulletin of Medicinal and Aromatic Plants**, v. 19, n. 4, p. 408–419. 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.5991/supp-2>
- OFFER, G. Modeling of the formation of pale, soft and exudative meat – Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. **Meat Science**, v. 30, n. 2, p. 157-184, 1991. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(91\)90005-b](https://doi.org/10.1016/0309-1740(91)90005-b)
- OLIVEIRA, L. M.; ALVES, R. M. V.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; PADULA, M.; GARCIA, E. E. C.; COLTRO, L. **Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, p. 219. 1996.
- OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; AZEREDO, H. M. C.; LOREVICE, M. V.; DE MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; MCHUGH, T. H. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 1151–1169. 2017. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- OUSSALAH, M., CAILLET, S., SALMIÉRI, S., SAUCIER, L., LACROIX, M. Antimicrobial effects of alginate-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle. **Journal of Food Protection**, v. 69, n. 10, p. 2364–2369. 2006. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.10.2364>
- PARRA, A.; YHEBRA, R. S.; SARDIÑAS, I. G.; BUELA, L. I. Comparative study of the assay of *Artemia salina* L. and the estimate of the medium lethal dose (LD50 value) in mice, to determine oral acute toxicity of plant extracts. **Phytomedicine**, v. 8, p. 395-400, 2001. <https://doi.org/10.1078/0944-7113-00044>
- PEELMAN, N.; RAGAERT, P.; MEULENAER, B.; PEETERS, D.; CARDON, L.; IMPE, F. V.; DEVLIEGHERE, F. Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food**

**Science & Technology**, v. 3 2, p. 128-141. 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>

PEREIRA, R.; TOJEIRA, A.; VAZ, D. C.; MENDES, A.; BÁRTOLO, P. Preparation and characterization of films based on alginate and aloe vera. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, v. 16, n. 7, p. 449-464. 2011.  
<https://doi.org/10.1080/1023666X.2011.599923>

PINTO, M. E. A.; ARAÚJO, S. G.; MORAIS, M. I.; SÁ, N. P.; LIMA, C. M.; ROSA, C. A.; SIQUEIRA, E. P.; JOHANN, S.; LIMA, L. A. R. S. Antifungal and antioxidant activity of fatty acid methyl esters from vegetable oils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 1671-1681. 2017. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160908>

RADÜNZA, M.; DA TRINDADE, M. L. M.; CAMARGO, T. M.; RADÜNZ, A. L.; BORGES, C. D.; GANDRA, E. A.; HELBIG, E. Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum*, L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 276, p. 180–186. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.173>

REZAEI, M.; HOSSEINI, S. F. Quality assessment of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chilled storage. **Journal of Food Science**, v. 73, p.93-96. 2008.  
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00792.x>

RHIM, J. W.; PARK, H. M.; HA, C. S. "Bio-nanocomposites for food packaging applications". **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 10, p. 1629. 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>

RHIM, J. W. Physical and chemical properties of water-resistant sodium alginate films. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 37, p. 323–330. 2004.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.008>

RHIM, J. W.; KIM, J. H.; KIM, D. H. Modification of Na-alginate films by CaCl<sub>2</sub> treatment. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 35, p. 2217–2221. 2003.

SANTOS, J. M.; BORGES, A. S.; CONSTANT, P. B. L. Estabilidade oxidativa em hambúrguer de frango adicionado de antioxidantes extraídos da polpa e semente da romã (*Punica granatum* L.). **Scientia Plena**, v. 16, n. 10, p. 101502. 2020.  
<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.101502>

- SANTOS, M. F. G.; ALVES, R. E.; ROCA, M. Carotenoid composition in oils obtained from palm fruits from the Brazilian Amazon. **Grasas y Aceites**, v. 66, n. 3, e086. 2015. <https://doi.org/10.3989/gya.1062142>
- SIERRA, I. **Producción de cordero joven y pesado en la Raza Aragonesa**. Zaragoza: I.E.P.G.E, n. 18, 1973.
- SILVA, M. de F.; LOPES, P. S.; da SILVA, C. F.; YOSHIDA, C. M. P. Active packaging material based on buriti oil - *Mauritia flexuosa* L.f. (*Arecaceae*) incorporated into chitosan films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, p. 43210. 2016. <http://dx.doi.org/10.1002/app.43210>
- SOUZA, C.O.; VEIGA-SANTOS, P.; DRUZIAN, J.I. Natural ingredients as additive for active antioxidant food packaging. **Food Quality, Safety and Technology**. Springer, New York, p. 179-304. 2013. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-1640-1\\_12](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-1640-1_12)
- VAN WEZEMAEL, L.; DE SMET, S.; UELAND, Ø.; VERBEKE, W. Relationships between sensory evaluations of beef tenderness, shear force measurements and consumer characteristics. **Meat Science**, Barking, v. 97, n. 3, p. 310-315, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.029>
- VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, Brasília, Brasil. 2006.
- WHEELER, W. C. Sequence alignment, parameter sensitivity, and the phylogenetic analysis of molecular data. **Systematic Biology**, n. 44, p. 321–331. 1995. <https://doi.org/10.1093/sysbio/44.3.321>
- WYSZECKI, G.; STILES, W. S. Concepts and methods, quantitative data and formulae (Second). **Color Science**, p. 40. John Wiley and Sons, Inc. 2000.
- YERRAMATHI, B. B.; KOLA, M.; MUNIRAJ, B. A.; ALURU, R.; HIRUMANYAM, M.; ZYRYANOV, G. V. Structural studies and bioactivity of sodium alginate edible films fabricated through ferulic acid crosslinking mechanism. **Journal of Food Engineering**, v. 301, p. 110566. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110566>
- XING, J.; NGADI, M.; GUNENC, A.; PRASHER, S.; GARIEPY, C. Use of visible spectroscopy for quality classification of intact pork meat. **Journal of Food**

**Engineering**, v. 82, n. 2, 135–141. 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.020>

ZACTITI, E. M., KIECKBUSCH, T. G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree.

**Journal of Food Engineering**, v.77, n.3, p.462-467. 2006.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.015>

ZHANG, L.; YU, D.; REGENSTEIN, J. M.; XIA, W.; DONG, J. A comprehensive review on natural bioactive films with controlled release characteristics and their applications in foods and pharmaceuticals. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 690–

707. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.053>

ZAPATA, J.F.F.; SEABRA, L.M.J.; NOGUEIRA, C.M.; BARROS, N. Estudo da qualidade da carne ovina no Nordeste brasileiro: propriedades físicas e sensoriais. **Ciência e**

**Tecnologia dos Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 274-277, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612000000200025>