



**RAFHAELA ALVES BALDEZ**

**REVESTIMENTOS DE AMIDO, NANOFI-  
BRAS DE CELULOSE E METABISSULFITO DE  
SÓDIO EM GOIABAS (*Psidium guajava* L.) MI-  
NIMAMENTE PROCESSADAS**

**LAVRAS - MG**

**2016**

**RAFHAELA ALVES BALDEZ**

**REVESTIMENTOS DE AMIDO, NANOFIBRAS DE CELULOSE E METABISSULFITO DE SÓDIO EM GOIABAS (*Psidium guajava* L.) MINIMAMENTE PROCESSADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Produtos e Nanoprodutos Alimentícios, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Juliano Elvis de Oliveira

Orientador

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vanessa Rios de Souza

Coorientador

**LAVRAS-MG**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Baldez, Rafaela Alves.

Revestimentos de amido, nanofibras de celulose e metabissulfito de  
sódio em goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas /  
Rafaela Alves Baldez. – Lavras : UFLA, 2016.

79 p. il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras,  
2016.

Orientador: Juliano Elvis Oliveira.

Bibliografia.

1. Goiaba. 2. Revestimento. 3. Amido. 4. Filmes antimicrobianos.  
5. Nanofibras de celulose. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**RAFHAELA ALVES BALDEZ**

**REVESTIMENTOS DE AMIDO, NANOFIBRAS DE CELULOSE E METABISSULFITO DE SÓDIO EM GOIABAS (*Psidium guajava* L.) MINIMAMENTE PROCESSADAS**

***COATINGS OF STARCH, NANOFIBERS CELLULOSE AND SODIUM METABISULPHITE IN MINIMALLY PROCESSED GUAVAS (*Psidium guajava* L.)***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Produtos e Nanoprodutos Alimentícios, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de setembro de 2016

Profa. Dra. Vanessa Rios de Souza  
Dr. Ângelo Alberico Alvarenga

UFLA  
EPAMIG

Prof. Dr. Juliano Elvis de Oliveira  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2016**

*Aos meus pais, Rosalina Alves e Daniel Baldez,*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida e ao programa de pós-graduação em Engenharia de Biomateriais, na figura dos coordenadores Lourival e Rafael.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Dr. Juliano Oliveira pela orientação e compreensão para que este trabalho pudesse ser realizado e à Dra. Vanessa Rios pela orientação concedida.

À Aline e Pedro pelo auxílio nas análises. Aos professores João, Joelma, Luiz Carlos, Mário, Marali, Luís Roberto, Diego e Roberta que contribuíram com conhecimento científico e disponibilização de laboratórios, reagentes. Às técnicas de laboratório Tina e Eliane pela ajuda nas análises.

Às pessoas que tive a oportunidade de encontrar pelo caminho durante pouco mais de dois anos de mestrado, quer seja da pós-graduação, dos laboratórios que utilizei, dos lugares onde morei, pela convivência e contribuição direta ou indireta nesta dissertação.

Em especial, aos amigos (grandes amigos!) que me auxiliaram a seguir em frente com palavras de apoio, trocas de conhecimentos, auxílio financeiro e convívio, quer seja presencialmente ou distantes geograficamente, Cleber Lameira, Paula Moia, Thiago Castelo, Débora Corrêa, Ana Luiza, Lays Reis e Tamaris Maués.

A TODOS aqueles que me incentivaram a cursar o mestrado.

A Deus, aos anjos e todos os santos em quem tive fé para chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo apoio INCONDICIONAL.

Às famílias Alves e Baldez.

À cidade de Lavras, pela acolhida!

Gratidão.

## RESUMO

A aplicação de revestimentos à base de amido em frutas vem sendo utilizado para promover aumento de vida útil. Nanofibras de celulose possuem características mecânicas desejáveis como reforço em filmes de amido. O metabissulfito de sódio, um dos derivados de sulfitos, é um dos conservadores mais utilizados em alimentos em face ao seu amplo espectro de ação e por serem considerados seguros. O objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos de filmes biopoliméricos elaborados com amido de milho, reforçados com nanofibras de celulose e metabissulfito de sódio sob os produtos minimamente processados de goiabas da variedade Pedro Sato. Foram avaliados 5 tratamentos sobre as goiabas minimamente processadas, utilizou-se controle (sem revestimento), revestimento de amido, revestimento de amido+ metabissulfito de sódio, revestimento de amido+ nanofibras de celulose e revestimento de amido+ metabissulfito de sódio+ nanofibras de celulose. Os frutos foram minimamente processados em rodela, armazenados a 4°C, durante 15 dias em B.O.D. Os filmes biopoliméricos foram caracterizados com análise de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), difração de raios-x (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com fonte de emissão de campo (FEG), para aquelas formulações que continham nanofibras de celulose, ensaios de tração e punctura. As análises nas goiabas minimamente processadas foram realizadas a cada 3 dias quanto às suas características físicas e químicas (firmeza do mesocarpo, cor da região placentária (polpa) e teores de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e ácido ascórbico (vitamina C)), e microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes). A caracterização de perda de massa ocorreu a cada 24 horas.

**Palavras-chave:** Goiaba. Revestimento. Amido. Filmes antimicrobianos. Nanofibras de celulose.

## ABSTRACT

The application of starch-based coatings on fruit has been used to promote increased life. Cellulose nanofibers have mechanical characteristics desirable as reinforcement in starch films. Sodium metabisulfite, one of the derivatives of sulphites, is one of the most conservative used in food in relation to its broad spectrum of action and to be considered safe. The aim of this study was to determine the effects of biopolymers produced films with corn starch, reinforced with cellulose nanofibers and sodium metabisulfite under products minimally processed guavas 'Pedro Sato'. We evaluated 5 treatments on minimally processed guava, used to control (without coating), starch coated, starch coating + sodium metabisulfite, starch coating + cellulose nanofibers and starch coating + sodium metabisulphite + cellulose nanofibers. The fruits were fresh-cut into slices, stored at 4 ° C for 15 days. The biopolymers films were characterized with spectroscopic analysis in the infrared Fourier transform (FTIR), diffraction X-ray (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and field emission source (EGF), test traction and puncture. Analyses in minimally processed guavas were performed every three days as to their physical and chemical characteristics (firmness of flesh, color placental region (pulp) and soluble solids, titratable acidity, pH and ascorbic acid (vitamin C)), mass loss and microbiological (total and fecal coliforms).

**Keywords:** Guava. Coating. Starch. Antimicrobial films. Cellulose nanofibers

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	13
2.1	Objetivo geral .....	13
2.2	Objetivos específicos .....	13
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
3.1	Goiaba ( <i>Psidium guajava</i> L.).....	15
3.2	Revestimentos de alimentos .....	17
3.3	Biopolímeros .....	20
3.4	Nanotecnologia e embalagens de alimentos.....	21
3.5	Amido .....	23
3.6	Nanofibras de Celulose .....	26
3.7	Metabissulfito de sódio .....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	31
4.1	Planejamento experimental .....	32
4.2	Material.....	32
4.3	Caracterização das matérias-primas principais .....	33
4.3.1	Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR).....	33
4.4	Preparo dos Filmes .....	33
4.4.1	Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR).....	33
4.4.2	Difração de raios- X (DRX) .....	34
4.4.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com fonte de emissão de campo (MEV – FEG).....	34
4.4.4	Ensaio de tração .....	34
4.4.5	Teste de punctura .....	35
4.4.6	Análise de cor .....	35
4.5	Revestimento das goiabas ( <i>Psidium guajava</i> L.) minimamente processadas.....	36
4.6	Caracterizações de goiabas ( <i>Psidium guajava</i> L.) minimamente processadas.....	37
4.6.1	Perda de massa .....	38
4.6.2	Análise de cor .....	38
4.6.3	Acidez titulável.....	38
4.6.4	Sólidos solúveis totais.....	39
4.6.5	Textura.....	39
4.6.6	pH.....	39
4.6.7	Vitamina C.....	40
4.6.8	Análises microbiológicas.....	40

4.6.8.1	Coliformes totais .....	40
4.6.8.2	Coliformes termotolerantes .....	41
4.7	Análises estatísticas .....	41
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
5.1	Caracterizações das matérias-primas .....	43
5.1.1	Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR).....	43
5.2	Caracterizações dos filmes.....	44
5.2.1	Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR).....	44
5.2.2	Difração de raios-x nos filmes de amido.....	46
5.2.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com fonte de emissão de campo (MEV – FEG).....	48
5.2.4	Ensaio mecânico de tração .....	50
5.2.5	Cor dos filmes .....	53
5.3	Caracterizações das goiabas minimamente processadas .....	54
5.3.1	Perda de massa de goiabas minimamente processadas .....	54
5.3.2	Avaliação visual das goiabas minimamente processadas.....	56
5.3.3	Análise de cor das goiabas minimamente processadas .....	57
5.3.4	Acidez titulável.....	58
5.3.5	Sólidos solúveis.....	60
5.3.6	Textura.....	60
5.3.7	pH.....	61
5.3.8	Vitamina C.....	62
5.3.9	Análises microbiológicas.....	63
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	67

## 1 INTRODUÇÃO

Alimentos minimamente processados são desejados como um lanche conveniente para serviços de catering (fornecimento de refeições) para salada, bares, escolas e refeitórios de empresas que visam à praticidade (SAFTNER et al., 2005). Em muitos países com base agrícola, a principal problemática é manter os alimentos seguros e frescos durante o processo de estocagem, transporte até chegar ao consumidor final. Problema este visualizado nos produtos minimamente processados que devido a uma maior área de contato tornaram-se mais perecíveis quanto à perda de água, contaminação microbiana e aumento da taxa de respiração (ROLLE; CHISM, 1987). O dano causado pelo corte ou descascamento é um dos maiores obstáculos na conservação dos produtos minimamente processados. Os tecidos fatiados, cuja superfície de exposição é maior, apresentam maiores taxas de respiração e, conseqüentemente, maiores alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas que o tecido inteiro (PORTE; MAIA, 2001). De acordo com Brecht (1995), quanto maior a gravidade da injúria nos tecidos, maior é a velocidade de deterioração do produto minimamente processado.

Filmes e revestimentos comestíveis são uma alternativa, dentro das embalagens ativas, para aumentar a vida útil dos alimentos, mantendo as mesmas funcionalidades das embalagens sintéticas (FAKHOURI; BATISTA; GROSSO, 2003), além do fato de que eles são comestíveis. Estes são aplicados em muitos produtos com o intuito de controlar a transferência de umidade, a troca gasosa ou processos de oxidação. Uma grande vantagem é que vários ingredientes bioativos podem ser incorporados na matriz polimérica, aumentando assim a segurança ou mesmo atributos nutricionais e sensoriais (ROJAS-GRAU; SOLIVA-FORTUNY; MARTI, 2009).

Goiaba (*Psidium guajava* L.) é um fruto amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais do mundo (PAL et al., 2004). Com períodos de prazo de validade de 2 a 3 dias sob temperatura ambiente (CARVALHO, 1994; DURIGAN, 1997; PANTASTICO; CHATTOPADHYAY; SUBRAMANYAM, 1975) até que haja a deterioração do mesmo, o que corrobora na necessidade de materiais que visam à ampliação da vida útil do alimento, através da redução de podridões e aumento da qualidade dos frutos pós-colheita (HONG et al., 2012). Embora o Brasil seja um dos maiores produtores mundiais de goiaba, a sua participação no mercado internacional da fruta in natura é inexpressiva. Alguns fatores são responsáveis por esse fato, entre os quais destaca-se o pouco conhecimento do produto por parte dos consumidores dos mercados mais rentáveis economicamente e o alto grau de perecibilidade do fruto na fase de pós-colheita. Este último fator exige que o produto seja bem acondicionado e escoado para o mercado internacional por via aérea, o que onera demasiadamente os custos de comercialização. Por esta razão, o mercado internacional tem preferência pelo consumo da goiaba na forma de polpa ou suco concentrado. Segundo dados da Associação das Indústrias Processadoras de Frutos Tropicais – ASTN, em 2000, as exportações brasileiras com esses derivados de goiaba situaram-se em 1,2 mil e 1,3 mil toneladas, respectivamente.

Diante do exposto, o seguinte estudo visa à aplicação de revestimento a base de amido de milho, nanofibras de celulose e metabissulfito de sódio na conservação de goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas, a fim de avaliar influência destas sobre a manutenção da qualidade e no tempo de vida útil do fruto.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliação das propriedades de revestimento à base de amido de milho incorporado de nanofibras de celulose e metabissulfito de sódio em goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar os filmes de amido obtidos quanto às propriedades mecânicas, estruturais, morfológicas;
- b) Avaliar o efeito do revestimento sobre as propriedades das goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas;
- c) Selecionar o melhor revestimento.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Goiaba (*Psidium guajava* L.)

A Goiaba (*Psidium guajava* L.) é altamente nutritiva e contém grandes quantidades de vitaminas A, B1 (tiamina), B2 (Riboflavina) e C (ácido ascórbico). A vitamina C ocorre naturalmente nos alimentos em duas formas: a forma reduzida (ácido ascórbico) e a forma oxidada (ácido dehidroascórbico) (LEONS; ZANINOVIC, 1993). Chitarra e Chitarra (2005) afirmam ser a vitamina C o componente nutricional mais importante de frutos e hortaliças embora, na maioria dos frutos, seu teor não exceda a 0,3%. Sendo a goiaba um dos frutos que se destaca pelo conteúdo de vitamina C. O teor de vitamina C é de 2 a 5 vezes mais que a de cítricos (SINGH, 2005).

A fruta amadurecida é também rica em pectina, que fornece teor de fibra solúvel e insolúvel elevado na dieta. Apesar de seu alto valor nutritivo, o comércio mundial é limitado devido à sua natureza delicada e vida pós-colheita curta. É uma fruta climatérica, exibindo uma explosão na respiração e produção de etileno durante o amadurecimento (BASHIR; ABU-GOUKH, 2003; BROWN; WILLS, 1983). A goiaba deve ser colhida quando apresenta as seguintes características, cor da casca: passa do verde oliva para o verde claro, textura entre 10 e 12 Kg/cm<sup>2</sup> (de acordo com a cultivar), densidade: 0,980 e 1,00 g/cm<sup>3</sup>, sólidos solúveis entre 9 e 10%, acidez entre 0,30 a 0,40% (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Sob condições ambientais amadurece dentro de uma semana, enquanto que, em câmara fria a vida útil pode ser prolongada até duas semanas a 6-8 °C e 90-95% de umidade relativa (MAHAJAN et al., 2009). Os eventos que ocorrem durante o amadurecimento e senescência refletem na deterioração das estruturas celulares, e em particular na parede celular e membrana celular, o que resulta em

uma perda de compartimentalização de íons e metabolitos, conduzindo à perda de estrutura do tecido e, finalmente, à homeostase (PALIYATH et al. 2008). A degradação dos componentes da parede celular leva ao amolecimento da fruta, e envolve uma ação aumentada de enzimas tais como a celulase e pectinase (NEGI; HANDA, 2008).

Vários métodos para conservação pós-colheita têm sido tentados em goiabas frescas, incluindo o uso de radiação ionizante para impedir a proliferação de microrganismos (SILVA et al., 2011); tratamento por imersão em solução de cloreto de cálcio concentrado ( $\text{CaCl}_2$ ) (WERNER et al., 2009) ou cloreto de cálcio e giberelina ( $\text{C}_{19}\text{H}_{22}\text{O}_6$ ) (LIMA et al., 2003); embalagem polimérica com atmosfera controlada (SINGH; PAL, 2008). Além disso, os revestimentos, comestíveis, tais como cera de carnaúba (JACOMINO et al., 2003); emulsões de celulose (MCGUIRRE; HALLMAN, 1995); soluções de amido e quitosana (SOARES et al., 2011), de proteínas lácteas (CERQUEIRA et al., 2011) foram testados.

A procura de produtos prontos para o consumo, com qualidade de frescos e contendo apenas ingredientes naturais, tem crescido constantemente devido aos novos estilos de vida dos consumidores. Na Europa e nos Estados Unidos da América verifica-se um crescimento significativo da demanda desses produtos desde a década de 1990 (AHVENAINEM, 1996). O Brasil apresenta um crescimento de 10 a 15% ao ano dos produtos prontos para o uso, porém seu custo ainda é limitante para o aumento efetivo do consumo (SAABOR, 2000). Devido a essa tendência, as frutas frescas têm aumentado sua popularidade em comparação às frutas processadas, porém a dificuldade de conservação e procura por praticidade levaram ao aparecimento das frutas minimamente processadas. O processamento mínimo de frutas tem como objetivo fornecer um produto com características semelhantes às do produto fresco, sem perder suas qualidades nutricionais e com vida-de-prateleira suficiente para sua distribuição, comercia-

lização e consumo, através da utilização de apenas processamentos brandos para assegurar sua qualidade (PEREIRA et al., 2003).

Os produtos minimamente processados são mais perecíveis do que os in natura (BRACKETT, 1987), e a injúria nos tecidos, em função da manipulação e cortes, pode diminuir a qualidade e o tempo de vida útil do produto, por acelerar mudanças degradativas durante a senescência (WILEY, 1994). Além disso, o manuseio favorece a contaminação por microrganismos e a liberação de exudado celular disponibiliza nutrientes para a atividade microbiana. Portanto, a segurança microbiológica de produtos minimamente processados precisa ser garantida em adição à manutenção da qualidade sensorial e nutricional.

### **3.2 Revestimentos de alimentos**

Os revestimentos ou coberturas não substituem as embalagens sintéticas não comestíveis, mas podem atuar como coadjuvante, reduzindo o uso das embalagens descartáveis. Os materiais utilizados nas formulações podem ser comestíveis ou não, e são usados como filmes, os quais são pré-formados e aplicados sobre o produto ou são usados como revestimentos, formando uma camada fina superficial sobre ele. Além de regularem as trocas gasosas do produto com o meio exterior e a perda de vapor d'água que resulta em perda de massa, controlam a perda de voláteis responsáveis pelo “flavor” (sabor e aroma) do produto alimentício (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Revestimentos comestíveis são baseados em materiais biodegradáveis e comestíveis a partir de fontes naturais e, portanto, eles satisfazem preocupações ambientais e respondem às demandas dos consumidores (ARNON et al., 2015). É importante fazer a distinção destes dois termos: o filme é uma película formada pela secagem (*casting*) da solução do biopolímero preparada separadamente do alimento, que é posteriormente aplicado; enquanto que o revestimento pode

ser uma suspensão ou uma emulsão aplicada diretamente na superfície do alimento que após secagem leva à formação de um filme (PINHEIRO et al., 2010).

Os revestimentos comestíveis estão ganhando cada vez mais importância, uma vez que dão resposta a vários desafios relacionados com o armazenamento e marketing dos produtos alimentares e surgem como uma alternativa para reduzir os efeitos prejudiciais impostos pelo processamento dos alimentos (PINHEIRO et al., 2010). Minimizar os efeitos da atividade enzimática, em decorrência da exposição ao ar, o que ocasiona o escurecimento do produto. Além desta alteração, outras são passíveis de ocorrência como perda de umidade, textura e crescimento microbiano (FONTES et al., 2008).

Filmes comestíveis são utilizados para melhorar a qualidade dos produtos alimentares frescos e processados, e estender sua vida útil. Filmes têm uma função protetora, prevenindo a perda de água, bem como alterações na cor ou sabor em um produto alimentar, reduzindo o acesso ao oxigênio atmosférico. Além disso, eles podem inibir o desenvolvimento de microrganismos selecionados (ALDANA et al., 2015).

Revestimentos comestíveis ajudam a atender muitos desafios relacionados com o armazenamento e comercialização de produtos alimentares. A funcionalidade e desempenho dos revestimentos comestíveis dependem das suas propriedades de barreira e mecânicas, que por sua vez dependem da composição da película, o seu processo de formação e o método de aplicação sobre o alimento (ANDRADE et al., 2014).

Os revestimentos comestíveis são feitos a partir de materiais de origem biológica tais como proteínas (gelatina, caseína, zeína), polissacarídeos (amido, celulose, alginato), e lípideos (cera de abelha, ácidos graxos). A partir da década de 1990, aumentou o interesse no desenvolvimento de materiais termoplásticos compostos essencialmente por amido (ALVES et al., 2007; GODBILLOT et al., 2006) envolvendo a adição de plastificantes para melhorar as propriedades me-

cânicas. Os plastificantes são essenciais para a formação de muitos filmes e revestimentos à base de polissacarídeos. Esses componentes enfraquecem as interações intermoleculares entre cadeias de polímeros adjacentes, aumentando assim a flexibilidade do filme. Uma característica importante e desejável de filmes comestíveis e revestimentos é que eles reduzem a permuta de água entre o produto e o seu ambiente envolvente (GUTIÉRREZ et al., 2015).

Nos últimos 30 anos, vários estudos sobre filmes comestíveis derivados a partir de polímeros biodegradáveis naturais tais como celulose, quitosana e amido foram realizados. Em particular, o amido tem sido o foco de uma série de investigações, devido a sua natureza biodegradável, renovável, de baixo custo e comestível, bem como a sua grande disponibilidade (GUTIÉRREZ et al., 2015).

Ao escolher uma composição de revestimento adequado para um determinado tipo de produto alimentar, há uma série de critérios que devem ser considerados. A eficácia dos revestimentos comestíveis para conservação de alimentos depende, numa primeira fase, do controle da polaridade do revestimento de modo a garantir uma superfície uniformemente revestida (CASARIEGO et al., 2008). A escolha do material a ser utilizado na formulação dos filmes e revestimentos é muito importante, pois deste dependerão as interações entre os componentes do material, que poderão interferir nas propriedades de barreira, mecânicas e sensoriais dos filmes (BALDWIN; CARRIEDO, 1994).

Inúmeros estudos têm sido publicados sobre caracterização das propriedades funcionais de filmes de amido (MALI et al., 2005; MÜLLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008; TAJLA et al., 2007), principalmente porque o amido é uma matéria-prima abundante e disponível em todo o mundo, apresenta muitas possibilidades de modificação química, física ou genética e origina filmes e revestimentos resistentes.

### 3.3 Biopolímeros

Os polissacarídeos são polímeros naturais que dependendo da sua fonte podem ser neutros ou carregados. Estão envolvidos no metabolismo energético de plantas (amido) e animais (glicogênio), agindo também na função estrutural de células vegetais (celulose, pectina) ou no esqueleto de insetos e outros animais (quitina) (NELSON; COX, 2008).

Existe atualmente um interesse mundial pelo uso de biopolímeros para aplicações nas quais polímeros sintéticos têm sido tradicionalmente os materiais de escolha. Materiais de interesse incluem diferentes polímeros sintéticos ou biossintéticos, bem como polímeros baseados em plantas, tais como polissacarídeos, amido e celulose, que representam a maioria das características da família desse polímero natural. No campo de polímeros, o interesse em amido, um hidrocolóide de biopolímero bem conhecido, foi recentemente renovado devido a sua abundância, de baixo custo, biodegradabilidade, e a possibilidade de processamento usando equipamento convencional de processamento de polímeros (ARGÜELLO-GARCÍA et al., 2014).

Biopolímeros como polissacarídeos e polipeptídios são considerados os candidatos mais promissores em muitas aplicações, particularmente nos domínios biomédicos e embalagem de alimentos devido à sua biodegradabilidade, abundância, sustentabilidade e natureza renovável (MONDRAGON et al., 2014).

Numerosos biopolímeros têm sido explorados para desenvolver materiais de embalagem de alimentos comestíveis. Cada biopolímero tem as suas propriedades específicas, do próprio material. Questões importantes ao selecionar um transportador de polímero de substâncias ativas dependem principalmente de características físico-químicas (afinidade de água, propriedades visuais, propriedades reológicas), característica de liberação, a estabilidade, a compatibilidade

com os aditivos, as possíveis interações com componentes de alimentos, custos, etc. (KOWALCZYK, 2016).

A extensão da vida útil é uma das metas das pesquisas em processamento mínimo e vários tratamentos têm sido testados, dentre os quais a utilização de atmosfera modificada, tratamento hidrotérmico, aplicação de compostos de cálcio, ceras na superfície do fruto e filmes plásticos, associados ao armazenamento refrigerado (BICALHO, 1998). Mais recentemente, tem sido também avaliado o uso de revestimentos comestíveis sobre os vegetais, que tem como objetivo uma atuação funcional, de preservar a textura e o valor nutricional, reduzir a taxa respiratória e a produção de etileno, e ainda limitar a perda ou o ganho excessivo de água (BALDWIN, 2007). Além disso, por serem elaborados a partir de polímeros naturais, representam uma nova categoria de materiais com alto potencial para preservar o estado fresco de produtos minimamente processados (MP) altamente perecíveis (ASSIS; FORATO; BRITTO, 2008).

### **3.4 Nanotecnologia e embalagens de alimentos**

As nanopartículas possuem dimensões extremamente pequenas, da ordem de dezenas de nanômetros, apresentam uma grande área superficial e exibem propriedades mecânicas, óticas, magnéticas e químicas distintas de partículas e superfícies macroscópicas. O aproveitamento dessas propriedades em aplicações tecnológicas forma a base da nanotecnologia (SIMONET; VALCÁRCEL, 2009). A possibilidade no desenvolvimento de partículas nanométricas permitiu aos mais diversos ramos da ciência expandir suas fronteiras e com isso proporcionar novas aplicações de seus produtos. Áreas da ciência como química, física e biologia e da tecnologia processam, produzem e aplicam materiais em nanoescala de maneira que estes possam se adequar às novas necessidades da sociedade (THAKOR et al., 2011). As nanopartículas apresentam propriedades

físico-química e biológica, diferentes e únicas, quando comparadas com as partículas em escalas micro e macro (EL-NOUR et al., 2010). Este efeito está relacionado, segundo Wijnhoven et al. (2009), à relação área/volume ser elevada resultando em alta reatividade.

Nanocompósitos são materiais híbridos em que pelo menos um dos componentes tem dimensões nanométricas e tem o objetivo de combinar propriedades que não são exibidas por qualquer material isolado e também, incorporar as melhores características de cada um dos materiais componentes (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

A definição clássica de embalagem é proteger os produtos que elas contêm conservando-os contra contaminações químicas e biológicas, facilitando o manuseio, armazenagem e o transporte (VERMEIREN et al., 1999), e a partir principalmente da metade do século XX, possui ainda a função de promover o produto e estimular sua venda. Ao longo do tempo, à medida que novas necessidades foram surgindo, novas tecnologias e novos produtos passaram a ser utilizados no desenvolvimento de embalagens. Atualmente, a crescente preocupação com a segurança alimentar, a relação custo-eficiência, a conveniência para o consumidor e problemas ambientais têm impulsionado o desenvolvimento de novas embalagens, bem como, de novas matérias-primas para a sua elaboração (AHVENAINEN, 2003; COLES; MCDOWELL; KIRWAN, 2003).

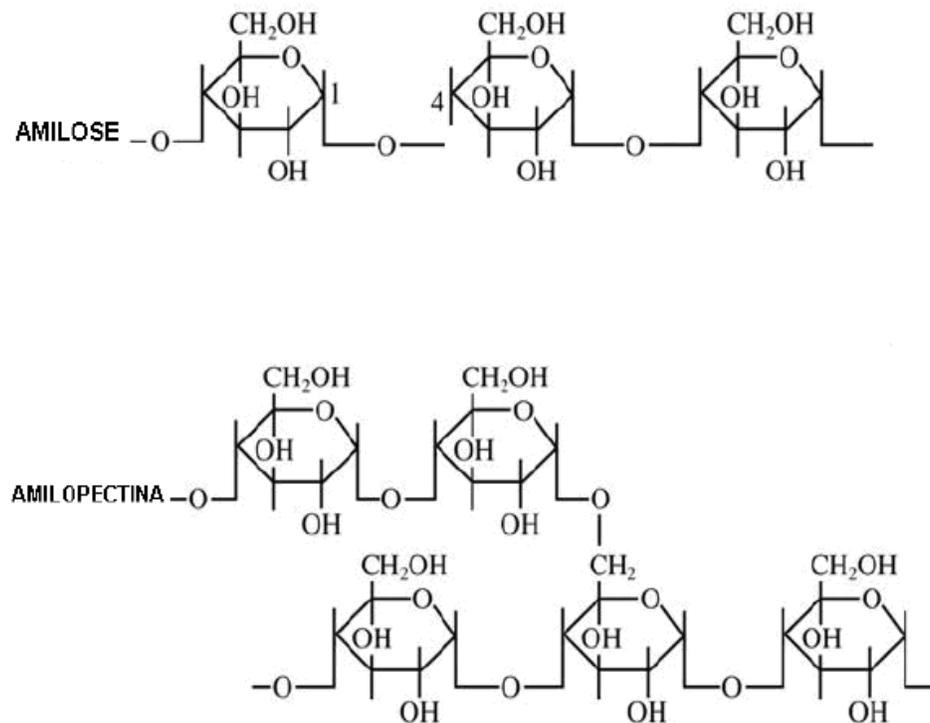
Atualmente, a embalagem e o monitoramento de alimentos constituem o foco principal de pesquisa e desenvolvimento nanotecnológico da indústria de alimentos. As embalagens que incorporam nanomateriais podem ser “ativas”, o que significa que podem responder a condições ambientais ou se autoconservarem, ou “inteligente”, significando que podem alertar o consumidor sobre contaminação, condições inadequadas de estocagem e/ou presença de patógenos (MOURA et. al., 2009)

### 3.5 Amido

De todos os polissacarídeos, o amido é o único produzido em pequenos agregados individuais, denominados grânulos. São sintetizados nas células de cada planta, adquirem tamanhos e forma prescritos pelo sistema biossintético das plantas e pelas condições físicas impostas pelo contorno do tecido (FENIMAN, 2004).

O amido é composto de dois diferentes polímeros de unidades de glicose, a amilose, que é essencialmente linear, e a amilopectina, um polímero muito ramificado. Em ambos, as moléculas de glicose estão unidas através de ligações do tipo  $\alpha$  (1-4). Na amilopectina, a cadeia é ramificada através de ligações  $\alpha$  (1-6), como pode ser visto na Figura 1 (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004). Amidos existem predominantemente em duas formas polimórficas que são embalados em hélices duplas. A amilopectina é responsável pela cristalinidade, ao passo que as regiões ramificadas são amorfas (FECHNER et al., 2005; IMBERTY et al., 1991; VAN SOEST et al., 1995).

Figura 1- Representação parcial das estruturas da amilose e da amilopectina.



Fonte: Cornell (2000).

Dentre os polissacarídeos, somente o amido se organiza na forma de grânulos, que são pequenas unidades individuais e relativamente densas. Os grânulos se desenvolvem ao redor do ponto de nucleação, que é denominado de hilum e a forma e o tamanho variam entre os vegetais (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004). Os grânulos de amido nativos são insolúveis em água fria, devido à força coletiva das ligações de hidrogênio, que mantêm unidas as cadeias, mas à medida que a temperatura se eleva até ao que se conhece como temperatura inicial de gelatinização (onset), eles começam a absorver água. As temperaturas iniciais de gelatinização são características de cada tipo de amido, que geralmente se encontram no intervalo de 55-70°C. À medida que absorvem água, os grânulos

incham e apresentam uma perda progressiva de birrefringência. Estudos de difração de raios X mostram que a conversão total do estado amorfo não ocorre até que se atinjam temperaturas próximas a 100°C. Com o prosseguimento do inchamento, os grânulos começam a se chocar e as moléculas de amilose saem dos grânulos inchados, aumentando muito a viscosidade da suspensão. A viscosidade começa a decair à medida que os grânulos vão perdendo sua integridade (COULTATE, 1998).

O momento em que desaparece a birrefringência é conhecido como ponto ou temperatura de gelatinização, que normalmente ocorre dentro de uma faixa de temperaturas, gelatinizando primeiramente os grânulos maiores e posteriormente os menores (WHISTLER; DANIEL, 1993). Já o empastamento é o fenômeno seguinte à gelatinização na dissolução de amido. Envolve inchamento granular, separação dos componentes moleculares e, eventualmente, total rompimento dos grânulos. É nesta etapa que ocorre o aumento da viscosidade do gel (BENINCA, 2008).

A aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (WURZBURG, 1986).

Dentre as possíveis aplicações dos filmes à base de amido, pode-se ressaltar o seu emprego como embalagem para frutas e hortaliças minimamente processadas; definindo-se processamento mínimo como manejo, desinfecção, embalagem e distribuição de produtos agrícolas sem alterar as suas características de produto fresco. Frutas e hortaliças sofrem deterioração progressiva imediatamente após a colheita (YAMASHITA et al., 2006).

### 3.6 Nanofibras de Celulose

Na parede celular das plantas em geral, a celulose ocorre na forma de fibrilas finas que apresentam dimensões na escala nanométrica (EICHHORN et al., 2008). Celulose e seus derivados são as mais abundantes biomacromoléculas naturais, que são utilizadas num certo número de aplicações avançadas, tais como em papel, embalagens, e de preparação de biocompósitos (LODEIRO; HERRERO; VICENTE, 2006). A celulose, o mais abundante polissacarídeo renovável da terra, é a fonte principal de polímeros naturais que podem ser utilizados para produzir potenciais reforços de bionanomateriais chamados nanofibras de celulose (CNFs). Nas últimas décadas, o avanço da CNFs tem intrigado interesse significativo devido às suas características únicas, como alta resistência à tração, excelentes propriedades mecânicas, boa biocompatibilidade, grande área de superfície, e baixo coeficiente de expansão SAMIR; ALLOIN; DUFRESNE, 2005).

As nanofibras de celulose possuem inúmeras vantagens em relação a outros materiais nanoestruturados como, por exemplo, a facilidade no processo de formação, o baixo custo da matéria-prima, as características diversificadas em função do substrato natural de origem e, ainda, as propriedades mecânicas comparáveis com as de nanotubos de carbono e de nanofibras inorgânicas (NOORANI; SIMONSEN; ATRE, 2007). Nanofibras de celulose podem ser obtidas por procedimentos químicos ou mecânicos. No procedimento químico ocorre hidrólise parcial das cadeias de celulose. Inicialmente são hidrolisados aqueles presentes nas regiões amorfas devido à maior acessibilidade química das mesmas. O processo resulta na formação de estruturas puramente cristalinas chamadas na literatura de *whiskers* ou nanocristais (CORRÊA et al., 2010; SIQUEIRA; BRAS; DUFRESNE, 2009; TONOLI et al., 2012).

Embora existam vários métodos de produção de nanofibras de celulose, seu isolamento geralmente envolve três passos: (1) pré-tratamento da matéria-prima, (2) hidrólise parcial, e (3) desintegração mecânica. As condições do processo que levam a dimensões nanométricas afetam as características morfológicas das nanopartículas, influenciando seu desempenho como material de reforço em compósitos.

Nanofibras de celulose (CNF) e nanocristais (CNC) têm sido utilizados para desenvolver filmes bio-nanocompósitos com base em uma matriz proteica (MONDRAGON et al., 2014). Nanowhiskers de celulose, geralmente obtidos por hidrólise ácida da celulose nativa, são bons candidatos para serem elementos naturais de reforço em compósitos, devido à sua grande superfície em relação ao volume, área superficial elevada, boas propriedades mecânicas, capacidade de renovação, baixo custo, e de fácil modificação química e mecânica. Nanowhiskers podem ser ainda modificados através da absorção de sais de amônio quaternário na superfície de modo a ser bem disperso em solventes orgânicos (WANG; CHEN, 2014).

Uma das possíveis formas de geração dessas nanoestruturas é por meio de um moinho microfibrilador especializado denominado *grinder*, cujo mecanismo consiste na quebra de ligações de hidrogênio por meio de forças de cisalhamento e conseqüentemente ocasionando a individualização de feixes de microfibrilas da estrutura em multicamadas da parede celular (SIRÓ; PLACKET, 2010). Apesar de se tratarem de procedimentos de consumo intenso de energia (SPENCE et al., 2010), os métodos mecânicos se apresentam como uma alternativa mais limpa em relação aos químicos, em que nanofibras podem ser obtidas a partir de suspensões aquosas sem o uso de reagentes químicos (BUFALINO, 2014).

Os materiais mais utilizados na literatura, para a geração de CNF, certamente consistem em polpas kraft, branqueadas comerciais provenientes da

madeira de coníferas e/ou folhosas (SPENCE et al., 2010; SYVERUD et al., 2010; SYVERUD; STENIUS, 2009). Nanofibras de celulose (CNFs) oferecem muitas vantagens: ela é mecanicamente forte, rígida e altamente cristalina, possui ampla aplicação em biomedicina, área farmacêutica, e, especialmente, nas indústrias de papel. Elas também podem funcionar como reforço de agentes em matrizes poliméricas. A adição de CNFs a matrizes poliméricas culmina em compósitos com melhores propriedades mecânicas, térmicas e de permeabilidade, proporcionando benefícios econômicos e estratégicos (TIBOLLA; PELISSARI; MENEGALLI, 2014).

Uma via para melhorar as propriedades da base biológica de uma matriz polimérica é o uso de nanocelulose a partir de recursos renováveis como nano reforços. Propriedades de nanofibras de celulose e nanocristais, tais como elevada área de superfície, alta taxa de proporção e de elevada cristalinidade, bem como as suas propriedades mecânicas excepcionais, fazem sua utilização atrativa (MONDRAGON et al., 2014).

Sua aptidão em formar redes entrelaçadas, confere aos compósitos além de alta resistência mecânica, a possibilidade em se obter materiais transparentes em função do seu diâmetro nanométrico inferior aos comprimentos de luz visíveis (BESBES; VILAR; BOUFI, 2011). Suspensões de *CMF* também podem ser utilizadas para a obtenção de filmes de nanocelulose (SYVERUD; STENIUS, 2009).

Uma forma de melhorar as propriedades dos filmes é a adição de compostos às suas matrizes, uma melhoria pode ser quanto às propriedades de barreira e mecânicas dos filmes pela adição de nanoestruturas às matrizes poliméricas (MOURA et al, 2009).

### 3.7 Metabissulfito de sódio

O dióxido de enxofre é um dos mais antigos conservadores utilizados nas indústrias de alimentos (LINDSAY, 1993). É um gás incolor, não inflamável, de odor sufocante, que se liquefaz a  $-10^{\circ}\text{C}$  (LEITÃO, 1988). Devido às dificuldades no seu manuseio e solubilidade são utilizados sais derivados em substituição, tais como: sulfito de potássio, bissulfito de sódio, metabissulfito de sódio e metabissulfito de potássio. Os sulfitos têm diversas funções nos alimentos e bebidas, atuando como agentes sanitizantes<sup>7</sup>, antioxidantes, antimicrobiano e inibidores do escurecimento (NISIDA, 1991).

Embora se conheça pouco sobre o mecanismo de ação do dióxido de enxofre e derivados sobre os microrganismos, acredita-se que a forma não dissociada do ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) seja responsável pela atividade antimicrobiana, devido a uma maior facilidade de penetração através das membranas celulares. Tal fato é sustentado pela maior eficiência destes compostos a baixo pH (LINDSAY, 1993). Uma outra hipótese é que a atividade antimicrobiana seja devida ao seu forte poder redutor, com esses compostos reduzindo a tensão de oxigênio a um ponto abaixo do requerido pelos microrganismos aeróbios ou pela ação direta sobre o sistema enzimático (FRANCO; LANDGRAF, 1996). O pH do produto é provavelmente a propriedade que mais influencia a ação antimicrobiana do dióxido de enxofre e sais derivados. Baixos pHs potencializam a atividade antimicrobiana deste conservador, pois em meio ácido há uma maior predominância da forma não dissociada do ácido sulfuroso (SOFOS, 1995).

De acordo com Lindsay (1993), o mecanismo de inibição do bissulfito na célula se explica por meio das seguintes reações: redução de ligações bissulfídricas essenciais em enzimas; formação de compostos de adição que interferem na cadeia respiratória; reações com aminoácidos, pirimidinas e nucleosídeos.

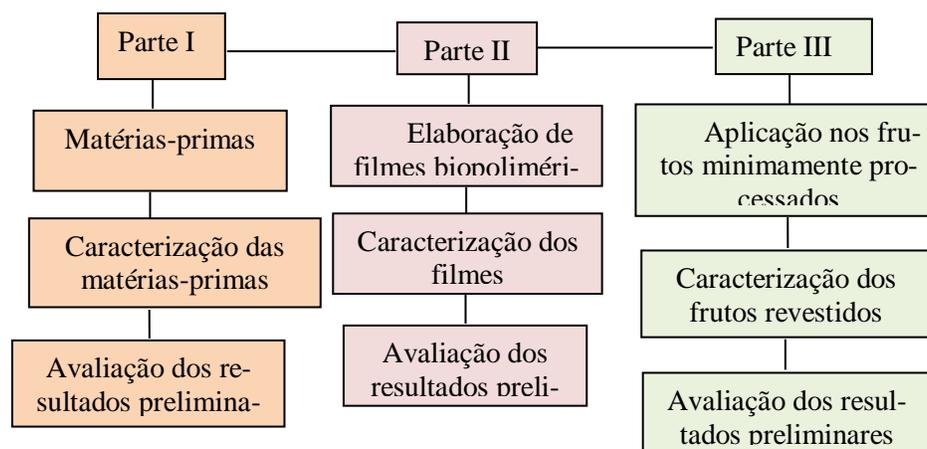
Então, a ação mais patente dos sulfitos contra microrganismos é seu ataque a distintos pontos da estrutura enzimática da célula.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (UFLA) em parceria com os laboratórios: Laboratório de Nanotecnologia do Departamento de Ciências Florestais (DCF), Laboratório de Desenvolvimento de Novos Produtos do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), Laboratório de Química, Biologia e Análise de Alimentos do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), Laboratório de Microbiologia de alimentos do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), Laboratório de Química do Departamento de Química (DQI), Laboratório Nacional de Nanotecnologia aplicada ao Agronegócio (LNNA-EMBRAPA).

A figura 2 a seguir aborda as etapas que foram necessárias para obtenção e caracterização dos filmes biodegradáveis e os frutos minimamente processados.

Figura 2 - Fluxograma geral da organização da dissertação.



Fonte: Do autor (2016)

Na “Parte I” foram avaliadas as matérias-primas principais, em seguida na “Parte II” os filmes biopoliméricos, e por fim na “Parte III”, a aplicação do revestimento nos frutos minimamente processados.

#### 4.1 Planejamento experimental

Com o objetivo de se avaliar o efeito de diferentes revestimentos aplicados a goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas, foram produzidos filmes de amido com as 4 formulações: amido, amido+ metabissulfito de sódio, amido+ metabissulfito de sódio+ nanofibras de celulose. Utilizou-se glicerol como agente plastificante e todas as formulações de filmes. As formulações descritas estão de acordo com a tabela 1, a seguir.

Tabela 1- Planejamento experimental.

Filmes	Amido	Glicerol	Metabissulfito de sódio	Nanofibra de celulose
A1	3%	20%	0%	0%
A2	3%	20%	0,1%	0%
A3	3%	20%	0%	10%
A4	3%	20%	0,1%	10%

Fonte: Dados do autor (2016)

#### 4.2 Material

Para o preparo das soluções filmogênicas, utilizou-se amido de milho comercial Amisol 3408, oriundo da Corn products<sup>®</sup>. As nanofibras de celulose foram obtidas através de extração mecânica (1,5%, 2000 rpm, 30 repetições) de polpa kraft de eucalipto e cedidas pelo Laboratório de Nanotecnologia Florestal (DCF/UFLA). O metabissulfito de sódio (teor 97%) utilizado foi da NEON<sup>®</sup>. As goiabas foram adquiridas na cidade de Lavras/Mg e são da cultivar Pedro Sato.

### **4.3 Caracterização das matérias-primas principais**

As matérias-primas principais para elaboração dos filmes biopoliméricos comestíveis foram caracterizadas de acordo com a seguinte análise:

#### **4.3.1 Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR)**

A análise de espectroscopia FTIR por transmitância foi realizada em um espectrômetro modelo Spectrum 1000 (Perkim Elmer®), com comprimento de onda de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ . As amostras foram prensadas em pastilhas de KBr (1 mg de amostra/ 100 mg de KBr).

### **4.4 Preparo dos Filmes**

Foram preparadas soluções filmogênicas de acordo com as formulações descritas no delineamento experimental da junção com água destilada sob 75°C. Após atingir esta temperatura, a solução foi resfriada em temperatura ambiente até 30°C. A solução foi colocada em placas de acrílico e armazenadas a 4°C em B. O. D para evaporação do solvente e formação dos filmes biopoliméricos.

#### **4.4.1 Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR).**

Para a análise de espectroscopia FTIR, as amostras foram mantidas por 24 hrs em dissecador com sílica antes do ensaio. Utilizou-se o acessório ATR (leitura por Refletância Total Atenuada). O espectro foi obtido com 68 scans,

resolução de  $2\text{ cm}^{-1}$  na faixa de 400 a  $4000\text{ cm}^{-1}$ , com auxílio de um espectrofotômetro de infravermelho marca Bruker, modelo Vertex 70.

#### **4.4.2 Difração de raios- X (DRX)**

Os difratogramas foram captados em um difratômetro LabX DRX 6000 (Shimadzu®) operando com 30kV, 30mA e radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1540\text{ \AA}$ ). O escaneamento foi realizado a uma taxa de  $2\theta/\text{min}$  de 5 a  $45^\circ$  e a velocidade de varrimento utilizada foi  $1^\circ\text{ min}^{-1}$ .

#### **4.4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com fonte de emissão de campo (MEV – FEG)**

As amostras feitas em MEV estão recobertas com carbono e o objeto da análise das imagens foi a homogeneidade da estrutura interna do material e as amostras de MEV-FEG sem recobrimento com a finalidade de ver as nanofibras de celulose (CNF) na matriz de amido, por feixes ancorados em regiões fraturadas. As micrografias foram obtidas a partir de fratura criogênica em um microscópio de emissão de campo eletrônico de varredura (MEV-FEG), modelo JSM-6701F (JEOL®), usando uma tensão de aceleração de 4kV. As amostras foram montadas em stubs e meia-lua de alumínio, fixadas com fita de carbono. Os diâmetros das estruturas foram medidos com o auxílio do *Software ImageJ*.

#### **4.4.4 Ensaio de tração**

As propriedades de tração dos filmes foram medidas conforme método padrão D882-02 (AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS, 2002), as amostras de filmes foram cortadas em tiras ( $100 \times 10\text{ mm}$ )

e a separação inicial entre as garras foi de 50 mm com velocidade de 500 mm/min. Foram testados cinco corpos de prova para cada filme em três repetições.

Foram calculados: o módulo de elasticidade (ME, MPa) pela inclinação da parte linear do diagrama de tensão *versus* deformação. A resistência à tração (RT, MPa) dividindo a carga máxima pela área da seção transversal do filme e o alongamento (AL, mm), pelo comprimento alongado a partir do comprimento inicial.

#### **4.4.5 Teste de punctura**

Teste de punctura foi realizado, segundo Azevedo et al. (2014). Os filmes foram cortados em quadrados de 9 cm<sup>2</sup> (3x3cm) de área e fixados em um suporte com orifício central (2,1 cm de diâmetro). Uma sonda esférica de 5,0 mm de diâmetro (sonda A/TG) foi deslocada perpendicularmente à superfície da película a uma velocidade constante de 0,8 mm/s até a sonda passar através do filme. Foram testados cinco corpos de prova para cada filme em três repetições.

#### **4.4.6 Análise de cor**

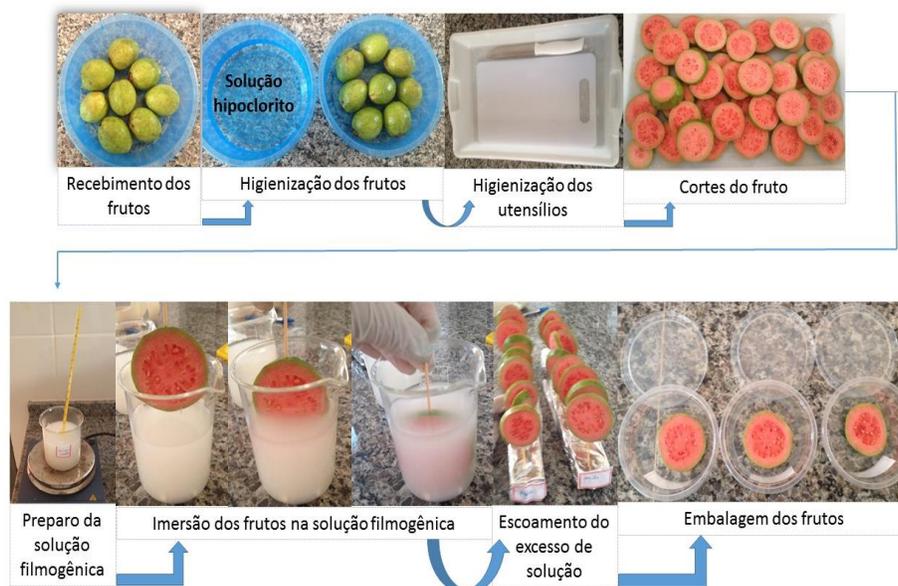
A cor foi determinada utilizando um colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Sakai, Japão), utilizando o sistema CIELAB, iluminante D65. A Comissão Internacional de Iluminação define os padrões de medição de cor internacionalmente e gerencia o método de referência de cor usado no projeto, os espaços Lab.  $L^*$ ,  $a^*$ , e  $b^*$  representam os parâmetros espaciais ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ), que são coordenadas associadas a um espaço vetorial retangular onde cada cor representa um ponto. Cada parâmetro diz respeito a um componente da cor na amostra, baseado no princípio do olho humano para a percepção

de cores. (L) percebe tons claros ou escuros, é o único parâmetro finito, que vai de  $L = 0$ , ausência total de luz, até  $L = 100$ , branco difuso; (a) percebe tons vermelhos a verdes, sendo aos vermelhos associados valores positivos e aos verdes, negativos; (b) percebe tons amarelos a azuis, sendo aos amarelos associados valores positivos e aos azuis, negativos.

#### **4.5 Revestimento das goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas**

Os frutos foram recepcionados e avaliados visualmente excluindo aqueles que apresentaram qualquer tipo de injúria. Em seguida foram lavados com água e sabão neutro, posteriormente higienizados com solução de hipoclorito de sódio, 200 ppm. As goiabas foram minimamente processadas em cortes de rodela com espessura de aproximadamente 1 cm. O processo de revestimento foi realizado por imersão individual das rodela de goiaba, com auxílio de palitos, na solução filmogênica por 5s. Após o revestimento, as rodela foram suspensas durante 1 hora acima de uma superfície, a fim de que o excesso de solução filmogênica da superfície das rodela fosse escoado, em seguida, as rodela foram armazenadas em potes plásticos de 250 ml, a 4°C em B.O.D. Amostras controle de goiabas minimamente processadas sem revestimento também foram armazenadas sob as mesmas condições que as demais que continham revestimento. A figura 3 a seguir ilustra os passos através de um fluxograma.

Figura 3 - Fluxograma do revestimento dos frutos.



Fonte: Do autor (2016)

#### 4.6 Caracterizações de goiabas (*Psidium guajava* L.) minimamente processadas

As goiabas minimamente processadas foram caracterizadas com análises de: perda de massa, cor, acidez titulável, sólidos solúveis, textura, pH, vitamina C, coliformes totais e termotolerantes, durante 15 dias, em triplicata, avaliados de 3 em 3 dias respectivamente, com a finalidade de avaliar alterações entre os tratamentos com revestimento biopolimérico em comparação à goiaba sem tratamento.

#### 4.6.1 Perda de massa

A perda de massa foi estimada como a média de pesos individuais utilizando balança analítica, durante 15 dias, pesando a cada 24 horas. As relações com o tempo de armazenamento foram estabelecidas utilizando um modelo de regressão linear.

#### 4.6.2 Análise de cor

A análise de cor da polpa das goiabas minimamente processadas foi realizada em colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Sakai, Japão), nas mesmas condições em que os filmes biopoliméricos foram caracterizados. As medições foram realizadas de 3 em 3 dias durante 15 dias.

#### 4.6.3 Acidez titulável

A acidez total titulável foi determinada por titulometria com NaOH 0,1 N através do procedimento volumétrico, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (1985). À amostra diluída em água são adicionadas algumas gotas de fenolftaleína a 1% (3-4 gotas); ao frasco é adicionado lentamente o NaOH 0,1N, por meio de bureta, até a mudança de cor da solução para levemente rósea; o volume utilizado da base é anotado para o cálculo da porcentagem de ácido orgânico da amostra segundo a fórmula:  $ATT = [(V \cdot f_a \cdot f_c) / TE] \cdot 10$

Onde: ATT = acidez titulável em g/100 ml ou %

V= volume gasto de NaOH 0,1 N na titulação

$f_a$ = fator álcali 0,1 N do ácido

$f_c$ = fator de correção do NaOH

TE = tomada de ensaio, ou seja, massa da amostra em g

Os resultados são expressos em função do ácido cítrico.

#### **4.6.4 Sólidos solúveis totais**

A determinação de sólidos solúveis totais foi realizada utilizando um refratômetro, conforme as normas (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 1998). Duas ou três gotas do extrato de cada amostra, com e sem revestimento, de acordo com o delineamento experimental, foram colocadas sobre o visor do aparelho e os resultados expressos em % de sólidos solúveis (ou °Brix).

#### **4.6.5 Textura**

A firmeza foi avaliada utilizando um texturômetro TA.XT (Sistema de Micro Stable, UK) com uma célula de carga de 50 kg e uma velocidade de penetração de  $1\text{mm s}^{-1}$ . O teste foi realizado utilizando uma sonda de aço inoxidável com três milímetros de diâmetro. A textura foi medida como a força máxima (expressa em Newtons,  $1\text{N} = 0,1\text{Kgf}$ ) necessária para alcançar a penetração da sonda em 8 mm em três localizações diferentes do mesocarpo das rodela das goiabas minimamente processadas em cada amostra.

#### **4.6.6 pH**

Para análise do pH utilizou-se potenciômetro DIGIMED, modelo DMPH, segundo metodologia da AOAC (1995).

#### **4.6.7 Vitamina C**

O conteúdo de ácido ascórbico (após oxidação à ácido dehidroascórbico) foi determinado pelo método colorimétrico com 2,4- dinitrofenilhidrazina, segundo Strohecker e Henning (1967). A leitura foi realizada em espectrofotômetro Beckmam 640B, com sistema computadorizado. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100g de polpa.

#### **4.6.8 Análises microbiológicas**

Foram realizadas análises de coliformes totais e termotolerantes nos frutos de goiaba minimamente processadas de acordo com o delineamento experimental já apresentado.

##### **4.6.8.1 Coliformes totais**

Coliformes totais são bactérias do grupo coliformes, sendo a maioria pertencente ao gênero *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, apesar disso vários outros gêneros e espécies pertencem ao grupo. Além disso, são bacilos Gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, capazes de crescerem na presença de sais biliares ou agentes tensoativos e que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$  em 24-48 horas (SANCHEZ, 2015). As análises foram realizadas segundo a metodologia descrita pela resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2001).

#### **4.6.8.2 Coliformes termotolerantes**

A presença de coliformes nos alimentos é de grande importância para a indicação de contaminação durante o processo de fabricação ou mesmo pós-processamento. Os coliformes termotolerantes presentes em alimentos podem indicar a ocorrência de contaminação fecal e a possível presença de organismos patogênicos. Além disso, pode indicar condições sanitárias inadequadas durante o processamento ou armazenamento. Esse parâmetro microbiológico tem a importância de avaliar a condição higiênico-sanitária de água e alimentos. A presença de coliformes em alimentos pode, também, estar relacionada à sua recontaminação, após esses procedimentos. As análises foram realizadas segundo a metodologia descrita pela resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2001).

#### **4.7 Análises estatísticas**

Os resultados obtidos para as análises realizadas nos frutos minimamente processados, amostras controle e com revestimento foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) para comparação de médias. Utilizou-se o software SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2000).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

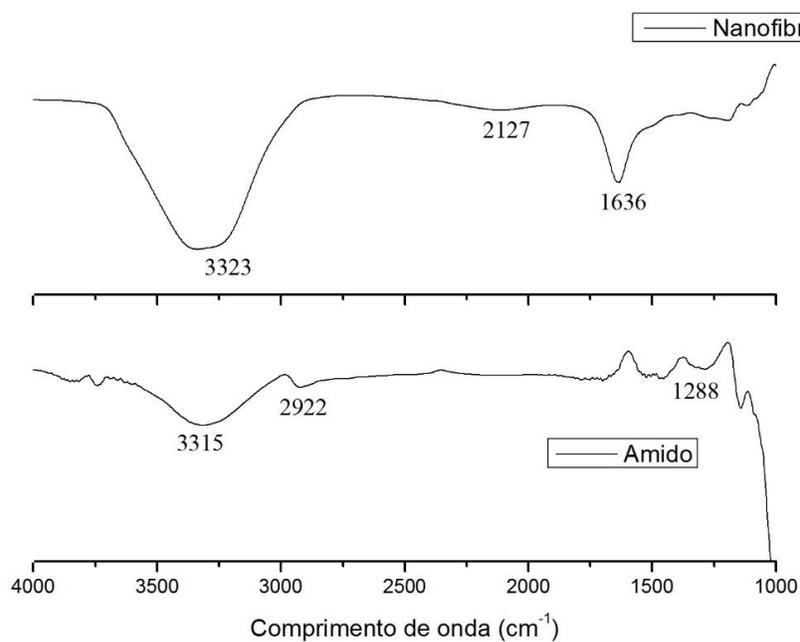
### 5.1 Caracterizações das matérias-primas

Os resultados obtidos para as matérias-primas serão discutidos a seguir.

#### 5.1.1 Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR)

Os gráficos correspondentes à análise de espectroscopia FTIR por transmitância do amido de milho e nanofibras de celulose podem ser observados na figura 4.

Figura 4 - Gráfico FTIR das matérias-primas.



Fonte: Dados do autor (2016)

A figura 4 mostra que nas duas amostras há uma banda larga entre 3000 e 3500  $\text{cm}^{-1}$  correspondente ao estiramento dos grupos hidroxila O-H que participam de formação de ligações de hidrogênio inter e intramoleculares. As bandas entre os picos 2883 e 2993  $\text{cm}^{-1}$  são referentes ao estiramento assimétrico C-H do grupo metila; em 1635  $\text{cm}^{-1}$  aparece uma banda referente à água nas amostras. A banda de 1325 a 1466  $\text{cm}^{-1}$  pertence à deformação angular da ligação C-H; de 950 a 1153  $\text{cm}^{-1}$  aparecem os estiramentos de álcoois secundários e primários e de éteres C-O-C presentes nas cadeias poliméricas do amido.

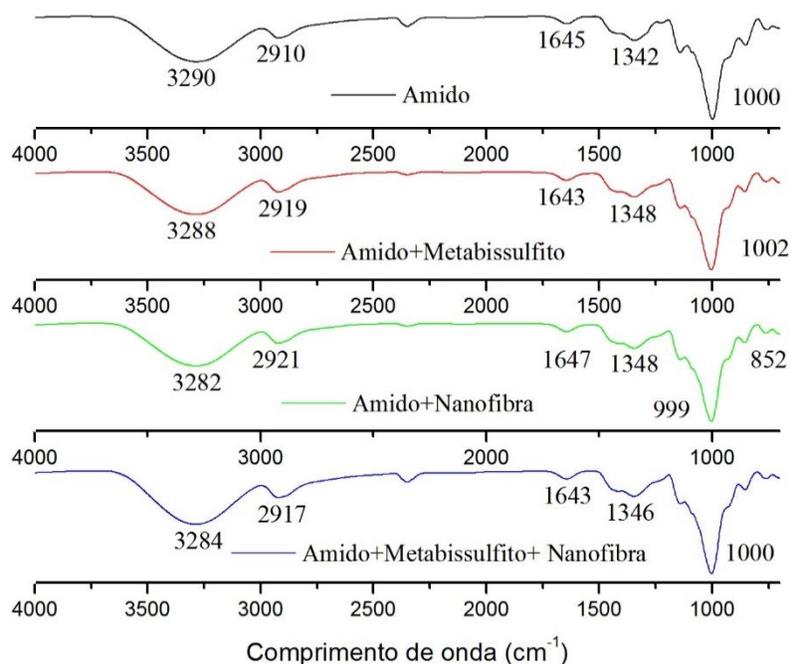
## **5.2 Caracterizações dos filmes**

Os resultados obtidos para os filmes estudados serão discutidos a seguir.

### **5.2.1 Espectroscopia na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier (FTIR)**

Os gráficos correspondentes à análise de espectroscopia FTIR por transmitância dos filmes de amido e suas formulações podem ser observados na figura 5 a seguir.

Figura 5 – Gráfico FTIR dos filmes de amido.



Fonte: Dados do autor (2016)

A tabela 2 mostra os valores encontrados nos filmes biopoliméricos de acordo com as bandas vibracionais. Os espectros de FTIR dos filmes de amido representam um comportamento típico do amido, descrito na literatura (PAVLOVIC; BRANDÃO, 2003). A banda larga na região de 3600-3000 corresponde à absorção dos grupos hidroxilas do amido. Bandas de absorção a aproximadamente  $2926\text{cm}^{-1}$  e  $2897\text{cm}^{-1}$  indicam estiramento C-H. As Bandas de absorção em  $1648\text{cm}^{-1}$  correspondem à água ligada. A posição da banda relativa à água residual é dependente da cristalinidade do polissacarídeo, por isso observam-se valores diferentes entre os tipos de filmes estudados nesse trabalho (WOLKERS et al., 2004).

Tabela 2 – Bandas vibracionais encontradas.

Bandas Vibracionais	Comprimento de onda (cm <sup>-1</sup> )			
	Amido	Amido +Metabissulfito	Amido +Nanofibra	Amido+Nanofibra +Metabissulfito
Alongamento O-H	3290	3288	3282	3284
Alongamento C-H	2910	2919	2921	2917
Molécula de água adsorvida	1645	1643	1647	1643
Deformação angular C-H	1342	1348	1348	1346
Deformações de grupos C-OH	1000	1002	999	1000

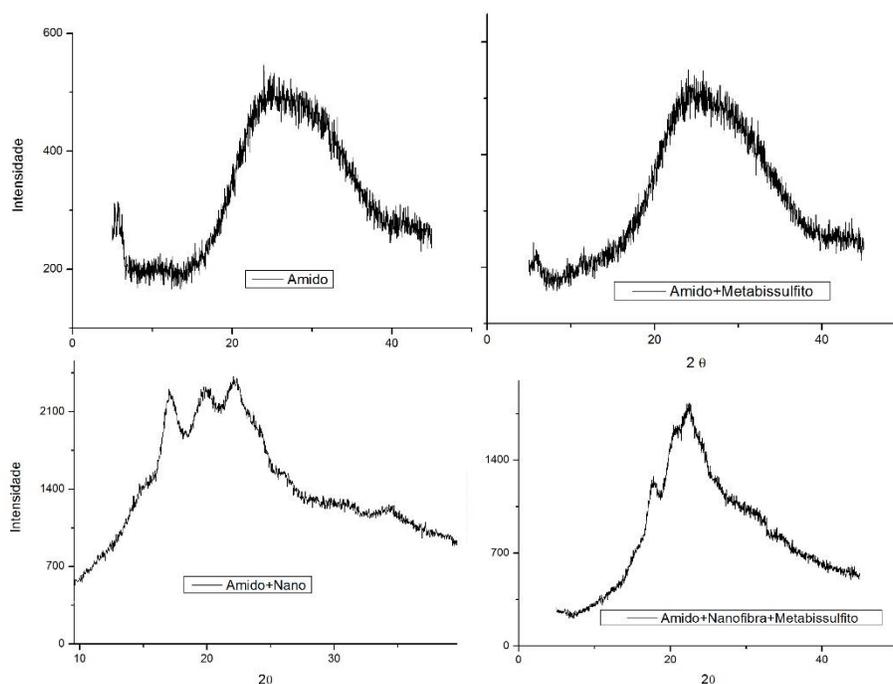
Fonte: Dados do autor (2016)

Entre os filmes de amido houve um ligeiro deslocamento da banda de absorção de 1645 cm<sup>-1</sup> para valores menores (1643 cm<sup>-1</sup>) nos filmes de amido+metabissulfito, amido+nanofibra+metabissulfito e maior (1647 cm<sup>-1</sup>) para o filme de amido+nanofibras. Esse aumento se deve, provavelmente, devido à presença de ligações de hidrogênio fortes entre polímeros adjacentes (WOLKERS et al., 2004).

### 5.2.2 Difração de raios-x nos filmes de amido

Na forma nativa, o amido de milho apresenta picos de difração em aproximadamente 15°, 18° e 23° (2θ) que corresponde a uma estrutura cristalina típica de amido de cereais (DONALD, 2004). Na figura 6 estão apresentados os difratogramas dos filmes de amido.

Figura 6 – Difratomogramas dos filmes de amido, amido+metabissulfito, amido+nanofibra, amido+metabissulfito+nanofibra.



Fonte: Do autor (2016)

A cristalinidade pode ser definida como a medida do grau de organização das moléculas de um polímero (MAIA; PORTE; SOUZA, 2000). O grau de cristalinidade nos filmes de amido pode ser resultado da organização estrutural residual das cadeias de amilose e amilopectina, dependente das condições de processamento que, possivelmente, não foram suficientes para destruir totalmente a organização molecular dos grânulos nativos, ou ainda, pode resultar do processo de recristalização ocorrido durante o seu armazenamento. Os principais picos de intensidade de difração de raios-x dos filmes de amido estão apresentados na tabela 3 a seguir. Os valores obtidos estão próximos aos obtidos por Soares (2003) para o amido.

Tabela 3 – Picos de intensidade dos filmes de amido.

<b>Filmes</b>	<b>2<math>\theta</math></b>
Amido	23,97
Amido+Metabissulfito	24,03
Amido+Nanofibra	22,06
	17,00
	19,76
Amido+Nanofibra+Metabissulfito	22,51
	11,69

Fonte: Dados do autor (2016)

Os picos de difração característicos nos filmes que contêm nanofibras de celulose  $2\theta = 19.6^\circ$  (DAS et al., 2010), e um ombro em torno  $2\theta = 22.5^\circ$ , que é atribuída ao (0 0 2) plano de rede de celulose nas nanofibras e às estruturas cristalinas do amido. É possível inferir também que as nanofibras de celulose aumentaram o índice de cristalinidade dos nanocompósitos em relação àqueles aos que não foram reforçados. Isto é porque as nanofibras provavelmente atuaram como agentes de nucleação para os cristais (FUJISAWA et al., 2014; WANG et al., 2014).

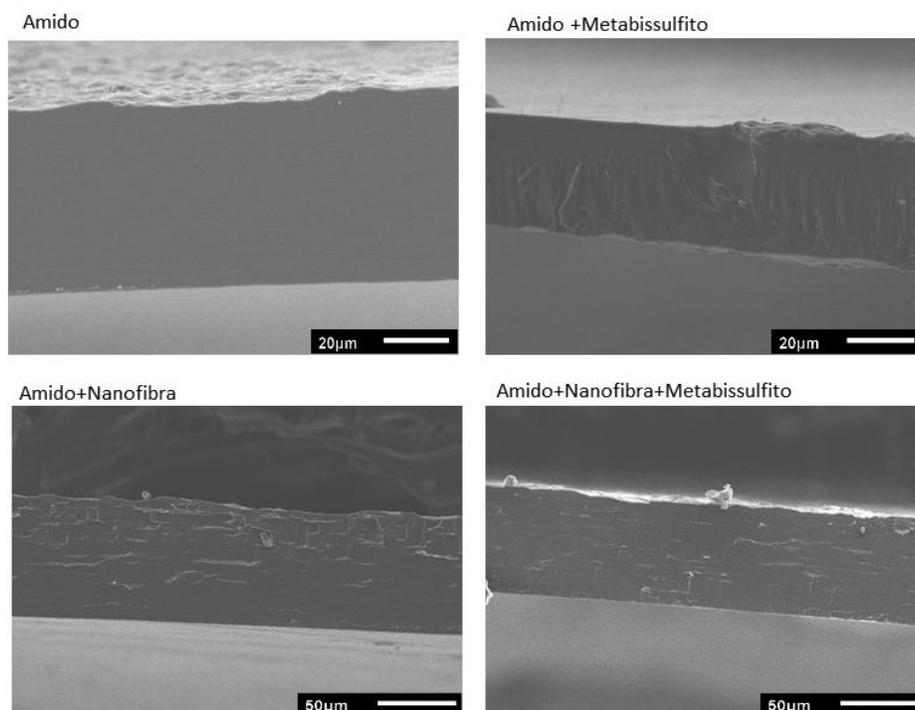
### 5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com fonte de emissão de campo (MEV – FEG)

A microestrutura da fratura criogênica dos filmes biopoliméricos estão apresentadas nas figuras 7 e 8 a seguir, MEV e FEG, respectivamente. O filme com composição somente de amido possui seção transversal mais homogênea e contínua e coerente com a formação de um arranjo compacto de cadeias de polímero quando comparado às demais formulações, acrescidas de metabissulfito e nanofibras de celulose. Os filmes com adição de metabissulfito e nanofibras de celulose apresentaram seção transversal mais áspera com ondulações transversais; o que sugere que a cadeia de polímero foi interrompida pelos outros ele-

mentos estruturais presentes na matriz. Observações semelhantes foram relatadas por Li et al. (2015).

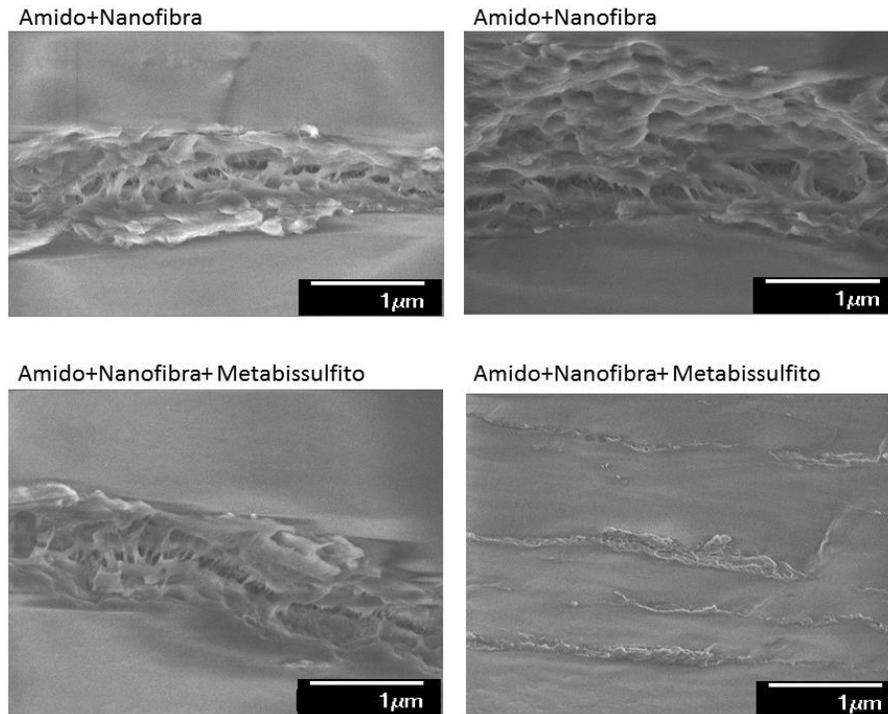
Pode-se observar que as nanofibras não estão bem distribuídas na matriz polimérica, mostrando uma faixa central com maior concentração de nanofibras. Esta morfologia se repete em toda a extensão das amostras, com regiões vazias, ou sem nanofibras e outras com alta concentração. Porém, em ambas as amostras, as nanofibras estão bem aderidas à matriz polimérica.

Figura 7 - Micrografias (MEV) dos filmes de amido 20  $\mu\text{m}$  (x700) e 50  $\mu\text{m}$  (x300).



Fonte: Do autor (2016)

Figura 8 – Micrografias (FEG) de filmes com nanofibras de celulose com 1  $\mu\text{m}$ .



Fonte: Do autor (2016)

#### 5.2.4 Ensaio mecânico de tração

As propriedades mecânicas dos filmes de amido podem ser consideradas as mais restritivas, pois, em geral, estes materiais devem ser resistentes à ruptura e à abrasão, para proteger e reforçar a estrutura dos alimentos e, ainda, devem ser flexíveis, para adaptar-se a possíveis deformações sem se romper (SOBRAL, 2000). O comportamento mecânico dos filmes biopoliméricos de amido e suas composições foram caracterizados através do ensaio de tração. O gráfico na figura 9 é o gráfico tensão x deformação.

Observa-se aumento de resistência à tração para a inserção da combinação metabissulfito+ nanofibras nos filmes de amido, porém para o filme de ami-

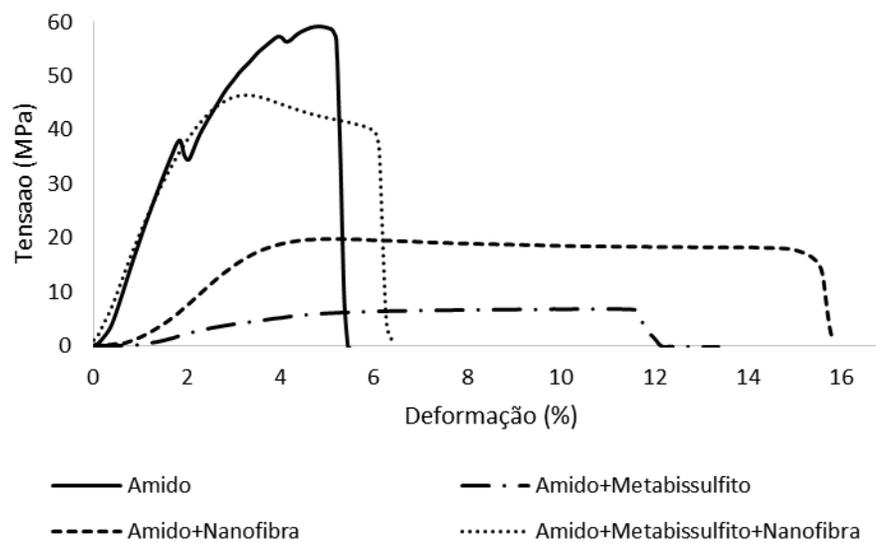
do+ nanofibras a resistência aumentou. As nanofibras de celulose foram eficazes para aumentar a resistência máxima à tração quando comparado com os filmes de amido (sem adição de nanofibras). O módulo de elasticidade também foi influenciado pela inserção de nanofibras.

Os valores de alongamento na ruptura obtidos demonstram que o filme de amido+ nanofibras apresentou maior valor quando comparados às demais formulações. As demais formulações apresentaram valores maiores ao filme que contém somente amido demonstrando que a adição de nanofibras e metabissulfito contribuíram para melhor resistência do filme. Resultados semelhantes foram obtidos por Delville, Joly e Bliard (2002).

As propriedades de tração demonstraram uma diminuição na tensão e no módulo elástico dos filmes de amido+nanofibra quando comparados aos filmes de amido, enquanto que a deformação e punctura aumentaram.

Samir, Alloin e Dufresne (2005) relatam que os nanofibras de celulose são regiões que crescem sob condições controladas, o que permite a formação de cristais individuais de alta pureza e essa estrutura altamente ordenada confere alta resistência.

Figura 9 - Gráfico tensão x deformação dos filmes de amido.



Fonte: Dados do autor (2016)

A tabela 4 apresenta os valores obtidos para a tensão máxima, módulo de elasticidade, deformação na ruptura das amostras e punctura.

Tabela 4 – Valores dos ensaios mecânicos.

Filmes	Resistência máxima à tração (Mpa)	Módulo (Mpa)	Deformação (%)	Punctura (mm)
Amido	53,6	4,64±1,60	6,2	7,42
Amido+Metabissulfito	12,59	0,57±0,13	11,22	20
Amido+Nanofibra	55,35	13,96±6,7	13,57	8
Amido+Nanofibra+Metabissulfito	46,39	3,15±1,99	6,88	20

Fonte: Dados do autor (2016)

A resistência obtida nos filmes com nanofibras de celulose são favoráveis para o propósito do revestimento de frutos minimamente processados. As

propriedades mecânicas dos revestimentos comestíveis são tão importantes como as de barreira (como, por exemplo, a força de tensão e o alongamento). Geralmente, os revestimentos devem ser resistentes à quebra e abrasão, para proteger a estrutura do alimento, e flexíveis, para que possam se adaptar à possível deformação do alimento sem se romperem (GUILBERT; GONTARD; GORRIS, 1996).

### 5.2.5 Cor dos filmes

Valores médios observados para os filmes de amido e suas formulações, sob os parâmetros de luminosidade ( $L^*$ ), estão na tabela 5.

Tabela 5 - Valores de parâmetros de cor.

Filmes	$L^*$
Amido	30,06
Amido+Metabissulfito	31,32
Amido+Nanofibra	32,45
Amido+Metabissulfito+Nanofibra	32,59

Fonte: Dados do autor (2016)

A luminosidade ( $L^*$ ) foi significativa para os filmes de amido+nanofibra e amido+metabissulfito+nanofibra. A transparência pode ser utilizada como uma medida indireta do tamanho e dispersão de nanofibras de celulose na matriz (YANO et al., 2005). Em se tratando de revestimento de frutos, quanto mais transparente, mais se preserva as características das goiabas minimamente processadas. Sobre os alimentos, os revestimentos comestíveis não devem interferir na aparência natural da fruta, devem possuir boa aderência a fim de evitar sua remoção facilmente no manuseio e não podem promover alterações no gosto ou odor original (ASSIS; BRITO; FORATO, 2009). Não houve diferença significa-

tiva ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, possivelmente por não haver diferença de concentrações, apenas inserção e combinação dos itens adicionados ao filme.

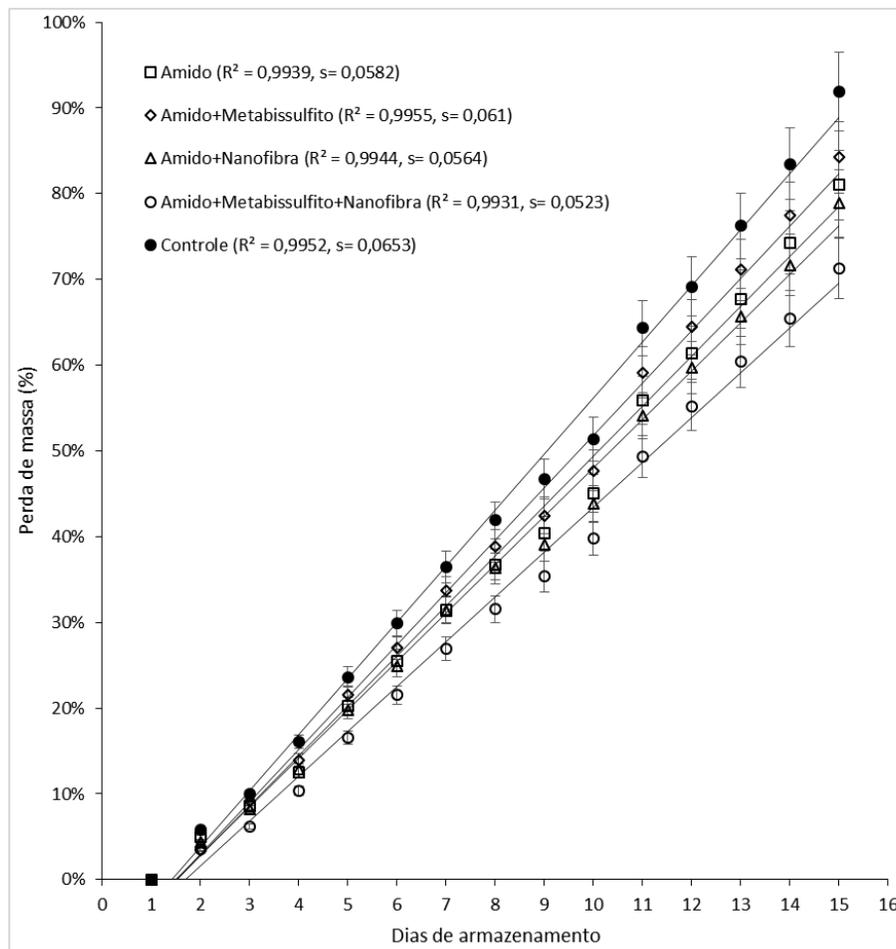
### **5.3 Caracterizações das goiabas minimamente processadas**

Os resultados obtidos para as goiabas minimamente processadas serão discutidos a seguir.

#### **5.3.1 Perda de massa de goiabas minimamente processadas**

As medições de perda de massa estão ilustradas no gráfico 10 a seguir. Nos primeiros três dias não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de perda de massa entre amostras revestidas e não revestidas. O efeito protetor dos revestimentos pode ser observado a partir do 5º dia. A perda de massa ocorre principalmente como desidratação, em se tratando de frutos minimamente processados, pois a desidratação ocorre facilmente na superfície do corte dos frutos.

Figura 10 - Gráfico de perda de massa.



Fonte: Do autor (2016)

A perda de massa mostra uma dependência para o tempo de armazenamento. Assim, os dados podem ser aproximados a um modelo linear ( $y=a+Sx$ ), o que facilita a sua interpretação. Onde S refere-se à inclinação da curva, que pode ser interpretado como a taxa de perda de massa, quanto maior o valor de S maior será a desidratação em função do tempo.

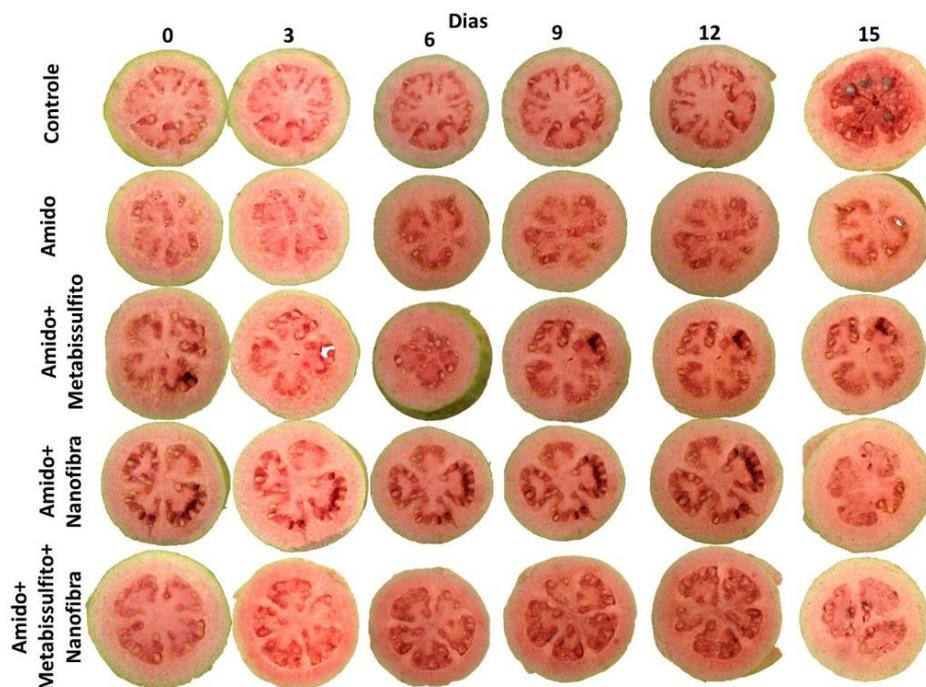
De acordo com a análise de perda de massa, as goiabas minimamente processadas sem revestimento mostraram uma velocidade de degradação mais

rápida, assim, os revestimentos agiram positivamente como um agente conservador, retardando a perda de massa dos frutos. Os frutos não revestidos perderam de 6% a 8% de massa por dia, enquanto que nos frutos revestidos essa perda de massa diária diminuiu em 2% a 3%. Os revestimentos contendo nanofibras de celulose (Amido+ Nanofibra e Amido+ Metabissulfito+ Nanofibra) obtiveram comportamento semelhante entre si e diferiram dos demais revestimentos (sem adição de nanofibras). Resultados semelhantes foram obtidos por Forato et al. (2015), onde foi avaliada a aplicação de revestimentos em goiabas inteiras e minimamente processadas.

### **5.3.2 Avaliação visual das goiabas minimamente processadas**

Os frutos não revestidos apresentaram desidratação ao longo dos primeiros dias, o experimento ocorreu em 15 dias, com o propósito de determinar a capacidade protetora dos revestimentos nas condições deste estudo. Os revestimentos atuam como uma barreira, principalmente contra a excessiva perda de água e crescimento de microrganismos. As imagens dos frutos minimamente processados ilustram a eficácia dos revestimentos. A figura 11 a seguir mostra o comportamento dos frutos ao decorrer dos dias.

Figura 11 - Revestimento dos frutos.



Fonte: Do autor (2016)

### 5.3.3 Análise de cor das goiabas minimamente processadas

O efeito protetor dos revestimentos pode ser observado através da análise de cor realizada na polpa dos frutos minimamente processados. Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a amostra controle (sem revestimento) e as amostras com revestimentos aplicados sobre a superfície das goiabas minimamente processadas. Com relação ao tempo houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os dias 3 e 6 e, a partir do terceiro dia, o efeito dos revestimentos se sobressaiu. Entre os dias 6 e 9 também houve diferença. E por fim, os dias 12 e 15 diferiram de todos os demais. Os valores obtidos para a  $L^*$  (luminosidade) podem ser ilustrados na tabela 6 a seguir de acordo com a variável tempo.

Tabela 6 - Valores de luminosidade ( $L^*$ ) para as goiabas minimamente processadas.

Dias	Controle	Amido	Amido+ Metabissulfito	Amido+ Nanofibra	Amido+ Metabissulfito+ Nanofibra
0	55,8±2,38c	56,4±2,61c	54,1±0,39c	54,9±1,4c	54,5±2,40c
3	52,7±0,44bc	53,9±2,15bc	53,4±2,98bc	55,5±1,8bc	54,0±2,74bc
6	56,3±0,54c	52,7±0,69c	53,6±1,02c	54,1±1,88c	54,4±2,9c
9	56,4±2,46b	50,6±0,87b	47,3±1,03b	55,5±1,3b	48,9±0,71b
12	43,3±4,68a	46,3±5,34a	47,9±0,97a	45,0±0,19a	45,3±1,94 <sup>a</sup>
15	46,3±0,74a	41,1±1,54a	43,6±0,54a	43,6±3,02a	44,7±1,12 <sup>a</sup>

Linhas com letras diferentes diferem entre si análise de variância e teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Fonte: Dados do autor (2016)

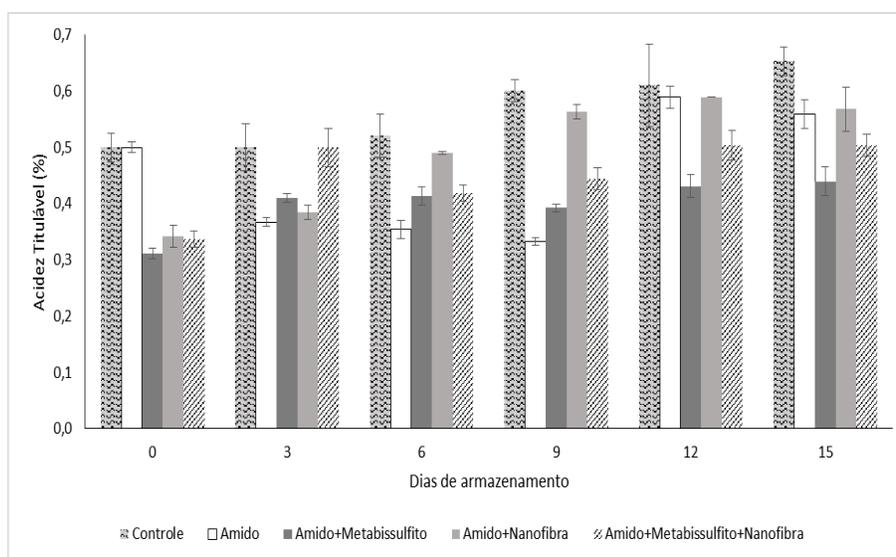
Houve redução nos valores de luminosidade dentre os dias avaliados, para amostra controle houve uma redução de 25% dentre os valores obtidos do dia 0 até o dia 15, indicando o escurecimento da polpa. O escurecimento da região da polpa é favorecido pelo tipo de corte (rodela) aplicado. Os revestimentos tornaram-se efetivos, pois as amostras controle escureceram, quando comparadas à amostra sem revestimento, a partir do avanço durante o período de armazenamento estudado. Desta forma, a cor na região placentária pode ser utilizada como indicativo da perda de qualidade, pois, à medida que um produto apresenta alterações de suas características originais, seja escurecendo, seja adquirindo outra tonalidade, há o comprometimento da sua aparência e, por conseguinte, da sua aceitabilidade pelo mercado consumidor (CHITARRA, 1994).

#### 5.3.4 Acidez titulável

A acidez titulável foi influenciada pelos tratamentos e pelo tempo de armazenamento ( $p < 0,05$ ). Assim, os revestimentos foram efetivos, pois durante o amadurecimento é comum ocorrer um decréscimo acentuado no teor de ácidos orgânicos, uma vez que estão sendo largamente utilizados como substrato no

processo respiratório (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O menor valor obtido foi 0,3 % de ácido cítrico, e o maior foi 0,7 %. Mattiuz, Durigan e Rossi Junior (2003) observaram comportamento semelhante em goiabas ‘Paluma’ e ‘Pedro Sato’. Lima e Durigan (2000), trabalhando com goiabas ‘Pedro Sato’, e Jacomino et al. (2002), com goiabas ‘Kumagai’, observaram leve aumento na AT durante o armazenamento. Os ácidos orgânicos representam um dos principais substratos para os processos respiratórios durante o amadurecimento e de forma geral tendem a diminuir significativamente durante esta fase (TUCKER, 1993). O estresse ocasionado pelo processamento mínimo aumenta a atividade respiratória e pode ter desencadeado o incremento da produção de ácidos, via ciclo de Krebs, no início do armazenamento, sendo consumido a seguir como substrato respiratório. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 12.

Figura 12 – Gráfico de acidez titulável.



Fonte: Dados do autor (2016)

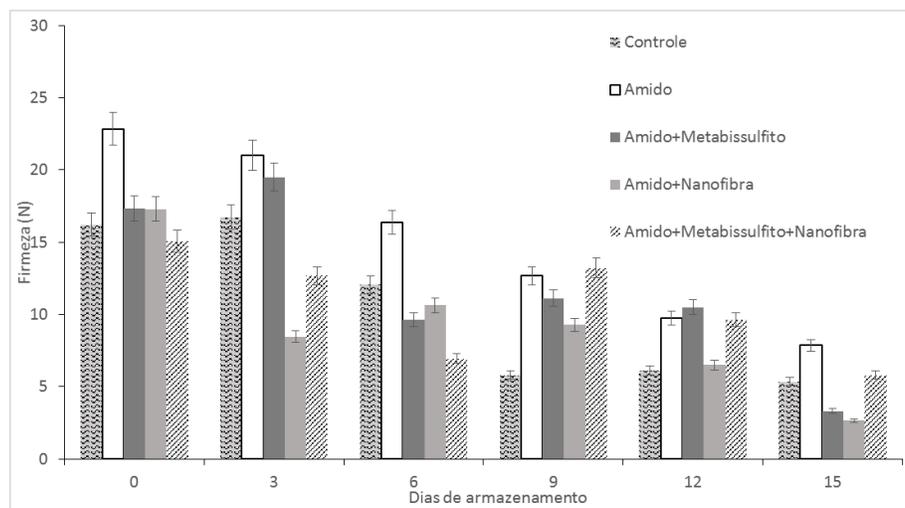
### 5.3.5 Sólidos solúveis

Os teores de sólidos solúveis mantiveram-se estáveis a 10°Brix durante o armazenamento, não sendo influenciados pelos tratamentos, pois inclusive a amostra controle permaneceu estável. Confirmando que os revestimentos não permitiram perda de açúcares, conseqüentemente perda nutricional. Mattiuz, Durigan e Rossi Junior (2003) também observaram manutenção do conteúdo de sólidos solúveis ao longo do armazenamento em goiabas ‘Paluma’ e ‘Pedro Sato’. Segundo Lamikanra, Chen e Banks (2000), esta estabilidade provavelmente está associada às baixas temperaturas. Estes autores também observaram estabilidade nos teores de sólidos solúveis e de pH em melões Cantaloupe minimamente processados e armazenados a 4°C, por 14 dias.

### 5.3.6 Textura

As goiabas minimamente processadas perderam firmeza ao longo do armazenamento. Houve influência significativa ( $p < 0,05$ ) dos revestimentos aplicados e do tempo de armazenamento. Os valores iniciais da firmeza do mesocarpo foram de aproximadamente 20N, e os valores finais, em torno de 3N. De modo geral, o corte em rodela aplicado favoreceu a perda de firmeza e por ser minimamente processada este resultado era esperado. Isto ocorre, pois, tecidos vegetais lesionados apresentam aumento da produção de etileno, que acelera a deterioração e a senescência, promovendo modificações na textura, como observado por Watada, Abe e Yamauchi (1990) em melancias, kiwis e bananas minimamente processadas. A figura 13 a seguir mostra o gráfico obtido para os valores de firmeza.

Figura 13 – Valores de firmeza para goiabas minimamente processadas.



Fonte: Dados do autor (2016)

### 5.3.7 pH

As goiabas minimamente processadas, revestidas e não revestidas, apresentaram valores de pH sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os revestimentos em comparação com a amostra controle. Houve diferença em relação ao tempo de armazenamento. O pH dos alimentos não tem significado decisivo para o balanço ácido-básico do organismo, a não ser que a acidez seja conferida por substâncias não metabolizáveis. Os valores estão apresentados na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Valores de pH.

Dias	Controle	Amido	Amido+ Metabissulfito	Amido+ Nanofibra	Amido+ Metabissulfito+ Nanofibra
0	4,19± 0,02	4,16± 0,01	4,20± 0,01	4,24± 0,00	4,18± 0,01
3	4,06± 0,07	4,19± 0,1	4,08± 0,04	4,13± 0,12	4,05± 0,06
6	4,05± 0,15	4,08± 0,06	4,00± 0,03	3,83± 0,02	4,04± 0,06
9	3,96± 0,05	3,94± 0,06	3,98± 0,05	3,77± 0,02	3,90± 0,06
12	4,09± 0,24	3,95± 0,06	3,95± 0,11	3,70± 0,15	3,97± 0,06
15	4,15± 0,1	4,40± 0,1	4,41± 0,09	3,99± 0,12	4,42± 0,04

Fonte: Dados do autor (2016)

### 5.3.8 Vitamina C

Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os teores de vitamina C para as goiabas revestidas com os filmes biopoliméricos em comparação com as goiabas controle (sem revestimento). Os valores obtidos foram condizentes com Yamashita e Benassi (2000), quando trabalharam com goiabas ‘Pedro Sato’, que também observaram teores médios de ácido ascórbico em torno de  $135,58 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de polpa (TABELA 8). A redução observada ao longo do armazenamento é, provavelmente, um indício de senescência. Segundo Mercado-Silva, Benito-Bautista e Garcia-Velasco (1998), este aumento no teor de AA em goiabas, durante o início do amadurecimento, está associado ao aumento da síntese de intermediários metabólicos, os quais são precursores do AA, com a degradação de polissacarídeos da parede celular que, possivelmente, resultam em aumento da galactose, que é um dos precursores da biossíntese do AA (WHEELER; JONES; SMIRNOFF, 1998). Com o amadurecimento, ocorre a oxidação dos ácidos com consequente redução do teor de AA, indicando a senescência do fruto (TUCKER, 1993). Os revestimentos preservaram os teores de vitamina C.

Tabela 8 – Valores de vitamina C.

Dias	Controle	Amido	Amido+ Metabissulfito	Amido+ Nanofibra	Amido+ Metabissulfito+ Nanofibra
0	79,99	187,92	204,36	116,36	173,11
3	166,77	150,50	186,55	152,01	282,61
6	148,77	165,95	131,54	133,66	120,59
9	171,25	159,64	168,06	136,73	187,48
12	128,41	88,04	132,96	257,17	131,90
15	72,65	311,33	147,98	234,83	201,68

Fonte: Dados do autor (2016)

### 5.3.9 Análises microbiológicas

Os resultados obtidos nas determinações de coliformes das amostras encontraram-se (TABELA 9) de acordo com os padrões microbiológicos estabelecidos pela resolução RDC nº12 de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Apresentando menos que  $5 \times 10^2$  NMP/g de coliformes, indicando que a utilização das Boas Práticas de Fabricação e o processo de sanitização, a que foram submetidas as amostras, foram eficientes. Os benefícios dos cuidados higiênicos e dos processos de sanitização no processamento mínimo de frutas estão de acordo com Teixeira et al. (2001) que também não detectaram a presença de coliformes durante a estocagem dos mamões minimamente processados.

Tabela 9 - Coliformes Termotolerantes à 45°C (NMP/g).

Dias	Controle	Amido	Amido+ Metabissulfito	Amido+ Nanofibra	Amido+ Metabissulfito +Nanofibra
0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
6	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
9	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
12	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
15	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

\*NMP/g: Número Mais Provável por grama da amostra analisada

Fonte: Dados do autor (2016)

## 6 CONCLUSÕES

As goiabas mantiveram suas características físico-químicas praticamente constantes. Os filmes biopoliméricos aplicados apresentaram resultados, de acordo com as caracterizações realizadas, condizentes com a literatura. A inserção de metabissulfito de sódio não alterou as propriedades dos filmes de amido (amido+ metabissulfito e amido+ metabissulfito+ nanofibras). Por outro lado, a inserção de nanofibras de celulose alterou as propriedades dos filmes de amido (amido+ nanofibras e amido+ metabissulfito+ nanofibras). As goiabas bem esterilizadas conservaram bem até o máximo de 12 a 15 dias dependendo do revestimento aplicado. A ação do revestimento de amido aliado às nanofibras de celulose melhorou as qualidades das goiabas minimamente processadas. Os revestimentos aplicados preveniram contra o escurecimento e perda de massa. Além disso, visualmente retarda a deterioração fúngica.



## REFERÊNCIAS

AHVENANINEM, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 7, n. 6, p. 179-187, June 1996.

AHVENAINEN, R. **Novel food packaging techniques**. Cambridge: Abington Hall, 2003. 400 p.

ALDANA, D. S. et al. Antibacterial activity of pectic-based edible films incorporated with Mexican lime essential oil. **Food Control**, Guildford, v. 50, p. 907–912, Apr. 2015.

ALVES, V. D. et al. Effects of glycerol and amylose enrichment on cassava starch films properties. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 3, p. 941-946, Feb. 2007.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D1746-03**: standard test method for transparency of plastic sheeting. Philadelphia: ASTM, 2003. 4 p.

ANDRADE, R. et al. Wettability of gelatin coating formulations containing cellulose nanofibers on banana and eggplant epicarps. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 58, n. 1, p. 158–165, Sept. 2014.

ARGÜELLO-GARCÍA, E. et al. Properties of edible films based on oxidized starch and zein. **International Journal of Polymer Science**, Amsterdam, v. 2014, p. 1–9, Jan. 2014.

ARNON, H. et al. Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: a layer-by-layer approach. **Food Chemistry**, London, v. 166, p. 465–72, Jan. 2015.

ASSIS, O. B. G.; BRITO, D.; FORATO, L. A. **O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 23 p.

ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A.; BRITTO, D. Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 22, n. 160, p. 99-105, abr. 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 16th. ed. Arlington: AOAC, 1995. 1141 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of the association of the agricultural chemists**. Washington: AOAC, 1998. 1094 p.

AZEVEDO, V. M. et al. Propriedades de barreira, mecânicas e ópticas de filmes de concentrado protéico de soro de leite. **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 4, p. 237-247, jul./ago. 2014.

BALDWIN, E. A.; CARRIEDO, M. O. **Edible coatings and films to improve food quality**. Lancaster: Technomic Publishing, 1994. 460 p.

BALDWIN, E. A. Surface treatments and edible coatings in food preservation. In: RAHMAN, M. S. (Ed.). **Handbook of food preservation**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. Cap. 21, p. 477-507.

BASHIR, H. A.; ABU-GOUKH, A. A. Compositional changes during guava fruit ripening. **Food Chemistry**, London, v. 80, n. 4, p. 557-563, Apr. 2003.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BESBES, I.; VILAR, M. R.; BOUFI, S. Nanofibrillated cellulose from Alfa, Eucalyptus and Pine fibers: preparation, characteristics and reinforcing potential. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 86, n. 3, p. 1198-1206, Aug. 2011.

BICALHO, U. O. **Vida útil pós-colheita de mamão submetido a tratamento com cálcio e filme de PVC**. 1998. 145 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

BRACKETT, R. E. Antimicrobial effect of chlorine on *Listeria monocytogenes*. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 50, n. 12, p. 999-1003, Dec. 1987.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 12 de 2 de janeiro de 2001. Padrões de Identidade e Qualidade para alimentos e Bebidas. Padrões

Microbiológicos para Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jan. 2012.

BRECHT, J. K. Phbuzbyysiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 35, n. 1, p. 18-21, Feb. 1995.

BROW, B. I.; WILLS, R. H. B. Post-harvest changes in guava fruit of different maturity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 19, n. 3/4, p. 237-243, Apr. 1983.

BUFALINO, L. **Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da Amazônia**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008. 844 p.

CARVALHO, V. D. Qualidade e conservação pós-colheita de goiabas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, p. 48-54, 1994.

CASARIEGO, A. et al. Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 22, n. 8, p. 1452-1459, Dec. 2008.

CERQUEIRA, T. S. et al. Recobrimento de goiabas com filmes proteicos e de quitosana. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 216-221, 2011.

CHITARRA, M. I. Colheita e pós-colheita de frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 179, p. 8-18, 1994.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 783 p.

COLES, R.; MCDOWELL, D.; KIRWAN, M. J. **Food packaging technology**. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. 346 p.

CORNELL, H. The functionality of wheat starch. In: ELIASSON, A.-C. **Starch in food**: structure, function and application. Boca Raton: CRC Press, 2000. Cap. 7, P. 211-240.

CORRÊA, A. C. et al. Cellulose nanofibers from curaua fibers. **Cellulose**, Bucharest, v. 17, n. 6, p. 1183-1192, Dec. 2010.

COULTATE, T. P. **Manual de química e bioquímica de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 366 p.

DAS, K. et al. Preparation and characterization of cross-linked starch/poly(vinyl alcohol) green films with low moisture absorption. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 49, n. 5, p. 2176–2185, Feb. 2010.

DELVILLE, J.; JOLY, C.; BLIARD, C. Solid state photocrosslinked starch based films: a new family of homogenous modified starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 49, n. 1, p. 71-81, July 2002.

DONALD, A. M. Understanding starch structure and functionality. In: ELIASSON, A. C. **Starch in food: structure, function and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 5, p. 156-184.

DURIGAN, J. F. Colheita, conservação e embalagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 149–158.

EICHHORN, S. J. et al. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 45, n. 1, p. 1-33, Jan. 2008.

EL-NOUR, A. et al. Synthesis and applications of silver nanoparticles. **Arabian Journal of Chemistry**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 135-140, July 2010.

FAKHOURI, F. M.; BATISTA, J.; GROSSO, C. Efeito de coberturas comestíveis aplicadas em goiabas in natura (*Psidium guajava*). I. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis de gelatina, triacetina e ácidos graxos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 145, p. 301-308, 2003.

FECHNER, P. M. et al. Influence of water on molecular and morphological structure of various starches and starch derivatives. **Starch**, Weinheim, v. 57, n. 12, p. 605-615, Dec. 2005.

FENIMAN, C. M. **Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita.** 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTES, L. C. B. et al. Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 872-880, out./dez. 2008.

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

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia de alimentos.** São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.

FUJISAWA, S. et al. Cellulose nanofibrils as templates for the design of poly(l-lactide) nucleating surfaces. **Polymer**, Elmsford, v. 55, n. 13, p. 2937–2942, June 2014.

GODBILLOT, L. et al. Analysis of water binding in starch plasticized films. **Food Chemistry**, London, v. 96, n. 3, p. 380-386, June 2006.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GORRIS, G. M. Prolongation of the shelf-life of perishable food product using biodegradable films and coatings. , London, v. 29, n. 1/2, p. 10-17, 1996.

GUTIÉRREZ, T. J. et al. Physico-chemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**, Elmsford, v. 3, p. 1–8, Mar. 2015.

HONG, K. et al. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 144, p. 172–178, Sept. 2012.

IMBERTY, A. et al. Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch Starke**, Oxford, v. 143, n. 10, p. 375-384, 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos: volume 1**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 1000 p.

JACOMINO, A. P. et al. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

JACOMINO, A. P. et al. Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, p. 401–405, dez. 2003.

KOWALCZYK, D. Biopolymer/candelilla wax emulsion films as carriers of ascorbic acid – a comparative study. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 52, p. 543–553, Jan. 2016.

LAMIKANRA, O.; CHEN, J. C.; BANKS, D. Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processes cantaloupe. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 12, p. 5955-5961, Dec. 2000.

LEITÃO, M. F. Microbiologia de sucos, polpas e produtos ácidos. In: LEITÃO, M. F. (Ed.). **Industrialização de frutas**. Campinas: ITAL, 1988. p. 47-76.

LEON-S, F. E.; ZANINOVIC, V. Vitamin C (Ascorbic acid): new roles, new requirements? **Nutrition Reviews**, New York, v. 52, n. 5, p. 188, Nov. 1993.

LIMA, M. A.; DURIGAN, J. F. Conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ associando-se refrigeração com diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, p. 232-236, 2000.

LIMA, M. A. et al. Post-harvest conservation of guavas using calcium and gibberellic acid together with different plastic films. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 28, p. 31–40, 2003.

LINDSAY, R. C. Química de los alimentos. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Aditivos alimentar**. Zaragoza: Acribia, 1993. p. 709-773.

LI, X. et al. Mechanical, barrier and morphological properties of starch nanocrystals-reinforced pea starch films. **Carbohydrate Polymer**, Amsterdam, v. 121, p. 155-162, May 2015.

LODEIRO, P.; HERRERO, R.; VICENTE, M. E. S. de. The use of protonated Sargassum muticum as biosorbent for cadmium removal in a fixed-bed column. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 137, n. 1, p. 244-253, Sept. 2006.

MAHAJAN, A. S. et al. Reactive iodine species in a semi-polluted environment. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 36, n. 16, p. 1-6, Aug. 2009.

MAIA, L. H.; PORTE, A.; SOUZA, V. F. Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 105-128, 2000.

MALI, S. et al. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 157-164, Jan. 2005.

MATTIUZ, B.; DURIGAN, J. F.; ROSSI JUNIOR, O. D. Processamento mínimo em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato': 2. Avaliação química, sensorial e microbiológica. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 409-413, set./dez. 2003.

MCGUIRRE, R. G.; HALLMAN, G. J. Coating guavas with cellulose or carnaubabased emulsions interferes with postharvest ripening. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 2, p. 294-295, Apr. 1995.

MERCADO-SILVA, E.; BENITO-BAUTISTA, P.; GARCIA-VELASCO, M. A. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p. 143-50, Apr. 1998.

MONDRAGON, G. et al. Bionanocomposites based on gelatin matrix and nanocellulose. **European Polymer Journal**, New York, v. 62, p. 1-9, Nov. 2014.

MOURA, M. R. de et al. Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 92, n. 4, p. 448-453, June 2009.

MÜLLER; C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 72, n. 1, p. 82-87, Apr. 2008.

NEGI, P. S.; HANDA, A. K. Structural deterioration of the produce - the breakdown of cell wall components. In: PALIYAT, G. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables and flowers**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008. p. 162-194.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger principles of biochemistry**. 5. ed. New York: W. H. Freeman, 2008. 1100 p.

NISIDA, A. L. C. Fatores envolvidos na sulfitação/dessulfitação de sucos. **Coletânea ITAL**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 12-20, 1991.

NOORANI, S.; SIMONSEN, J.; ATRE, S. Nano-enabled microtechnology: polysulfone nanocomposites incorporating cellulose nanocrystals. **Cellulose**, Bucharest, v. 14, n. 6, p. 577-584, Dec. 2007.

PAL, P. K. et al. Influence of storage environment, surface coating, and individual shrink wrapping on quality assurance of guava (*Psidium guajava*) fruits. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 59, n. 2, p. 67-72, 2004.

PALIYATH, G. et al. **Postharvest biology and technology of fruit, vegetables, and flowers**. Ames: WileyBlackwell, 2008. 497 p.

PANTASTICO, E. R.; CHATTOPADHYAY, T. K.; SUBRAMANYAM, H. Storage and commercial storage operations. In: PANTASTICO, E. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruit and vegetables**. Westport: AVI, 1975. p. 314-338.

PAVLOVIC, S.; BRANDÃO, P. R. G. Adsorption of starch, amylose, amylopectin and glucose monomer and their effect on the flotation of hematite and quartz. **Minerals Engineering**, Oxford, v. 16, n. 11, p. 1117-1122, Nov. 2003.

PEREIRA, L. M. et al. Vida de prateleira de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 427-433, set./dez. 2003.

PINHEIRO, A. C. et al. Diffusion of bioactive peptides from chitosanbased edible films – effects of temperature and peptides molecular weight. In: WALDRON, K. W.; MOATES, G. K.; FAULDS, C. B. (Ed.). **Total food: sustainability of the agri-food chain**. Cambridge: RSC Publishing, 2010. p. 233-257.

PORTE, A.; MAIA, L. H. Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 105-118, jan./jun. 2001.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 184 p.

ROJAS-GRAU, A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTI, O. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh- cut fruits : a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 20, n. 10, p. 438–447, Oct. 2009.

ROLLE, R. S.; CHISM, G. W. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 10, n. 3, p. 157-177, Aug. 1987.

SAABOR, A. Informação pessoal- frutas e hortaliças: o mercado atual e o fator qualidade. In: SEMINÁRIO ALIMENTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: [s.n.], 2000.

SAFTNER, R. A. et al. Quality measurement of intact and fresh cut slices of Fuji, Granny Smith, Pink Lady, and Gold Rush apples. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, n. 5, p. 317-324, June 2005.

SAMIR, M. A. S.; ALLOIN, F.; DUFRESNE, A. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. **Biomacromolecules**, Washington, v. 6, n. 2, p. 612–626, Jan. 2005.

SANCHEZ, P. S. **Atualização em análises microbiológicas em águas minerais**. São Paulo: [s.n.], 2015. 62 p. 1 Apostila.

SILVA, J. M. C. et al. Use of ionising radiation technology as a method of postharvest conservation of guava. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, Essex, v. 2, n. 2, p. 168-179, 2011.

SIMONET, B. M.; VALCÁRCEL, M. Monitoring nanoparticles in the environment. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 393, n. 1, p. 17-21, Jan. 2009.

SINGH, G. Strategies for improved production in guava. In: KISHUN, R. et al. (Ed.). **Proceeding of 1st international guava symposium**. Lucknow: CISH, 2005. p. 26–39.

SINGH, S. P.; PAL, R. K. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 47, n. 3, p. 296–306, Mar. 2008.

SIQUEIRA, G. B.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Cellulose whiskers versus microfibrils: influence of the nature of the nanoparticle and its surface functionalization on the thermal and mechanical properties of nanocomposites. **Biomacromolecules**, Washington, v. 10, n. 2, p. 425–432, Feb. 2009.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. **Cellulose**, Bucharest, v. 17, n. 3, p. 459-494, June 2010.

SOARES, N. F. F. et al. Antimicrobial edible coating in post-harvest conservation of guava. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, nesp. p. 281–289, out. 2011.

SOARES, R. M. D. **Caracterização parcial de amido em cultivares brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. 127 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

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, jun. 2000.

SOFOS, J. N. Antimicrobial agents. In: MAGA, J. A.; TU, A. T. (Ed.). **Food additive toxicology**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 501-529.

SPENCE, C. et al. Does food color influence taste and flavor perception in humans? **Chemosensory Perception**, Amsterdam, v. 3, n. 1, p. 68–84, Mar. 2010.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados**. Madrid: Paz Montolvo, 1967. 428 p.

SYVERUD, K. et al. Films made of cellulose nanofibrils - surface modification by adsorption of a cationic surfactant and characterisation by computer-assisted electron microscopy. **Journal of Nanoparticle Research**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p. 773-782, Feb. 2010.

SYVERUD, K.; STENIUS, P. Strength and barrier properties of MFC films. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 1, p. 75-78, Feb. 2009.

TAJLA, R. A. et al. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, n. 3, p. 288-295, Feb. 2007.

TEIXEIRA, G. H. A. et al. Processamento mínimo de mamão "Formosa". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 47-50, jan./abr. 2001.

THAKOR, A. S. R. et al. The fate and toxicity of raman-active silica-gold nanoparticles in mice. **Science Translational Medicine**, Washington, v. 3, n. 79, p. 79-33, Apr. 2011.

TIBOLLA, H.; PELISSARI, F. M.; MENEGALLI, F. C. Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 59, n. 2, p. 1311-1318, Dec. 2014.

TONOLI, G. H. D. et al. Cellulose micro/nanofibres from *Eucalyptus* kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 89, n. 1, p. 8-88, June 2012.

TUCKER, G. A. Introduction. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Ed.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. Cap. 1, p. 2-51.

VAN SOEST, J. J. G. et al. Short- range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier- transform IR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 279, p. 201-214, Dec. 1995.

VERMEIREN, L. et al. Development in the active packaging of food. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 10, n. 3, p. 77-86, Mar. 1999.

WANG, X. et al. Thermal, mechanical, and degradation properties of nanocomposites prepared using lignin-cellulose nanofibers and poly (lactic acid). **BioResources**, Kurashiki, v. 9, n. 2, p. 3211–3224, 2014.

WANG, Y.; CHEN, L. Cellulose nanowhiskers and fiber alignment greatly improve mechanical properties of electrospun prolamin protein fibers. **ACS Applied Materials & Interfaces**, Washington, v. 6, n. 3, p. 1709–18, Feb. 2014.

WATADA, A.; ABE, K.; YAMAUCHI, N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 20, p. 116-122, 1990.

WERNER, E. T. et al. Efeito do cloreto de cálcio na pós-colheita de goiaba Cor-tibel. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 511–518, 2009.

WHEELER, G. L.; JONES, M. A.; SMIRNOFF, N. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. **Nature**, London, v. 393, n. 6683, p. 365-369, May 1998.

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Carbohidratos. In: FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. p. 81-156.

WIJNHOFEN, S. W. P. et al. Nano-silver - a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. **Nanotoxicology**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 109-138, July 2009.

WILEY, R. C. Introduction to minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 1-14.

WOLKERS, W. F. et al. A fourier-transform infrared spectroscopy study of sugar glasses. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 339, n. 6, p. 1077-1085, Apr. 2004.

WURZBURG, O. B. Cross – linking starches. In: WURZBURG, O. B. **Modified starches: properties and uses**. Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 41-53.

YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Influência da embalagem de atmosfera modificada e do tratamento com cálcio na cinética de degradação de ácido

ascórbico e perda de massa em goiabas (*Psidium guajava* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 27-31, 2000.

YAMASHITA, F. et al. Embalagem ativa para frutos de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 95-100, 2006.

YANO, H. et al. Optically transparent composites reinforced with networks of bacterial nanofibers. **Advanced Materials**, Weinheim, v. 17, n. 2, p. 153–155, Jan. 2005.