



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CAMILA CAMPOS FÉLIX

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS ATIVAS
BIODEGRADÁVEIS PARA TOMATE CEREJA
(*LYCOPERSICON ESCULENTUM* VAR. *CERASIFORME*)
*IN NATURA***

Londrina
2017

CAMILA CAMPOS FÉLIX

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS ATIVAS
BIODEGRADÁVEIS PARA TOMATE CEREJA
(*LYCOPERSICON ESCULENTUM* VAR. *CERASIFORME*)
*IN NATURA***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Yamashita

Co-Orientadora: Dra. Ana Paula Bilck

Londrina
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Félix, Camila Campos.

Desenvolvimento de embalagens ativas biodegradáveis para tomate cereja (*Solanum Lycopersicum* var. *cerasiforme*) in natura / Camila Campos Félix. - Londrina, 2017.
62 f. : il.

Orientador: Fábio Yamashita.

Coorientador: Ana Paula Bilck.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Alimentos - Embalagens - Tese. 2. Filmes biodegradáveis - Propriedades mecânicas - Tese. 3. Revestimentos para comestíveis - Tese. 4. Plásticos nas embalagens - Tese. I. Yamashita, Fábio. II. Bilck, Ana Paula. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. IV. Título.

CAMILA CAMPOS FÉLIX

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS ATIVAS
BIODEGRADÁVEIS PARA TOMATE CEREJA (*LYCOPERSICON
ESCULENTUM* VAR. CERASIFORME)
*IN NATURA***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciência de Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Fábio Yamashita
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Mônica Regina da Silva Scapim
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Profa. Dra. Giselle de Assis Jacometti
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Londrina, 24 de abril de 2017.

Aos meus pais Geraldo e Lourdes,
que dignamente me apresentaram à importância da família,
o caminho da honestidade e persistência.
Pelo apoio incondicional em todos os momentos,
principalmente nos de incerteza,
muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Yamashita, pela paciência na orientação, confiança e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

À co-orientadora Dr^a Ana Paula Bilck, pelo convívio, suporte e apoio dados durante a realização do trabalho, pela compreensão e amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Ao grupo de pesquisa Polibiotec, especialmente à Mônica Reis, que auxiliou a realização dos experimentos e à Thamires Peixoto pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos professores e funcionários do Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela ajuda na formação e realização do trabalho.

Aos meus pais Geraldo e Lourdes, meus irmãos Patrícia e Matheus e meu sobrinho Lucas que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida.

À Deus, por me proporcionar essa conquista.

FÉLIX, Camila Campos. **Desenvolvimento de embalagens ativas biodegradáveis para tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme) *in natura***. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

RESUMO

Tomates do grupo cereja (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme) são caracterizados, principalmente, pelo seu excelente sabor e sua coloração atrativa, apresentam baixo valor calórico e alto conteúdo de vitaminas e minerais. O crescente interesse da população em consumir alimentos frescos, aliado a preocupação ambiental, reduzindo o descarte de lixo plástico não biodegradável, tem incentivado pesquisas no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis provindas de fontes renováveis, em particular o amido. O trabalho teve como objetivo desenvolver embalagens ativas biodegradáveis para tomates cereja *in natura* visando o aumento da vida de prateleira do produto armazenado sob refrigeração. Ao longo da armazenagem os tomates foram avaliados em termos de perda de massa, teor de sólidos solúveis, índice de maturação, acidez titulável, textura, cor e contagem de bolores e leveduras. O estudo mostrou que a incorporação do sorbato de potássio, como antimicrobiano, não comprometeu as características do material de embalagem. O sorbato de potássio mostrou-se eficiente no controle de bolores e leveduras, após 30 dias os frutos embalados no filme controle apresentaram contagem de 3,6 log UFC/g e os frutos embalados nos filmes que continham 2 e 4% do sorbato incorporados apresentaram 3,3 e 3,1 ($\pm 0,04$) log UFC/g, respectivamente. Filmes biodegradáveis produzidos a partir de blendas de amido, poli (adipato co-tereftalato de butileno), glicerol e sorbato de potássio apresentam propriedades adequadas para utilização como embalagem para tomate cereja *in natura*. Embalagens contendo sorbato de potássio como agente antimicrobiano reduzem a contagem de bolores e leveduras de tomates cereja, caracterizando-os como embalagens ativas.

Palavras-chave: Pós-colheita. Hortaliças. Materiais biodegradáveis. Amido.

FÉLIX, Camila Campos. **Development of biodegradable active packaging for cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) *in natura***. 2017. Dissertation (Master's degree in Food Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

ABSTRACT

Cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) are mainly characterized by their excellent taste and attractive coloring, low-calorie content and high in vitamins and mineral content. The growing interest of the population in consuming fresh food, combined with environmental concern, reducing the disposal of non-biodegradable plastic waste, has encouraged research to develop biodegradable packaging from renewable sources, particularly starch. The objective of the work was to develop biodegradable active packaging for cherry tomatoes *in natura* aiming to increase the shelf life of the product stored under refrigeration. During storage, tomatoes were evaluated in terms of weight loss, soluble solids content, maturation index, titratable acidity, texture, color and counting of molds and yeasts. The study showed that the incorporation of potassium sorbate, as antimicrobial, did not compromise the characteristics of the packaging material. Potassium sorbate showed to be efficient to control molds and yeast growth, after 30 days the fruits packaged with control film presented 3.6 log CFU/g and the fruits packaged with films containing 2 and 4% of sorbate presented 3.3 and 3.1 log CFU/g, respectively. Biodegradable films produced from starch blends, poly (butylenes adipate co-terephthalate), glycerol and potassium sorbate have properties suitable for use as packaging for cherry tomatoes *in natura*. Packaging containing potassium sorbate as an antimicrobial agent reduces the count of molds and yeasts of cherry tomatoes, characterizing them as active packaging.

Keywords: Postharvest. Vegetables. Biodegradable materials. Starch.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Estrutura da amilose	22
Figura 2	– Estrutura da amilopectina	23
Figura 3	– Estrutura do granulo de amido	24
Figura 4	– Estrutura química do poli (adipato co-tereftalato de butileno), “x” representa a cadeia alifática e “y” a cadeia aromática.....	26
Figura 5	– Esquema representativo de uma extrusora	27
Figura 6	– Esquema do processo de extrusão de filmes no sistema „blow”	29
Figura 7	– Resistência máxima à tração dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).....	37
Figura 8	– Elongação na ruptura dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	38
Figura 9	– Módulo de Young dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	39
Figura 10	– Perda de massa dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	42
Figura 11	– Teor de sólidos solúveis dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).....	44
Figura 12	– Acidez titulável dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	45
Figura 13	– Índice de maturação dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).....	46

Figura 14 –	Firmeza dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	47
Figura 15 –	Evolução da coloração dos tomates avaliados com 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 dias de armazenamento (a, b, c, d, e, f, g e h, respectivamente) a 12 °C.....	50
Figura 16 –	Relação (a*/b*) da coloração dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano – SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	50
Figura 17 –	Contagem de bolores e leveduras dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano – SP0, SP2 e SP4, respectivamente)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Exemplos de sistemas de embalagens ativas atualmente conhecidas.....	20
Tabela 2 –	Formulações das embalagens ativas biodegradáveis com sorbato de potássio.....	30
Tabela 3 –	Opacidade aparente e Permeabilidade ao vapor de água dos filmes controle, com 2 e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).....	40
Tabela 4 –	Parâmetros da equação de cinética de primeira ordem da firmeza dos tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 em função do tempo de armazenagem a 12°C.....	48
Tabela 5 –	Parâmetros da equação de cinética de primeira ordem da relação a^*/b^* dos tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 em função do tempo de armazenagem a 12°C.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	TOMATE	15
2.2	Filmes biodegradáveis	17
2.2.1	Embalagens ativas	19
2.2.2	Amido	22
2.2.3	Blendas de amido e polímeros sintéticos	25
2.2.4	Extrusão	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	MATERIAIS	30
3.1.1	Filmes incorporados de sorbato de potássio	30
3.1.2	Tomates cereja	30
3.2	MÉTODOS	31
3.2.1	Produção dos filmes	31
3.2.2	Produção das embalagens	32
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	32
3.3.1	Propriedades mecânicas	32
3.3.2	Opacidade aparente	33
3.3.3	Permeabilidade ao vapor de água	33
3.4	ANÁLISE DOS FRUTOS	34
3.4.1	Perda de massa	34
3.4.2	Sólidos solúveis	34
3.4.3	Acidez titulável	34
3.4.4	Índice de maturação	35
3.4.5	Firmeza	35
3.4.6	Cor	35
3.4.7	Contagem de bolores e leveduras	36
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	36

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES UTILIZADOS PARA EMBALAGEM DE TOMATE CEREJA	37
4.1.1	Propriedades mecânicas	37
4.1.2	Opacidade aparente	40
4.1.3	Permeabilidade ao vapor de água	40
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FRUTOS	41
4.2.1	Perda de massa	41
4.2.2	Teor de sólidos solúveis	43
4.2.3	Acidez titulável	44
4.2.4	Índice de maturação	46
4.2.5	Firmeza	47
4.2.6	Cor	49
4.2.7	Contagem de bolores e leveduras	51
5	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Tomates cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) são comercializados como uma alternativa para o tomate salada; seus frutos são altamente perecíveis e possuem uma casca fina, na forma de película, tornando-os suscetíveis a danos mecânicos, necessitando de embalagens adequadas para sua proteção. Quando maduros, os tomates possuem uma vida de prateleira média de uma semana, com perdas variando entre 25% e 50%, enquanto os frutos parcialmente maduros apresentam uma vida útil de até duas semanas, com 20% a 40% de perdas pós-colheita (OLIVEIRA et al., 2011).

Com o intuito de preservar ao máximo as características dos produtos frescos, nos últimos anos vêm aumentando as combinações de diversas técnicas de tratamento pós-colheita, sendo que muitas destas técnicas são aliadas às embalagens, as quais possuem funções de preservação e proteção para o produto embalado, aumentando a vida útil desses alimentos.

Os plásticos sintéticos são amplamente utilizados como materiais de embalagens, principalmente pela disponibilidade, baixo custo e características funcionais, destacando-se as boas propriedades mecânicas e de barreira aos gases e compostos aromáticos, e a facilidade de selagem térmica. No entanto, o uso crescente gera preocupação devido a problemas de contaminação ambiental decorrentes do descarte, uma vez que não são biodegradáveis e sua reciclagem consome grande quantidade de energia.

Por isso, nos últimos anos tem aumentado o desenvolvimento de materiais biodegradáveis produzidos com polímeros provenientes de fontes renováveis, principalmente de amido, devido ao seu baixo custo e abundância. Porém a produção de embalagens feitas exclusivamente de amido é inviável, pois suas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água são inadequadas para produção em escala comercial, sendo necessário fazer blendas do amido com outros polímeros biodegradáveis, como o poli(adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT) (REDDY e YANG, 2010; MARENCO, VERCELHEZE, MALI, 2013).

Em resposta às mudanças no consumo e tendências de mercado torna-se cada vez mais comum o desenvolvimento de materiais, que além da biodegradabilidade, destinam-se a garantir a manutenção da qualidade e da segurança do produto fresco, conhecidas como embalagens ativas (GARCÍA-GARCÍA et al., 2013). Estas

interagem de maneira intencional com os alimentos, alterando suas condições e aumentando a vida de prateleira do produto em relação às embalagens convencionais.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver embalagens ativas biodegradáveis para tomates cereja *in natura*, visando o aumento da vida de prateleira do produto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TOMATE

O tomate é uma importante *commodity* mundial e ocupa lugar de destaque na dieta humana, sendo um dos vegetais mais consumidos, tanto na forma *in natura*, como na forma industrializada (BORGUINI, 2006; OLIVEIRA et al., 2011). Ele está disponível durante todo o ano na maioria dos países tropicais, com picos sazonais nos meses de junho a outubro. Cerca de 130 milhões de toneladas de tomate são produzidas anualmente no mundo (BENHABLES et al., 2013).

Os principais países produtores de tomate são Estados Unidos, Itália, Turquia, Egito, Espanha, Portugal, Rússia e o Brasil, que é o oitavo maior produtor com cerca de 63 mil hectares cultivados e produção que atinge 3,5 milhões de toneladas, o que significa uma média de 56 t/ha ou seja, o dobro da média da produtividade mundial, que chega a 27 t/ha. Embora cultivado em todos os estados em maior ou menor escala, os principais produtores no Brasil são Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Rio de Janeiro (DAMASCENO et al., 2003; MACHADO-NETO, 2014). Na América do Sul, o país lidera a produção de tomate para processamento industrial, sendo o maior mercado consumidor de seus derivados industrializados (MELO, VILELA, 2005).

Dentre as variedades de tomates, destaca-se o tipo cereja, o qual possui grande popularidade em todo o mundo. Atualmente, existe uma crescente demanda por estes frutos (mini tomates) devido à grande aceitação pelos consumidores e um crescente interesse por parte dos agricultores devido aos compensadores valores de mercado. No Brasil, sua produção e comercialização têm sido impulsionadas devido às características favoráveis dos frutos, o que inclui o seu elevado teor de sólidos solúveis e sabor agradável. As diferentes tonalidades de vermelho e amarelo dos frutos de algumas linhagens são um atrativo extra para os consumidores (GUILHERME et al., 2014; SILVA et al., 2011; OPIYO, YING, 2005; LIMA et al., 2009; HEREDIA, BARRERA, ANDRÉS, 2007).

Segundo Tosati (2013), os tomates cereja são compostos de 93 a 97% de água, de 5 a 7% de sólidos solúveis, sendo 65% açúcares (frutose e sacarose) que se concentram em maior quantidade na fase final de maturação. Também possuem altos teores de carotenoides (licopeno e β -caroteno), ácido ascórbico (vitamina C) e compostos fenólicos; durante sua maturação os pigmentos verdes de clorofila são

degradados e os carotenoides são sintetizados. O tomate é uma das fontes predominantes de licopeno na dieta da população brasileira, substância responsável pela sua coloração vermelha, no qual o consumo é recomendado para a prevenção de vários tipos de câncer e doenças cardiovasculares (ANDREUCETTI, FERREIRA, TAVARES, 2005; ATHMASELVI, SUMITHA, REVATHY, 2012; BORGUINI et al., 2006).

Os frutos são colhidos em diferentes estágios de maturação (cores), de verde para vermelho maduro, em função das exigências do mercado e dos consumidores (OPIYO, YING, 2005). Considerado um produto altamente perecível após a colheita, pela fragilidade de seus tecidos e pela manutenção de sua atividade metabólica, o tomate torna-se um sério problema de armazenamento para os comerciantes. O amadurecimento do fruto pode ser caracterizado por alterações na cor, estrutura da parede celular, metabolismo de carboidratos e síntese de compostos voláteis. Um dos primeiros sinais do amadurecimento é o aumento na taxa de produção de etileno associado à elevação da respiração climatérica. O etileno induz e coordena as alterações fisiológicas do amadurecimento do fruto (KANTOLA, HELÉN, 2001; KRAMMES et al., 2003; MOURA et al., 2005).

Atualmente, as principais formas empregadas na manutenção da qualidade de frutas e hortaliças estão relacionadas ao uso de embalagens poliméricas, armazenamento em ambientes refrigerados, emprego de sanificantes, aplicação de atmosfera modificada e técnicas de irradiação, muitas das quais estão baseadas na diminuição e/ou controle da taxa respiratória (DAMASCENO et al., 2003; RITA et al., 2011).

Gómez et al. (2009) estudaram a mudança estrutural da composição química e da atividade antioxidante de tomate cereja armazenado a 6 e 20 °C, por 27 dias. Neste estudo o armazenamento a 6 °C causou diminuição na produção de ácidos orgânicos e inibição na produção total dos carotenoides e licopeno, devido à desordem fisiológica causada pelo frio.

Em estudo realizado com tomate armazenado a 10 e 20 °C por um período de 20 dias, LEÓN-SÁNCHEZ et al. (2009) mostraram que os frutos armazenados a 10 °C não apresentaram mudanças na firmeza e exibiram desaceleração da atividade enzimática.

No trabalho realizado por Vunnam et al. (2012) com tomates cereja, os autores compararam as taxas de respiração da amostra controle, atmosfera

modificada, tratamento ultravioleta (UV) e atmosfera modificada + UV. As amostras tratadas somente com atmosfera modificada apresentaram menor taxa de respiração quando comparadas com as demais tecnologias aplicadas.

2.2 FILMES BIODEGRADÁVEIS

A capacidade do planeta de absorver e transformar resíduos originários da vida moderna parecia ser inesgotável. Porém, uma vez não disposto de maneira adequada, o lixo torna-se um grave problema sanitário e ambiental. Embalagens convencionais são grandes contribuintes para a produção de lixo no Brasil, o qual produz cerca de 78 milhões de toneladas de lixo por ano, dos quais somente 3% são reciclados (LAROTONDA et al., 2004; VALENTE, CORNELIO e BIANQUINI, 2016).

Muito utilizado como matéria-prima de embalagens, o plástico, devido à sua durabilidade, versatilidade de aplicações e preço, é um excelente material para vários segmentos industriais. São obtidos a partir de polímeros sintéticos derivados de petróleo e podem levar muitos anos para se degradar, devido à alta massa molecular, propriedades hidrofóbicas, por serem inertes face aos microrganismos e possuírem alta estabilidade química.

Através de recentes políticas de conscientização ambiental, a população pode ver o quão grande são os danos que o lixo plástico de origem sintética pode causar ao ambiente, conseqüentemente vários países já reconheceram a necessidade de reduzir a quantidade desses materiais de difícil degradação, desempenhando esforços nas pesquisas, no sentido de encontrar alternativas ecologicamente viáveis, proporcionando um desenvolvimento sustentável (FARIAS et al., 2012).

Uma das soluções encontradas para a substituição parcial dos materiais plásticos derivados do petróleo é o desenvolvimento de filmes e embalagens biodegradáveis a partir de polímeros provenientes de fontes renováveis. Os filmes biodegradáveis compõem parte importante do cenário de pesquisa nacional e internacional, com trabalhos importantes quanto à caracterização, formulação e aplicação destes materiais, ganhando cada vez mais relevância como alternativa de futuro face aos polímeros sintéticos (FARIA, VERCELHEZE, MALI, 2012; MARENGO, VERCELHEZE, MALI, 2013; SOUZA, 2008).

A biodegradação é um processo natural e complexo onde compostos orgânicos, pelo intermédio de mecanismos bioquímicos, são convertidos em compostos mineralizados simples e, então, redistribuídos no meio ambiente, através

do ciclo elementar, tal como o do carbono, nitrogênio e enxofre. Em síntese, a biodegradação de um polímero é o processo intrínseco pelo qual microrganismos e suas enzimas consomem este polímero como fonte de nutrientes, em condições normais de umidade, temperatura e pressão; os polímeros melhor adaptados à biodegradação completa são os naturais, aqueles hidrolisáveis a CO_2 e H_2O , ou a CH_4 e os polímeros sintéticos que possuam estruturas próximas aos naturais. Uma vantagem adicional desses materiais é que durante a biodegradação ou desintegração, podem atuar como fertilizantes e condicionadores de solo (THARANATHAN, 2003).

A formulação de materiais biodegradáveis implica no uso de ao menos um componente capaz de formar uma matriz continua e coesa sob a forma cristalina ou amorfa. Os principais materiais naturais utilizados para elaboração de filmes são proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas, amido e outros polissacarídeos (FARIAS et al., 2012).

Filmes confeccionados exclusivamente por polímeros naturais possuem algumas características indesejáveis, como, por exemplo, os filmes de amido que são pouco flexíveis, quebradiços e apresentam dificuldade de adequação aos processamentos convencionais para a produção de embalagem. Assim torna-se necessário o uso da combinação de tais polímeros com outros materiais, agentes plastificantes e aditivos (SHIMAZU, MALI, GROSSMANN, 2007; THARANATHAN, 2003).

Em filmes de amido os plastificantes dificultam a interação entre as cadeias de amilose e amilopectina, diminuindo a temperatura de transição vítrea (T_g) e tornando o material menos quebradiço, mas, em contrapartida, se o plastificante utilizado for higroscópico o filme apresentará maior permeabilidade ao vapor de água (MALI et al., 2005). Os plastificantes mais indicados para esses filmes são os polióis, como o glicerol e o sorbitol. O glicerol pode ser encontrado em todos os óleos e gorduras de origem animal e vegetal, ligado com ácidos graxos tais como o ácido esteárico, oleico, palmítico e láurico para formar a molécula de triacilglicerol.

Talja et al. (2008) estudaram o efeito da incorporação de polióis (glicerol, sorbitol e xilitol) em concentrações de 20 a 50%, sobre propriedades físicas e mecânicas de filmes à base de amido de batata armazenados em diferentes umidades relativas (33, 54 e 76%). Os autores observaram uma diminuição da resistência à tração e aumento na porcentagem de alongação com o aumento da

concentração dos polióis nos filmes, sendo esse efeito intensificado com a elevação da umidade relativa.

Para utilização como embalagens de frutas e hortaliças *in natura*, os materiais biodegradáveis devem possuir características específicas, tais como permeabilidade adequada aos gases visando reduzir a taxa de respiração do produto. Também devem apresentar boas propriedades mecânicas, além de permitirem a incorporação de aditivos (flavorizantes, antioxidantes, agentes antimicrobianos, absorvedores de etileno etc.) (SOUZA, 2008; KADER, ZARGORY, KERBEL, 1989).

2.2.1 EMBALAGENS ATIVAS

O nível de exigência dos consumidores quanto à qualidade alimentar tem aumentado e há uma procura maior por produtos prontos para o consumo, em porções individuais, que se mantenham frescos, atraentes e sejam microbiologicamente seguros durante um longo tempo. Por isso, as embalagens tradicionais planejadas para proteger o produto sem interagir com o alimento acondicionado, as quais são barreiras inertes entre o alimento e o ambiente são muitas vezes ineficientes (HAUSER, WUNDERLICH, 2011; AZEREDO, FARIA, AZEREDO, 2000).

A embalagem ativa combina avanços em tecnologia e segurança de alimentos, embalagens e materiais em um esforço para proporcionar certa interação entre a embalagem, o produto e o meio ambiente para melhor atender às demandas dos consumidores por alimentos mais frescos e seguros (SCANNEL et al., 2000; SUPPAKUL et al., 2003).

A liberação de aditivos por embalagens ativas aumenta a segurança do consumidor, já que esses compostos, ao invés de diretamente adicionados ao alimento, são liberados controladamente; com isso, estão presentes em menores quantidades e apenas onde sua presença é requerida, a saber, na superfície do produto, onde a maior parte das reações de deterioração ocorre (MORAES et al., 2007).

Algumas concepções de embalagens ativas utilizam antimicrobianos, absorvedores de oxigênio e de etileno, liberadores de CO₂ e enzimas imobilizadas em suportes poliméricos. Alguns exemplos de sistemas de embalagens ativas atualmente conhecidas e modo de ação são apresentados na Tabela 1 (MORAES et al., 2007; OZDEMIR, FLOROS, 2004).

A tecnologia de embalagens com atividades antimicrobianas baseia-se no fato de que, na maioria dos alimentos sólidos e semissólidos, o crescimento microbiano é superficial, daí um maior contato entre o produto e o agente antimicrobiano. Vários compostos naturais e sintéticos têm tido seu potencial antimicrobiano analisado dentro deste conceito, a exemplo de íons metálicos, ácidos orgânicos, bactericidas e fungicidas, como os benzoatos e sorbatos (OLIVEIRA, OLIVEIRA, 2004).

A deterioração por microrganismos é uma das principais causas de perda dos alimentos. Portanto, o controle do crescimento desses microrganismos se faz necessário para que os alimentos mantenham a qualidade, aumentando assim a vida de prateleira do produto e a rentabilidade da indústria.

Os conservadores são substâncias químicas capazes de inibir ou retardar o crescimento microbiano, não sendo capazes, portanto, de reduzir a contagem dos microrganismos, eles apenas interrompem quimicamente o processo de multiplicação celular dos mesmos.

Tabela 1 – Exemplos de sistemas de embalagens ativas atualmente conhecidas.

Tipo de embalagem ativa	Substância utilizada e modo de ação
Absorvedora de oxigênio	Sistemas enzimáticos (glucose-oxidase, etanol-oxidase); sistemas químicos (óxido de ferro em pó, sulfato de sal de cobre, entre outros).
Absorvedora/liberadora de dióxido de carbono (CO ₂)	Hidróxido de ferro-cálcio.
Absorvedora de umidade	Sílica gel, álcool polivinílico, terra diatomácea.
Absorvedora de etileno	Carvão ativado, dióxido de silício em pó, zeólitas, ozônio.
Liberadora de etanol	Etanol encapsulado.
Emissora de antimicrobiano	Sorbatos, benzoatos, propionatos, etanol, ozônio, peróxido, dióxido de enxofre, antibióticos.
Liberadora de antioxidante	BHT, BHA, TBHQ, ácido ascórbico, tocoferol.
Absorvedora de aroma	Bicarbonato de sódio, carvão ativo.
Absorvedora/reguladora de luz	Agentes bloqueadores de UV, hidroxibenzofenona.
Monitoradoras	Indicadores tempo/temperatura.
Controladoras de temperatura	Plásticos microperfurados.
Permeabilidade de gases	Superfície tratada, filmes perfurados ou microporosos.

Fonte: Adaptado de OZDEMIR e FLOROS (2004).

Não existe um agente antimicrobiano capaz de cumprir todos os requisitos para a conservação de alimentos. Dentre os conservantes utilizados, os ácidos orgânicos merecem destaque por possuírem maior solubilidade, baixa interferência no sabor e baixo nível de toxicidade. O ácido sórbico ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCOOH}$) e seus sais de cálcio, sódio e potássio são empregados como conservantes em alimentos, sendo especialmente eficientes contra bolores e leveduras (BAIRD-PARKER, 1980). A ação antimicrobiana do ácido sórbico e seus sais parece ser oriunda da incapacidade dos bolores e leveduras de metabolizar sistemas de dieno α -insaturados de sua cadeia alifática (LINDSAY, 2010).

O ácido sórbico ocorre naturalmente em frutas e hortaliças. Assim, como o ácido benzoico, o ácido sórbico e os sorbatos apresentam atividade reduzida em pH mais elevado; porém seu limite de atividade é considerado alto, podendo agir em pH entre 6,0 e 6,5, sendo sua forma dissociada a que apresenta ação contra o desenvolvimento de microrganismos. Segundo a ANVISA (2013), frutas *in natura*, embaladas ou com tratamento de superfície podem conter no máximo 0,1 g de ácido sórbico ou sorbatos a cada 100 g de produto.

Muitos agentes antimicrobianos são incorporados em concentrações entre 0,1-5% m/m do material de embalagem, em especial de filmes. Esses podem ser incorporados em polímeros no estado fundido ou por mistura solvente. Métodos de processamento térmico de polímeros tais como extrusão e moldagem por injeção, podem ser usados como estabilizantes de antimicrobianos (APPENDINI, HOTCHKISS, 2002). Devido a baixa solubilidade da forma livre do ácido sórbico, este conservante é introduzido à formulação na forma de sais de sódio, potássio e cálcio, sempre atentando ao fato de se evitar a precipitação do ácido livre em condições de baixos valores de pH.

Endo et al. (2008) avaliaram o uso de filmes ativos (materiais celulósicos incorporados de ácido cítrico, monoclórato de *L*-cisteína, ácido sórbico e mistura destes compostos) na conservação de batatas minimamente processadas. Os bolores e leveduras apresentaram, ao 3º dia de armazenamento, contagens médias de 3,09 e 2,89 ciclos logarítmicos em amostras intercaladas com filmes de ácido sórbico e filmes incorporados com mistura de compostos, respectivamente. Estes valores foram ligeiramente inferiores aos obtidos para as amostras sem filme (3,82 ciclos log) indicando pequeno efeito inibitório do ácido sórbico, que é específico contra diversos fungos. Esta diferença inicial desapareceu durante o

armazenamento, com todos os tratamentos apresentando contagens similares ao final da estocagem.

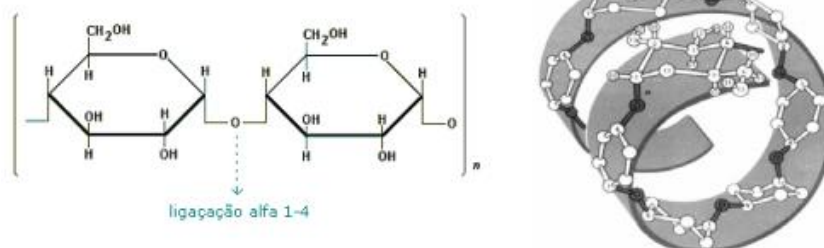
Rita et al. (2011) estudaram a atividade antimicrobiana de biofilmes de fécula de batata, glicerol e óleos essenciais na conservação pós-colheita de tomate rasteiro, armazenados em temperatura ambiente durante 12 dias. Os frutos cobertos com biofilmes com adição da combinação de óleos de sálvia e manjerona, apresentaram contagem de microrganismos mesófilos aeróbios totais dentro do limite aceitável de 10^6 UFC/g até o 7º dia, e mostraram maior eficiência na manutenção da concentração dos 473 compostos fenólicos, promovendo aumento da vida de prateleira durante o armazenamento.

2.2.2 AMIDO

Ao contrário dos polímeros sintéticos, o amido é obtido a partir de fontes renováveis, sendo um polissacarídeo de reserva dos vegetais e está armazenado sob a forma de grânulos, os quais possuem tamanhos e formas, prescritos pelo sistema biossintético de cada fonte botânica. Seus grânulos são formados por dois polímeros, a amilose e a amilopectina, que apresentam funcionalidades e estruturas distintas. Em geral, o polímero linear, amilose, compõe aproximadamente 20% do total, em base úmida, e o polímero ramificado, amilopectina, 80%.

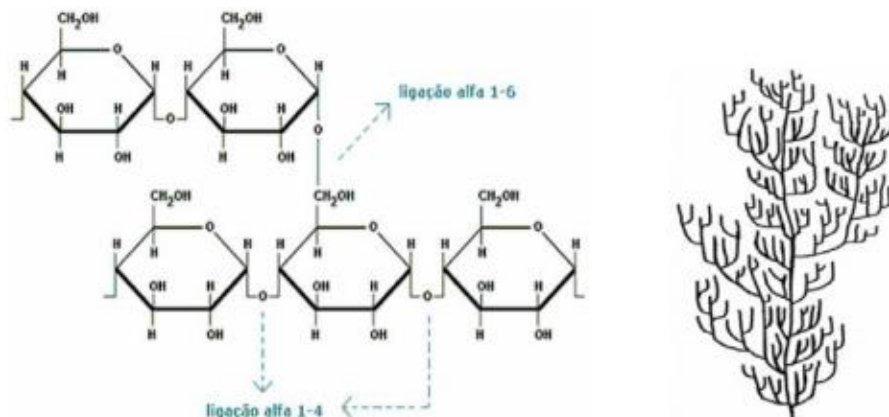
A estrutura da amilose é formada por unidades de D-glicose, ligadas entre si por ligações α 1-4, e possui massa molecular de aproximadamente 105 a 106 g/mol, é predominantemente linear, mas pode apresentar um pequeno número de ramificações (Figura 1). A sequência de ligações tipo α faz com que este polímero assumira formato de uma hélice oca, onde o interior apresenta forte caráter hidrofóbico e a parte externa expõe numerosos grupos hidroxilas (HILL, LEDWARD, MITCHELL, 1998).

Figura 1 – Estrutura da amilose.



Fonte: MAIA, PORTE, SOUZA (2000).

Figura 2 – Estrutura da amilopectina.



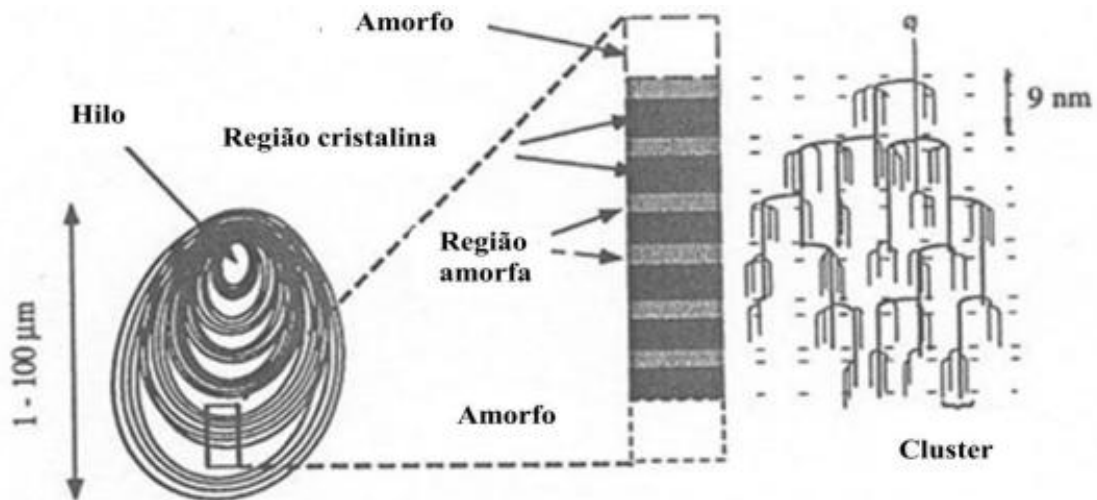
Fonte: MAIA, PORTE, SOUZA (2000).

A amilopectina é um polímero onde as unidades de D-glicose também são ligadas por ligações α 1-4, mas apresenta ramificações laterais ligadas à cadeia principal por ligações α 1-6, possui peso molecular em torno de 106 a 109 Da (Figura 2). A parte linear desta molécula também forma uma estrutura helicoidal, estabilizadas por pontes de hidrogênio entre grupamentos hidroxila, as ramificações ficam expostas na parte externa, formando uma estrutura arborescente (HILL, LEDWARD, MITCHELL, 1998).

Em cada extremidade da cadeia destes polímeros ocorre uma unidade terminal de glicose, com uma hidroxila primária e duas secundárias. Nos grupamentos finais, ocorre aldeído redutor na forma de um hemiacetal interno, que é denominado final redutor da molécula. A extremidade oposta ou final não-redutor apresenta uma unidade de glicose contendo uma hidroxila primária e três secundárias.

Durante a formação do amido, a amilose e amilopectina são depositadas em camadas no interior do grânulo. Quando as porções lineares dessas moléculas estão paralelas, elas se associam, por ligações de hidrogênio resultando em regiões cristalinas ou micelares, radialmente orientadas dentro do grânulo. As áreas entre as micelas, onde pouca ou nenhuma associação é possível, são conhecidas como regiões amorfas do grânulo e são mais acessíveis à água. A disposição destas regiões cristalinas e amorfas é que fornecem os padrões de cristalinidade do amido (Figura 3).

Figura 3 – Estrutura do grânulo de amido.



Fonte: JENKINS, DONALD (1995).

Dentre as diversas possibilidades para a utilização do amido tem se destacado o amido termoplástico (TPS), que envolve a desestruturação do amido sob aquecimento na presença de água ou outro plastificante e uma força cisalhante para romper a estrutura granular, dando origem a um material amorfo que pode se recristalizar parcialmente após o processamento ou durante estocagem.

Para obtenção de um termoplástico à base de amido, sua estrutura granular precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa.

A gelatinização é o processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica. Durante o aquecimento de dispersões de amido em presença de excesso de água (>60%), inicialmente ocorre o inchamento de seus grânulos até temperaturas nas quais ocorre o rompimento dos grânulos, com destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é chamada de temperatura de gelatinização. Por outro lado, quando o amido é aquecido na presença de pequenas quantidades de água, o fenômeno que indica o rompimento dos seus grânulos é conhecido como fusão, e exige de temperaturas bem maiores que a gelatinização.

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.

Biopolímeros obtidos do amido apresentam-se como matérias-primas potenciais em diversos produtos, principalmente relacionados aos alimentos. Por sua disponibilidade e preço o amido possui características desejáveis para o desenvolvimento de embalagens expandidas biodegradáveis ou mistura com polímeros mais caros e pouco disponíveis.

Galicia-García et al. (2011) caracterizaram as propriedades térmicas e micro estruturais de filmes biodegradáveis produzidos com amidos nativos de milho, milho ceroso, batata e amido fosforilado de milho, adicionados de fibras celulósicas de bagaço de cana-de-açúcar e plastificados com glicerol. Os filmes foram produzidos pelo processo de extrusão plana e segundo os autores, os filmes obtidos apresentaram boas propriedades funcionais para seu uso como materiais de embalagem, sendo esse um processo de extrusão que apresenta aplicabilidade para o uso em blendas de amido.

2.2.3 BLENDA DE AMIDO E POLÍMEROS SINTÉTICOS BIODEGRADÁVEIS

Blendas são combinações de dois ou mais polímeros com características diferenciadas, visando obter compostos com propriedades físicas e/ou químicas superiores àquelas que seriam obtidas pelo uso dos polímeros puros. Comparada ao desenvolvimento de novos materiais, as blendas conferem grande versatilidade à indústria de transformação de plástico (MIRANDA, CARVALHO, 2011).

Tais sistemas podem ser miscíveis, quando apresentam interações favoráveis entre os segmentos das cadeias, sem a ocorrência de separação de fases, ou imiscíveis e compatíveis quando apresentam boa processabilidade e propriedades mecânicas desejáveis, sem apresentar interações específicas.

O desenvolvimento de blendas a base de amido é de grande interesse, pois os filmes produzidos apenas com este material são higroscópicos e não apresentam boas propriedades mecânicas. No intuito de minimizar estas desvantagens o amido termoplástico (TPS) pode ser misturado a polímeros biodegradáveis sintéticos para que sua utilização em embalagens possa ser viabilizada (ROSA et al., 2004), e existem diversos estudos de blendas de amido com diferentes polímeros como poli

(ácido láctico) (PLA); poli (adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT); poli (succinato co-adipato de butileno) (PBSA); polihidroxicanoatos (PHA); polihidroxibutirato-co-hidroxicvalerato (PHB-HV); polihidroxibutirato (PHB); policaprolactona (PCL) e poli(vinil álcool) (PVA).

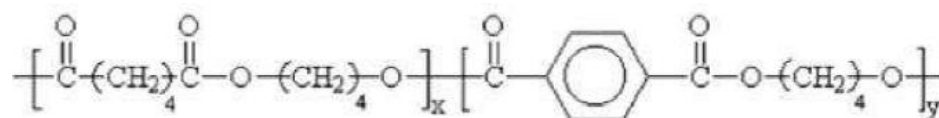
A biodegradabilidade destes polímeros se deve a presença da ligação éster em sua estrutura. Neste aspecto os poliésteres alifáticos, como PHA e PLA, são mais biodegradáveis que os poliésteres aromáticos, como PBSA e PBAT, porém estes apresentam melhores propriedades mecânicas para a maioria das aplicações (FRANCHETTI, MARCONATO, 2006; KHARE e DESHMUKH, 2006).

Avérous e Fringant (2001) citam que o PBSA e o PBAT apresentam temperatura de fusão entre 92-94 °C e 110-115 °C, respectivamente, o que facilita o processo de extrusão em misturas com amido termoplástico. Além de apresentarem temperaturas de transição vítrea (Tg) bem abaixo de zero, característica vantajosa em relação à estabilidade da embalagem.

O poli (adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT) é obtido pela combinação de 1,4 butanodiol, ácido adípico e ácido tereftálico (Figura 4). Possui características de resistência, flexibilidade e biodegradabilidade total, com auxílio de certas enzimas pode degradar completamente dentro de algumas semanas (GU et al., 2008; REN et al., 2009).

Ecoflex[®] é nome comercial do PBAT produzido pela BASF AG (Alemanha), é um polímero versátil e permite a fabricação desde filmes para embalar alimentos até artefatos termomoldados, injetados, soprados e extrudados. Pode ser combinado ao amido e a outros polímeros biodegradáveis na formação de blends poliméricas, além de ser resistente à gordura, umidade e variações de temperatura e devido à sua alta resistência a tensão, possibilitando boa proteção a quebras e rachaduras em embalagens (BASF, 2015).

Figura 4 – Estrutura química do poli (adipato co-tereftalato de butileno), “x” representa a cadeia alifática e “y” a cadeia aromática.



Fonte: Adaptado de WITT et al. (2001).

O PBAT supera as características de outros polímeros semelhantes, como o PLA, pois permite a obtenção por extrusão ou por *casting* de filmes plásticos flexíveis (GU et al., 2008).

Costa (2008) avaliou a produção de blendas de PBAT com TPS de mandioca na proporção de 50 até 90%, e verificou que os filmes apresentaram boa processabilidade por extrusão-sopro em balão, e que as propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água são compatíveis para aplicações onde não haja necessidade de filmes de alta performance. Neste mesmo trabalho pelas análises de espectroscopia no infravermelho não foi possível identificar a formação de novas ligações químicas entre o TPS e o PBAT, dando indício que não houve formação de complexo TPS-PBAT.

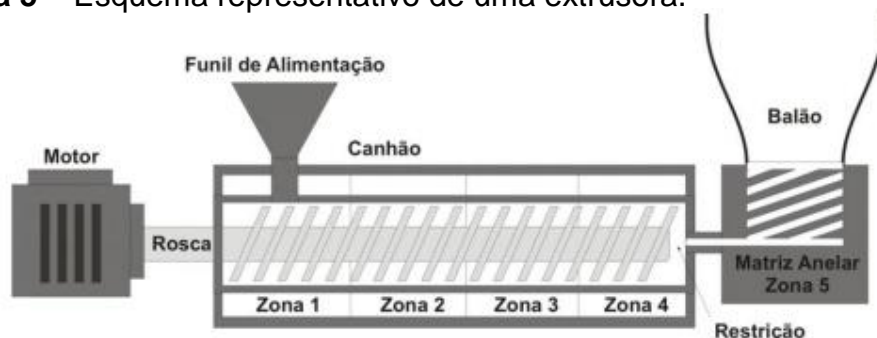
De acordo com Brandelero, Yamashita e Grossmann (2010) blendas de amido/PBAT podem produzir filmes melhores do que os obtidos apenas com amido, com maior estabilidade, melhores propriedades mecânicas e menor permeabilidade ao vapor de água (PVA). Os filmes de amido/PBAT produzidos por esses autores obtiveram valores de PVA menores ($2,51 \times 10^{-7} \text{g.dia}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) do que os filmes produzidos apenas com amido ($7,52 \times 10^{-7} \text{g.dia}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$).

2.2.4 EXTRUSÃO

A extrusão é uma operação de tratamento térmico-mecânico largamente utilizada para produção de materiais plásticos.

Pode ser definida como o processo de movimentação do material sob altas pressões por uma rosca sem-fim através de um canhão, circundado por resistências elétricas para manter a temperatura desejada, onde o material sofre um cisalhamento intenso e é expelido através de um orifício (Figura 5).

Figura 5 – Esquema representativo de uma extrusora.



Fonte: SANTOS (2010).

O processo de extrusão é realizado a partir da fusão e homogeneização do material a uma dada vazão, pressão e temperatura (CRIPPA, 2006). Durante a extrusão do amido granular, este é progressivamente comprimido, ocorrendo destruição de sua estrutura organizada e cristalina, sendo transformado em um material homogêneo essencialmente amorfo. Trata-se de um processo no qual o amido é submetido a temperaturas superiores ao seu ponto de gelatinização, mas sempre menor que 200 °C, com umidade insuficiente para gelatinizar o mesmo, inferior a 20% (m/m) (ROSA et al., 2004; LIU et al., 2009; ALAVI, CHEN, RIZVI, 2002).

A rosca é um componente de extrema importância em uma extrusora, capaz de transportar, fundir, homogeneizar e plastificar o polímero nela aplicado. Devido à baixa condutividade térmica e alta viscosidade dos polímeros no estado fluído, o trabalho mecânico desenvolvido pelo movimento desta torna-se o principal responsável pela plastificação dos materiais (MANRICH, 2005).

Podendo ser projetada para um tipo ou um grupo de polímeros, alguns parâmetros da geometria da rosca como: diâmetro (D_s), comprimento (L), profundidade do canal (h), ângulo da rosca, passo (L_s), espessura do filete (e) e largura do canal podem ser alterados de acordo com o material a ser processado. Alterações nestes parâmetros podem causar variações no tempo de residência do material no canal, na taxa de cisalhamento e no atrito, conseqüentemente na estrutura do produto final (DING et al., 2005).

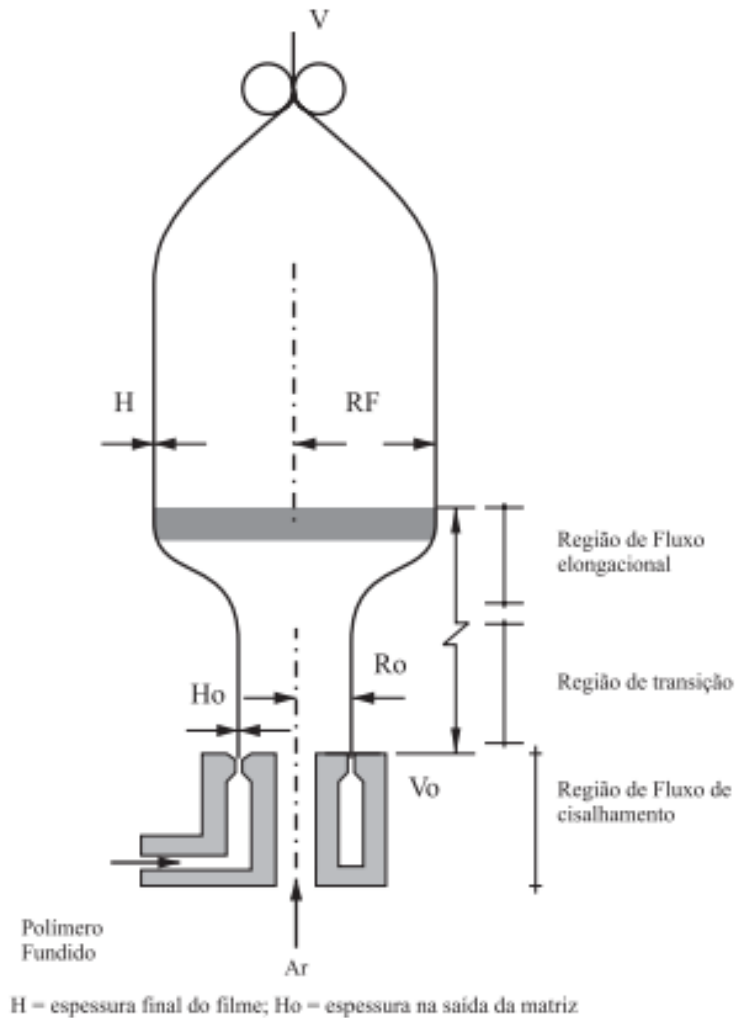
Após a rosca existe uma folga, para evitar o atrito e desgaste do parafuso, e em seguida vem o cabeçote que é um conjunto de peças onde fica a matriz, canal responsável pelo perfil do extrudado. Desta forma, uma matriz cilíndrica produz um extrudado de forma tubular, e uma plana produz um extrudado em forma de folha (CRIPPA, 2006; MANRICH, 2005).

No caso, para produção de filmes flexíveis, a matriz mais usada é do tipo anelar capaz de gerar balões tubulares na vertical, e que possui uma seção final ajustável para se definir a espessura do filme (MANRICH, 2005).

Filmes soprados são produzidos pela extrusão do polímero fundido, na forma de um tubo, através de uma matriz anelar, no centro da qual ar é injetado, inflando o tubo até este atingir um diâmetro maior. Um “balão” então é formado, cujas paredes são estiradas na circunferência (pelo ar injetado) e na vertical, por rolos puxadores,

ao mesmo tempo em que são resfriadas, conferindo então ao filme soprado uma orientação biaxial (Figura 6) (GUERRINI, PAULIN, BRETAS, 2004).

Figura 6 – Esquema do processo de extrusão de filmes em sistema “blow”.



Fonte: GUERRINI, PAULIN, BRETAS (2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (UEL, Londrina-PR).

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Filmes incorporados de sorbato de potássio

Os filmes ativos foram formulados com amido de mandioca, glicerol, polímero biodegradável (PB), ácido cítrico e sorbato de potássio. O polímero biodegradável aplicado foi o poli(adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT), fornecido pela empresa BASF sob nome comercial de Ecoflex[®]-F, e o amido de mandioca, polímero natural (Indemil, Brasil). Foi utilizado glicerol comercial (Dinâmica, Brasil) como plastificante, ácido cítrico (Dinâmica, Brasil) como compatibilizante e o sorbato de potássio puro (Dinâmica, Brasil), como conservador. Foram produzidas três formulações para os filmes, variando a concentração de sorbato de potássio (Tabela 2).

Tabela 2 – Formulações das embalagens ativas biodegradáveis com sorbato de potássio.

Formulação	Amido (kg/100 kg)	Glicerol (kg/100 kg)	PBAT (kg/100 kg)	Sorbato de Potássio (kg/100 kg)	Ácido Cítrico (kg/100 kg)
SP0	38,25	18	43,75	0,0	0,014
SP2	36,25	18	43,75	2,00	0,014
SP4	34,25	18	43,75	4,00	0,014

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 Tomates cereja

As amostras de tomate cereja cultivado em sistema orgânico de produção foram colhidas no mês de agosto de 2016, a partir de plantas saudáveis produzidas no município de Ibiporã – PR (latitude: -23.2695, longitude: -51.0437), acondicionadas em caixas de papelão ondulado e transportadas ao laboratório do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Foram selecionados frutos com grau de

maturação verde-maturo, de tamanho e formato uniformes, sem fissuras ou podridões aparentes.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Produção dos filmes

As embalagens foram produzidas pelo processo de extrusão-sopro em balão na forma de filmes flexíveis, utilizando uma extrusora piloto marca BGM (modelo EL-25, Brasil), composta por uma rosca com diâmetro 25 mm, comprimento de 700 mm; acionamento por motor de 10 CV com inversor de frequência; quatro zonas de aquecimento para a produção de *pellets* e cinco para a de filmes. Sistema com ar interno para a formação do balão e anel de ar externo para resfriamento, a fim de produzir filmes com diâmetro de 150 a 300 mm, duas bobinas de acionamento pneumático; controladores e indicadores de temperatura digital micro processados; controle proporcional integral derivativo (PID) das zonas de aquecimento e refrigeração da torre de resfriamento; bobinador automático e granulador com regulador de velocidade.

Primeiramente fez-se a mistura de todos os componentes da fórmula, a incorporação do antimicrobiano foi realizada diretamente no glicerol, e depois adicionada dos demais componentes das formulações.

Então, as formulações propostas foram processadas para a produção de *pellets*, utilizando-se quatro zonas de aquecimento e uma matriz com dois orifícios de 2 mm de diâmetro. Empregou-se o seguinte perfil de temperatura: 90/110/100/100°C, com velocidade do parafuso de 30 rpm.

Em seguida, os *pellets* foram utilizados para a produção de filmes pelo processo de extrusão sopro, empregando-se cinco zonas de aquecimento e uma matriz circular de 50 mm de diâmetro com fluxo interno de ar para a formação dos filmes. Empregou-se o seguinte perfil de temperatura: 100/110/100/125/125°C, com velocidade do parafuso de 35 rpm.

3.2.2 Produção das embalagens

Depois de feito o filme por extrusão sopro, o balão foi cortado no sentido longitudinal em pedaços de aproximadamente 10 cm. Selou uma das extremidades em seladora JHM (Modelo Micromatic MH300) à 90°C.

Com o auxílio de um furador de papel foram feitos 4 furos de 5 mm de diâmetro no centro da embalagem para que houvesse troca de gases entre o interior e exterior. Após a colocação dos tomates, a outra extremidade da embalagem foi selada nas mesmas condições citadas anteriormente.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Para caracterização dos filmes foram determinadas suas propriedades mecânicas, opacidade aparente e permeabilidade ao vapor de água. As análises foram realizadas em 10 repetições e, para avaliação das propriedades mecânicas foram utilizados os filmes após servirem de embalagem aos tomates cereja, ao contrário das análises de opacidade aparente e permeabilidade ao vapor de água que utilizaram filmes novos, ou seja, que não foram aplicados como embalagem.

3.3.1 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas utilizando texturômetro marca *Stable Micro Systems* modelo TA.TX2i (Inglaterra), de acordo com o método da *American Society for Testing and Material* - ASTM D-882-91 (1996). As amostras previamente cortadas 50 mm x 20 mm foram condicionadas sob umidade relativa (UR) de 53% (nitrato de magnésio) pelo período de 48 horas antes de serem analisadas. Foram avaliadas 10 amostras de cada formulação, sendo cortadas no sentido longitudinal dos filmes. Durante a análise, as amostras foram ajustadas às garras pneumáticas do equipamento sendo a distância estabelecida entre as garras de 30 mm e velocidade de tração de 0,8 mm/s. Os parâmetros determinados foram: resistência máxima à tração (MPa), porcentagem de alongação (%) e Módulo de Young (MPa).

3.3.2 Opacidade aparente

A opacidade foi determinada utilizando um colorímetro BYK Gardner, sob ângulo visual de 10° e iluminante D65 (luz do dia). A metodologia foi baseada na descrita por Sobral (2000) na qual a opacidade da amostra (Y) foi calculada como a relação entre opacidade da amostra colocada sobre o padrão preto (Yp) e a opacidade da amostra colocada sobre o padrão branco (Yb), sendo apresentada em escala arbitrária (entre 0 e 100%).

3.3.3 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada gravimetricamente segundo o método da *American Society of Testing and Material* (ASTM E96-00, 2000), com algumas modificações. Cada amostra de filme foi fixada à borda de uma cápsula, contendo em seu interior solução saturada de MgCl₂ (32,8% de UR a 25 °C). Estas cápsulas foram colocadas em um dessecador contendo solução saturada de NaCl (75% UR a 25 °C), criando-se, dessa forma, um gradiente de 33-75% de umidade relativa. Foram realizadas pesagens periódicas, de 12 em 12 horas, até a taxa de ganho de água (m/t) constante.

O valor da permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi calculado obtendo-se primeiramente a taxa de permeabilidade ao vapor de água (Eq.1) para depois calcular a PVA (Eq.2).

$$TPVA = \frac{m}{t} \times \frac{1}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde, **m** é a massa (g) obtida após certo tempo **t** (h) e **A** é a área de permeação do corpo de prova (m²).

$$PVA = \frac{TPVA \times e}{p_s \times \left(\frac{UR_1 - UR_2}{100} \right)} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde, **e** é a espessura média do filme (m), **p_s** a pressão de saturação do vapor de água à temperatura do ensaio (Pa), **UR₁** (%) a umidade relativa no interior do dessecador e **UR₂** (%) a umidade relativa no interior da cápsula.

3.4 ANÁLISES DOS FRUTOS

Os tomates foram colocados em embalagens biodegradáveis, num total de 12 frutos em cada pacote (aproximadamente 100 g) e armazenados com distribuição aleatória em estufa B.O.D. a 12 °C, simulando as temperaturas das gôndolas de supermercado. As amostras foram avaliadas a cada 5 dias, num total de 35 dias.

Para as avaliações pós-colheita determinou-se: perda de massa (PM), teor de sólidos solúveis totais (SS), índice de maturação, acidez total titulável (AT), firmeza, coloração e contagem de microrganismos (bolors e leveduras).

3.4.1 Perda de massa

Determinada pela diferença entre a massa inicial (m_0) e a pesagem subsequente (m), das análises, sendo expressa em porcentagem (%) em relação ao valor inicial. Utilizou balança analítica com precisão de 0,001 g para as pesagens (Eq. 3).

$$\text{Perda de massa} = 100 \left(\frac{m_0 - m}{m_0} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

3.4.2 Sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis foi determinado utilizando um refratômetro digital de bancada (Atago, PAL-BX/RI, Japão), conforme recomendações do IAL (2008). Para realizar a leitura foram colocadas duas gotas de suco de tomate tipo cereja no prisma do refratômetro. Os resultados foram expressos em graus Brix (°Brix).

3.4.3 Acidez titulável

Seguindo metodologia do IAL (2008), em torno de 5 g da amostra foi diluída em água destilada, completando volume total de 100 mL, e por meio de titulometria, com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 M, tendo como indicador a solução alcoólica de fenolftaleína à 1%, teve como ponto de viragem o pH determinado pelo potenciômetro, sendo os resultados expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa (Eq. 4).

$$AT = \frac{V.f.M.100}{P} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde, **V** é o volume (mL) da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, **f** é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio, **M** é a molaridade da solução de hidróxido de sódio e **P** é a massa da amostra utilizada na titulação.

3.4.4 Índice de maturação

Foi determinado pela relação entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável (SS/AT), de acordo com IAL (2008).

3.4.5 Firmeza

A firmeza foi obtida através do texturômetro marca *Stable Micro Systems* modelo TA.TX2i (Inglaterra), para determinar a resistência do fruto à compressão. O fruto foi posto sobre a base do texturômetro e comprimido com *probe* cilíndrico com ponta de seção plana de 35 mm de diâmetro e paralela à base. A compressão foi no sentido da porção equatorial dos frutos, com velocidade de 1 mm/s, suficiente para provocar o rompimento da casca (perfuração). Foi determinada a força máxima no rompimento (N).

Os dados de firmeza dos tomates cereja foram avaliados segundo o modelo cinético de reações de primeira ordem (Eq. 5). Usou análise de múltipla regressão através do software Statistica 8, nesta a constante de velocidade da reação depende da firmeza obtida após um tempo longo.

$$\frac{t}{F} = \frac{t}{F_{\infty}} - \frac{1}{K.F_{\infty}} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde, **t** é o tempo (dia), **F** a firmeza (N), **F_∞** a firmeza num tempo longo (N) e **K** a taxa de redução da firmeza (dia⁻¹).

3.4.6 Cor

A alteração de cor durante o amadurecimento do tomate foi determinada utilizando colorímetro BYK Gardner (Alemanha) (0° ângulo de visão) no sistema CIELab. O instrumento foi calibrado com padrão branco. Os valores de *a** (verde-

vermelho), b^* (amarelo-azul) e L^* (luminosidade) da superfície dos tomates foram medidos a partir de dez tomates de cada ensaio. Foram feitas duas medidas (equatorial) de cada tomate.

Os dados de cor da razão (a^*/b^*) dos tomates cereja foram avaliados segundo o modelo cinético de reações de primeira ordem (Eq. 6). Usou análise de múltipla regressão através do software Statística 8, nesta a constante de velocidade da reação depende da razão (a^*/b^*) obtida após um tempo longo.

$$\frac{t}{\left(\frac{a^*}{b^*}\right)} = \frac{t}{\left(\frac{a^*}{b^*}\right)_\infty} + \frac{1}{K \cdot \left(\frac{a^*}{b^*}\right)_\infty} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde, t é o tempo (dia), $\left(\frac{a^*}{b^*}\right)_\infty$ é a razão (a^*/b^*) num tempo longo e K a taxa de aumento da razão (a^*/b^*) (dia^{-1}).

3.4.7 Contagem de bolores e leveduras

A determinação da contagem de bolores e leveduras foi feita de acordo com Brasil (2003). Foram pesadas assepticamente 25 g de cada amostra, posteriormente trituradas e diluídas em 225 mL de solução salina peptonada 0,1%. A diluição obtida correspondeu a 10^{-1} , a partir da qual foram obtidas as demais diluições decimais até 10^{-3} . As diluições de cada amostra foram semeadas utilizando-se a técnica de espalhamento, empregando-se o meio ágar batata glicose 2% fundido e acidificado com ácido tartárico a 10%. As placas foram incubadas em temperatura de 25 °C durante 5 a 7 dias. Após este período fez a leitura das placas que continham de 15 a 150 colônias. Os resultados foram expressos em UFC/g.

3.5 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do software STATISTICA 8.0, utilizando-se análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

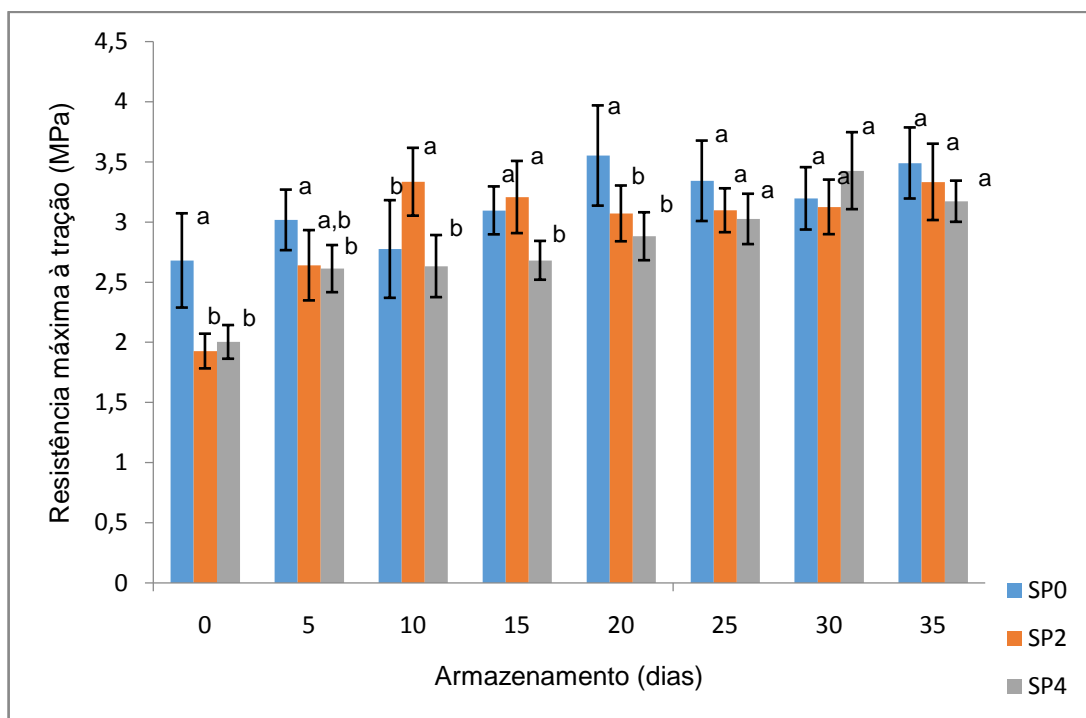
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES UTILIZADOS PARA EMBALAGEM DE TOMATE CEREJA

4.1.1 Propriedades mecânicas

Através da Figura 7 observa-se que houve tendência de aumento da resistência máxima à tração dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4) e até o 20º dia de armazenamento dos tomates, os filmes do tratamento SP0 (variação de 2,68 a 3,49 MPa) diferenciaram significativamente dos demais, após esse período todos apresentaram força similar. Supõe-se que a diferença de resistência inicial tenha ocorrido devido ao fato de o sorbato de potássio ter atuado como plastificante, pois segundo Shimazu, Mali e Grossmann (2007) o plastificante diminui a resistência à tração dos materiais. Após 5 dias, como o interior da embalagem estava sob alta umidade relativa devido à presença dos tomates, pode ter ocorrido a migração do plastificante e consequente reaproximação das cadeias, tornando o material mais rígido.

Figura 7 – Resistência máxima à tração dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Médias com letras iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

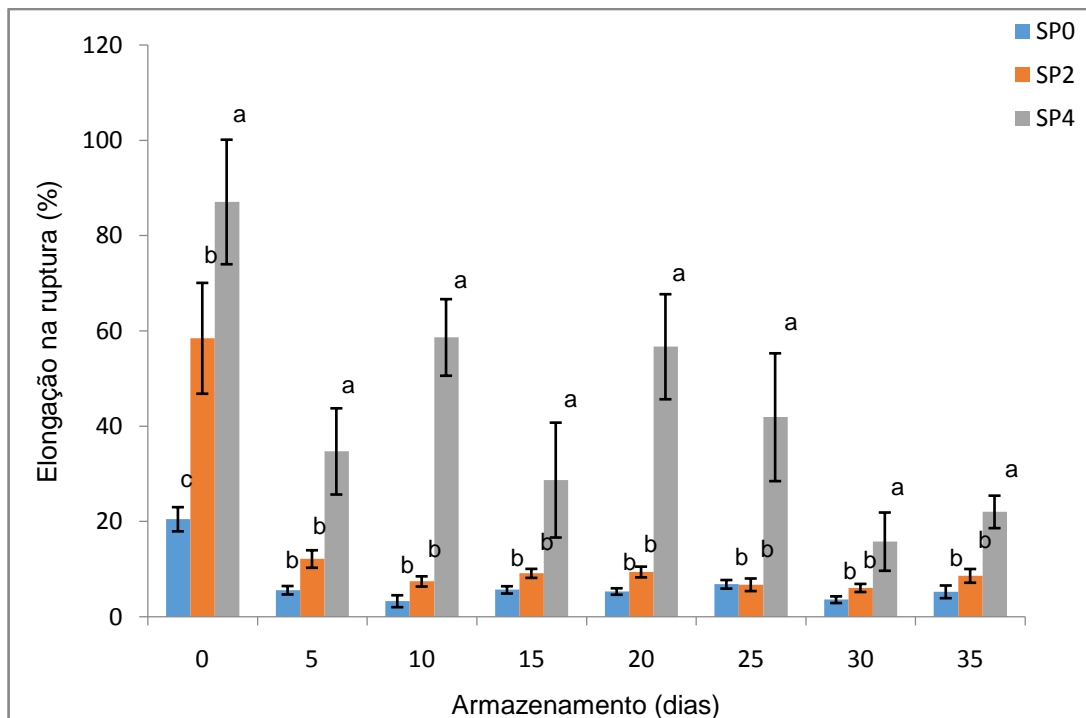
Comportamento semelhante foi observado por Andrade-Molina (2012), onde os filmes de amido com incorporação de sorbato de potássio apresentaram aumento na resistência máxima à tração, porém o maior índice foi para o filme controle, sem adição de sorbato.

Bertan (2008) constatou que a incorporação de sorbato em filmes de amido de mandioca modificado e gelatina causou um decréscimo na resistência à tração dos filmes, sendo maior com a quantidade de sorbato adicionada de 2 para 4%, assim como no presente trabalho.

Pelissari (2009) constatou que a adição de óleo essencial de orégano como antimicrobiano ocasionou redução da tensão na ruptura dos filmes, provavelmente devido ao seu poder plastificante.

A elongação na ruptura dos filmes variou devido à presença do sorbato de potássio (Figura 8), e os filmes do tratamento SP4, com maior teor de sorbato, apresentou maior elongação, 4,2 vezes maior que o tratamento SP0, sem sorbato de potássio. Isso também pode ter ocorrido devido ao efeito plastificante do sorbato, pois plastificantes proporcionam alongamento aos materiais.

Figura 8 – Elongação na ruptura dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

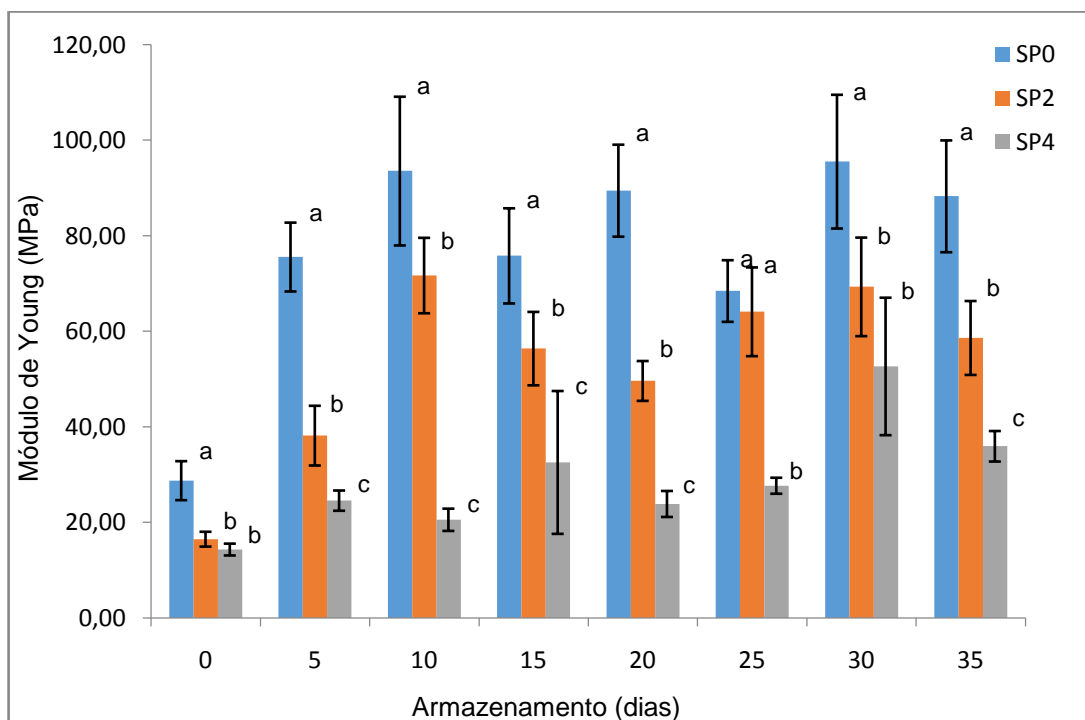
Médias com letras iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Resultado semelhante foi verificado por Moraes et al. (2011), os autores constataram que o alongamento na carga máxima do filme de base celulósica incorporado com agente antimicrobiano (ácido sórbico) aumentou em relação ao controle, com $1,7\pm 0,7\%$ de deformação para o controle e $2,3\pm 0,7\%$ para a formulação com 7% de ácido sórbico.

Tapia-Blácido et al. (2005), relataram deformação de 17,71 a 36,04% em filmes de farinha de amaranto e glicerol, variando a umidade relativa de armazenamento do produto (40 a 70%). Valores semelhantes podem ter sido encontrados devido à alta umidade relativa de armazenamento dos filmes, como ocorreu no presente trabalho.

Na Figura 9 podemos verificar uma tendência de aumento do módulo de Young, com grande oscilação após o 15° dia de armazenamento. Os filmes do tratamento SP0 apresentaram a maior resistência e também a maior variação do módulo de Young, de 29 a 88 MPa, enquanto SP2 variou de 17 a 59 MPa e SP4 de 14 a 36 MPa.

Figura 9 – Módulo de Young dos filmes controle, com 2% e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Médias com letras iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

De maneira geral, a tensão dos filmes aumentou durante o armazenamento, enquanto que a elongação diminuiu e o módulo de Young aumentou, ou seja, os filmes se tornaram mais frágeis e rígidos provavelmente devido ao processo de recristalização do amido (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010) e migração do glicerol e sorbato de potássio para a superfície dos materiais.

4.1.2 Opacidade aparente

Os resultados de opacidade aparente dos filmes estão na Tabela 3, onde observamos que o sorbato de potássio diminuiu a opacidade dos filmes em relação ao filme controle. Uma possível explicação para este fato está baseada na ação plastificante do sorbato e conseqüente menor grau de cristalinidade dos filmes contendo este aditivo, pois, de acordo com Vicentini (2003), as regiões cristalinas refletem ou desviam o feixe de luz incidente, comprometendo a transmissão de luz especular.

4.1.3 Permeabilidade de vapor de água

A concentração de sorbato de potássio influenciou a permeabilidade ao vapor de água dos filmes, confirmado pelo teste de Tukey, como descrito na Tabela 3. Os filmes SP0 e SP2 não diferiram significativamente, com permeabilidade ao vapor de água de 4,8 e 4,9 $\times 10^{-6}$ g/m.Pa.dia, respectivamente. Enquanto o maior valor foi atribuído ao tratamento SP4, com 7,1 $\times 10^{-6}$ g/m.Pa.dia. Isso pode ter ocorrido porque, como já mencionado anteriormente, o sorbato possivelmente tenha trabalhado como plastificante do filme aumentando o espaçamento entre as suas cadeias e conseqüentemente sua permeabilidade, porém é importante ressaltar que os três tratamentos permaneceram em mesma ordem de grandeza (10^{-6}).

Tabela 3 – Opacidade aparente e Permeabilidade ao vapor de água dos filmes controle, com 2 e 4% de antimicrobiano (SP0, SP2 e SP4, respectivamente).

	SP0	SP2	SP4
Opacidade (%)	67 ^a (± 2)	61 ^b (± 1)	60 ^b (± 1)
PVA $\times 10^{-6}$ (g/m.Pa.dia)	4,8 ^b ($\pm 0,17$)	4,9 ^b ($\pm 0,23$)	7,1 ^a ($\pm 0,11$)

Fonte: Elaborado pelo autor.

^{a,b} Médias com letras diferentes na mesma linha indicam diferença ao nível de 0,05 pelo teste de Tukey.

Resultados de PVA semelhantes foram obtidos por Andrade-Molina (2012), que produziu material com composição semelhante, mudando as concentrações em comparação ao presente estudo. Segundo o autor, os filmes com 3 e 4,5% de sorbato de potássio apresentaram permeabilidade ao vapor de água de $6,1 \times 10^{-6}$ e $8,2 \times 10^{-6}$ g/m.Pa.dia, respectivamente.

Costa (2008) verificou que para filmes de amido termoplástico e PBAT (proporção 90:10) a PVA foi de $1,1 \times 10^{-5}$ g/m.Pa.dia, sob gradiente de umidade relativa de 33-64%.

Olivato (2010) observou que filmes de amido, glicerol, ácido cítrico e PBAT apresentaram permeabilidade de aproximadamente $2,7 \times 10^{-6}$ g/m.Pa.dia, sob gradiente 33-75% UR, valores em mesma grandeza em relação aos determinados no presente estudo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FRUTOS

4.2.1 Perda de massa

A perda de massa dos frutos apresentou um comportamento linear em função do tempo de armazenamento a 12 °C (Figura 10) e não houve influência do tipo de embalagem sobre esta taxa, que foram de 0,392, 0,385 e 0,388 %. dia^{-1} para os tomates dos tratamento SP0, SP2 e SP4 respectivamente. Espera-se que sistemas com embalagens de maior permeabilidade ao vapor de água obtenham maior perda de massa, pois grande parte dessa massa se refere à água liberada durante a respiração dos frutos.

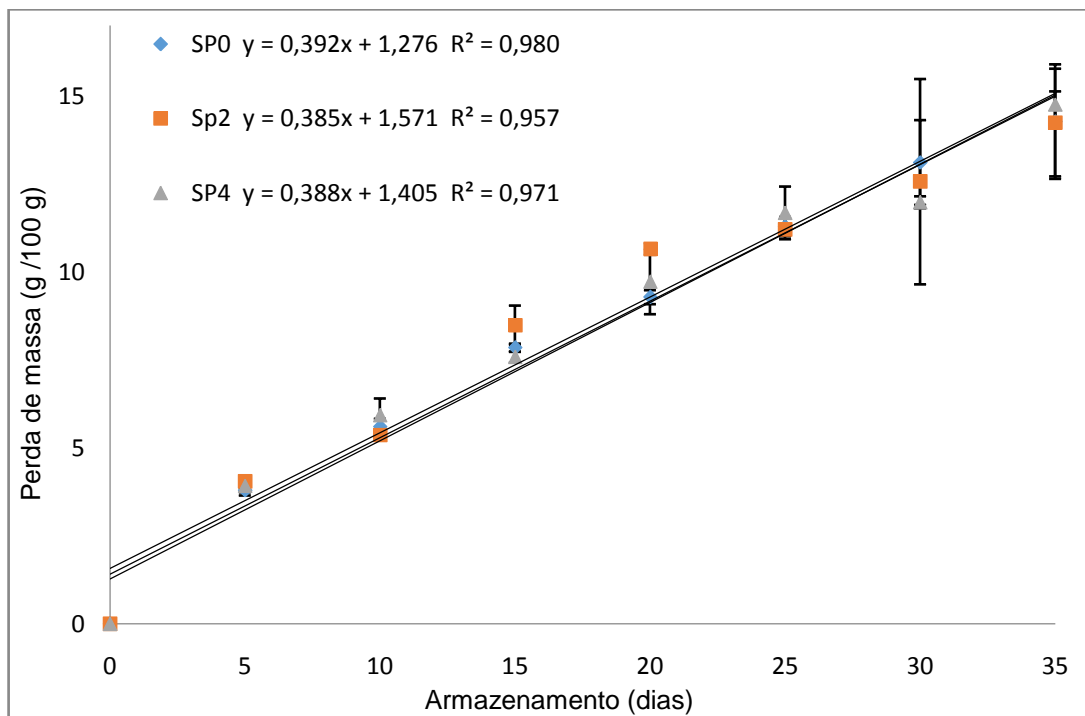
Apesar de o tratamento SP4 apresentar maior PVA (Tabela 3), esta não influenciou na perda de massa dos tomates cereja, pois tratavam-se de valores de permeabilidade em uma mesma escala, considerada muito pequena ($4,8$ a $7,1 \times 10^{-6}$ g/m.Pa.dia), não exercendo influência significativa na perda de massa dos frutos. Além do fato de que todas as embalagens foram semelhantemente perfuradas para que houvesse maior facilidade de troca dos gases respiratórios e saída dos vapores de água.

De acordo com Sammi e Masud (2007) o acúmulo de vapor de água dentro da embalagem pode proporcionar queda na taxa de transpiração do fruto, diminuindo a perda de água, mas segundo Park et al (2005) o uso de materiais a base de polissacarídeos como embalagem não reduz a taxa de perda de massa.

Para estes autores, devido à hidrofiliçidade de tais filmes, eles não são barreira à perda de umidade e, conseqüentemente, não reduzem a perda de massa do produto, entretanto no presente trabalho como não foi feito o acompanhamento de frutos sem embalagem, não é possível afirmar que a embalagem não reduziu a perda de massa do produto.

Žnidarčič e Požrl (2006) fizeram estudo comparativo das alterações na qualidade de tomates armazenados em diferentes temperaturas. A perda de massa foi quase linear para as temperaturas aplicadas, porém os frutos armazenados em 10 °C tiveram perda de massa mais rápida que os armazenados em 5 °C. Ao final de 28 dias os tomates armazenados em 5 °C apresentaram 13,6 % de perda de massa enquanto os frutos armazenados em 10 °C tiveram 14,2% de perda em apenas 21 dias. Os autores concluíram que baixas temperaturas podem prevenir a perda de massa.

Figura 10 – Perda de massa dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Sólidos solúveis

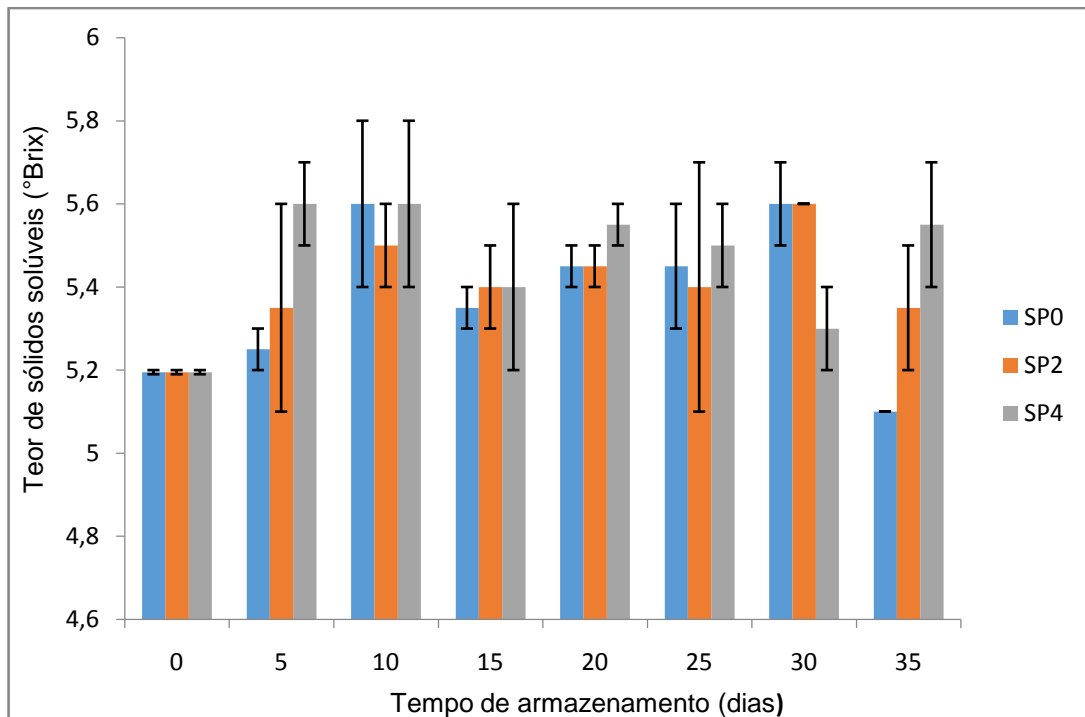
O teor de sólidos solúveis dos frutos variou durante o armazenamento a 12 °C, sendo que nos primeiros dias houve uma tendência de aumento para todos os tratamentos (Figura 11), que passaram de 5,2 para aproximadamente 5,6 °Brix e, então, esses teores começaram a oscilar. Ao final dos 35 dias as amostras não diferiram significativamente, e os tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 apresentaram médias de sólidos solúveis de 5,36, 5,41 e 5,46 °Brix, respectivamente.

Sabe-se que durante o amadurecimento há o aumento da concentração de açúcares dos frutos, porém em frutos climatérios também há o aumento da taxa respiratória dos mesmos. Neste estudo não foi feito o monitoramento desta taxa, porém supõe-se que as embalagens criaram uma microatmosfera para os tomates, onde a permeabilidade das embalagens possibilitava trocas gasosas (saída CO₂ e H₂O, e, entrada de O₂) que atuaram semelhantemente nos três tratamentos, controlando o amadurecimento dos frutos e preservando os teores de sólidos solúveis dos mesmos, entretanto não foram realizados testes com frutos sem embalagem.

Em estudo realizado por Sammi e Masud (2007), os sólidos solúveis totais de tomate aumentaram de 3,0 a 5,2 °Brix à medida que a maturação prosseguiu. Resultado semelhante foi encontrado por Akbudak et al. (2012) em estudo feito com tomates cereja acondicionados em embalagens de atmosfera modificada.

Javanmardi e Kubota (2006) estudaram variações pós-colheita em tomates armazenados em temperatura ambiente e sob refrigeração, os resultados não mostraram alterações significativas nos teores de sólidos solúveis entre os tratamentos, variando de 5 % em temperatura ambiente e 5,1 % quando refrigerados. O aumento do teor de sólidos solúveis pode ser devido à conversão de carboidratos em açúcares, ácidos orgânicos e outros materiais solúveis pelo processo metabólico durante o armazenamento. Enquanto que a diminuição do conteúdo de sólidos solúveis durante o armazenamento pode ser devida ao aumento na taxa de respiração e conversão de açúcares em dióxido de carbono e água em estágios posteriores de armazenamento. Resultado semelhante foi encontrado por Ishaq et al. (2009) que avaliaram os teores de sólidos solúveis de damascos e observaram queda de valores em todas as amostras.

Figura 11 – Teor de sólidos solúveis dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nasrin et al. (2008) avaliaram os efeitos de diferentes tratamentos pós-colheita na vida de prateleira e qualidade de tomates, os autores relataram queda nos teores de sólidos solúveis de 4,1 para 3,14 a 3,96 °Brix, eles relataram que as alterações foram menores em frutos embalados em filmes de polietileno perfurado.

Segundo Arthey e Philip (2005) o teor de sólidos solúveis pode aumentar no início da armazenagem, depois diminuir e novamente aumentar devido à mudança hidrolítica no amido e conversão deste em açúcar, sendo um índice importante do processo de amadurecimento em frutos. Semelhantemente ao ocorrido em estudo realizado por Majidi et al. (2012), os autores observaram alterações significativas em tomates armazenados a frio, seus teores de sólidos solúveis aumentaram de 5,07 para 5,47 e depois diminuíram para 4,9 durante os 40 dias de estudo.

4.2.3 Acidez titulável

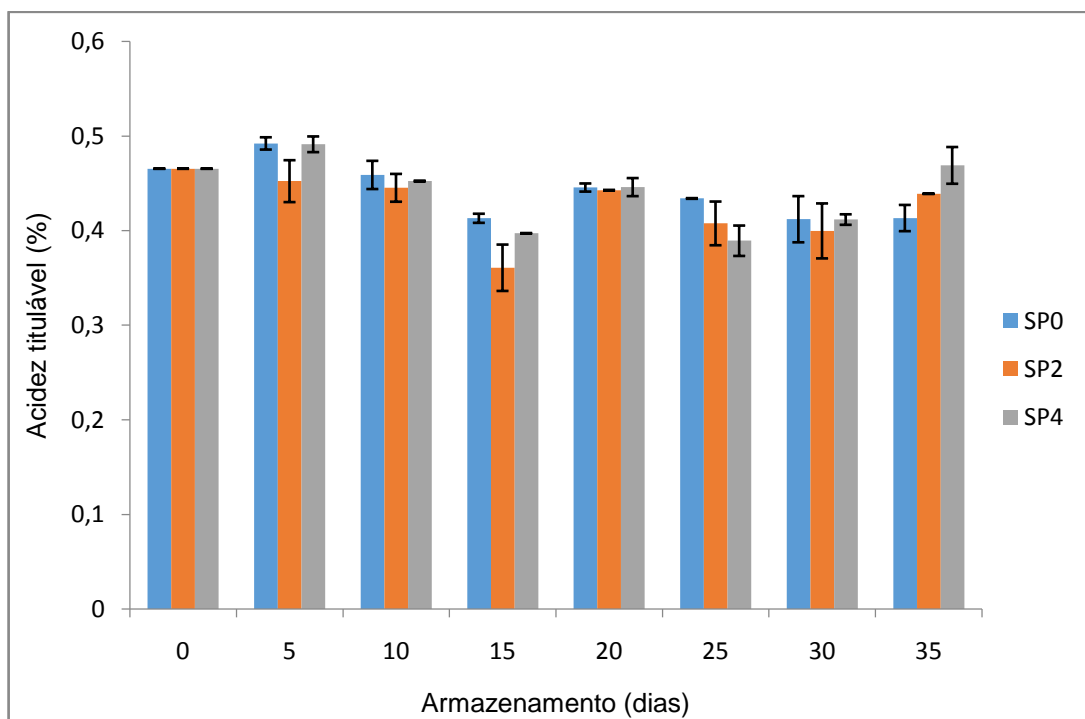
De forma geral a acidez titulável dos tomates oscilou ao longo da armazenagem a 12 °C por 35 dias (Figura 12), não tendo apresentado um comportamento que pudesse ser modelado. Os tomates apresentaram uma acidez titulável média de 0,442, 0,427 e 0,440 g ácido cítrico/100 g de polpa, para os

tratamentos SP0, SP2 e SP4, respectivamente, levando em conta todo o período de armazenagem. Este comportamento provavelmente foi devido à variabilidade da matéria prima, mesmo que os tomates tenham sido pré-selecionados.

León-Sanches et al. (2009), analisaram tomates armazenados a 10 e 20 °C e concluíram que a 10 °C não houve alteração significativa em relação a acidez titulável dos frutos, porém, quando armazenados a 20 °C, este teor começava a decair a partir de 9 dias, de 0,575 para 0,478%. Comportamento semelhante foi determinado por Workneh, Osthoff e Steyn (2012), onde a maior temperatura de armazenamento resultou em diminuição da acidez titulável dos tomates avaliados.

Fatias de tomates mantidas entre 0 e 5 °C em diferentes embalagens foram avaliadas por Gil, Conesa e Artés (2002), os autores observaram que a acidez titulável caiu em ambas temperaturas, exceto para as amostras mantidas em embalagens com partículas absorvedoras de etileno, nas quais foram conservados os valores iniciais de 0,35 g de ácido cítrico/100 mL de polpa. O resultado encontrado pode indicar relação entre o teor de acidez titulável dos frutos com seu grau de maturação.

Figura 12 – Acidez titulável dos tomates cereja em função do tempo de armazenagem a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

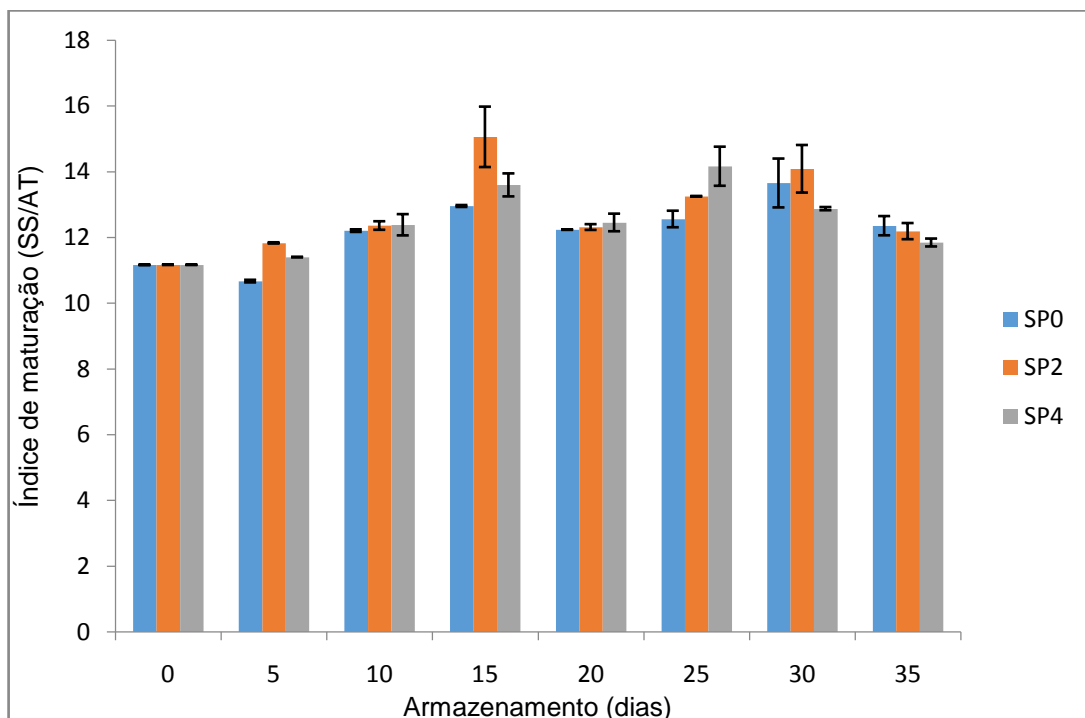
4.2.4 Índice de maturação

Os resultados encontrados para a relação SS/AT, que indica o índice de maturação, apresentaram oscilações ao longo da armazenagem devido às variações também observadas para os teores de sólidos solúveis e acidez titulável. Os tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 apresentaram índice de maturação médio de 12,22, 12,78 e 12,48 °Brix, respectivamente, levando em conta os 35 dias de armazenamento a 12 °C, ou seja, valores muito próximos entre si, apesar do tratamento SP2 ter apresentado o maior valor médio após 15 dias de armazenagem.

Sousa et al. (2011), analisando índice de maturação de tomate cereja encontrou um valor de 3,88. O baixo índice de maturação pode estar relacionado à maturação incompleta dos frutos.

Castro, Cortez e Vigneault (2006) avaliaram tomates 'Santa Clara' e 'Carmen', armazenados em 7, 13 e 24 °C, os autores observaram que ambas variedades atingiram maiores dulçor e índices de maturação quando em 13 e 24 °C.

Figura 13 – Índice de maturação dos tomates cereja em função do tempo de armazenagem a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



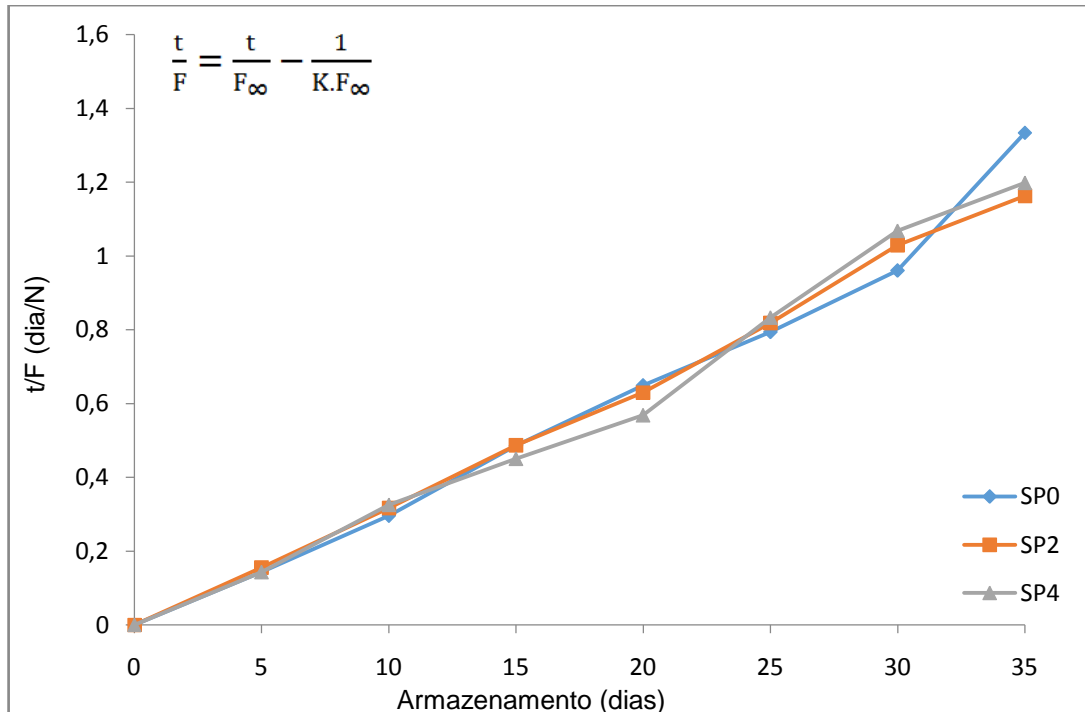
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos em estudo realizado Majidi et al. (2012) mostraram que o índice de maturação de tomates armazenados sob refrigeração atingiu o valor máximo em 13,35 °Brix, depois houve diminuição seguida de uma tendência crescente.

4.2.5 Firmeza

De forma geral a firmeza dos tomates diminuiu ao longo da armazenagem a 12 °C por 35 dias e apresentou uma cinética de primeira ordem (Figura 14 e Tabela 4) e variaram de 38 a 26, 38 a 30 e 38 a 29 N para os tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4, respectivamente. Segundo Rojas-Graü et al. (2009), os processos metabólicos são empregados para a biossíntese de novos compostos indispensáveis ao perfeito funcionamento e manutenção do vegetal, e, com o decorrer destes os frutos vão perdendo a firmeza.

Figura 14 – Firmeza dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano - SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Parâmetros da equação da cinética de primeira ordem da firmeza dos tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 em função do tempo de armazenagem a 12 °C.

Tratamento	SP0	SP2	SP4
K (dia ⁻¹)	1,27	2,23	0,93
F _∞ (N)	27,9	29,7	28,7
R ²	0,98	>0,99	0,99

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos valores de K (Tabela 4) obtidos para os diferentes tratamentos podemos dizer que os tomates embalados com os filmes do tratamento SP2 apresentaram uma taxa de redução da firmeza maior que os frutos dos demais tratamentos, pois K é uma taxa diretamente proporcional à queda de textura, ou seja, maiores valores de K indicam maior amolecimento dos frutos. Neste caso os tomates embalados com os filmes SP2 provavelmente apresentaram maior taxa de maturação, uma vez que a perda de firmeza está relacionada com maior atividade metabólica dos frutos e, portanto, maior grau de maturação.

Os valores de F_∞ foram próximos para todos os tratamentos e variaram de 27,9 a 29,7 N, ou seja, o tipo de embalagem (SP0, 2 ou 4) não teve influência sobre a firmeza depois de um tempo longo de armazenagem. A diferença entre a firmeza inicial dos tomates (F₀= 38 N) e num tempo longo (F_∞) variou de 28 a 36%, que pode ser considerada uma variação relativamente baixa.

Kantola e Helén (2001) avaliaram as mudanças na qualidade de tomates orgânicos armazenados a 11±1 °C e embalados em filmes plásticos biodegradáveis. Em 22 dias houve uma queda na firmeza dos frutos de 4,3 N/mm para 2,6 N/mm, ou seja, uma variação de 65 % e os autores relataram maior taxa de perda durante os 8 primeiros dias, característico de uma cinética de segunda ordem, onde há uma queda maior nos tempos iniciais e depois uma tendência para estabilização. Os tipos de embalagem utilizados pelos autores também não influenciaram na textura dos frutos.

Em estudo realizado por León-Sanches et al. (2009), com tomates armazenados a 10 e 20 °C por um período de 20 dias, os autores mostraram que os frutos armazenados a 10 °C não apresentaram mudança na firmeza, exibindo desaceleração da atividade enzimática. Comportamento também observado por Gomes (2014), onde tomates cereja cobertos com soluções filmogênicas de amido

fosfatado apresentaram ligeira queda de textura durante o armazenamento e os frutos sem cobertura tiveram redução elevada.

Majidi et al. (2012) avaliaram os efeitos de armazenamento em ambiente com atmosfera controlada, embalagens de atmosfera modificadas e o armazenamento convencional em refrigeração sob as propriedades qualitativas de tomates. Embora tenham encontrado diferença significativa na redução da firmeza entre todos os tratamentos, as mudanças foram mais lentas quando os frutos estavam em atmosfera controlada ou embalagens com atmosfera modificada do que no ambiente refrigerado.

4.2.6 Cor

Através da figura 15 pode-se observar a variação da coloração dos tomates ao longo do tempo de armazenamento. Os frutos de todos os tratamentos apresentaram um aumento da razão a^*/b^* ao longo do estudo, seguindo uma cinética de primeira ordem (Figura 16 e Tabela 5) e variaram de 0,36 a 1,03, 0,36 a 1,01 e 0,36 a 1,06 para os tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4, respectivamente. Isto se deve principalmente ao aumento dos valores de a^* durante o armazenamento, pois quanto mais vermelho e menos verde o tomate, maior o valor de a^* .

Através da Tabela 5 podemos comparar o valor do parâmetro K para os três tratamentos, ele nos indica maior taxa de variação da razão a^*/b^* para o tratamento SP2 ($K= 0,575 \text{ dia}^{-1}$), ou seja, os tomates embalados com os filmes do tratamento SP2 apresentaram maior taxa de maturação dos frutos. Estes resultados estão de acordo com os obtidos para a taxa de firmeza (Tabela 4), onde os frutos do tratamento SP2 apresentaram uma taxa de perda de firmeza mais pronunciada.

O comportamento da razão a^*/b^* em função do tempo de armazenagem foi semelhante para todos os tratamentos, atingindo valores de $(a^*/b^*)_{\infty}$ muito próximos.

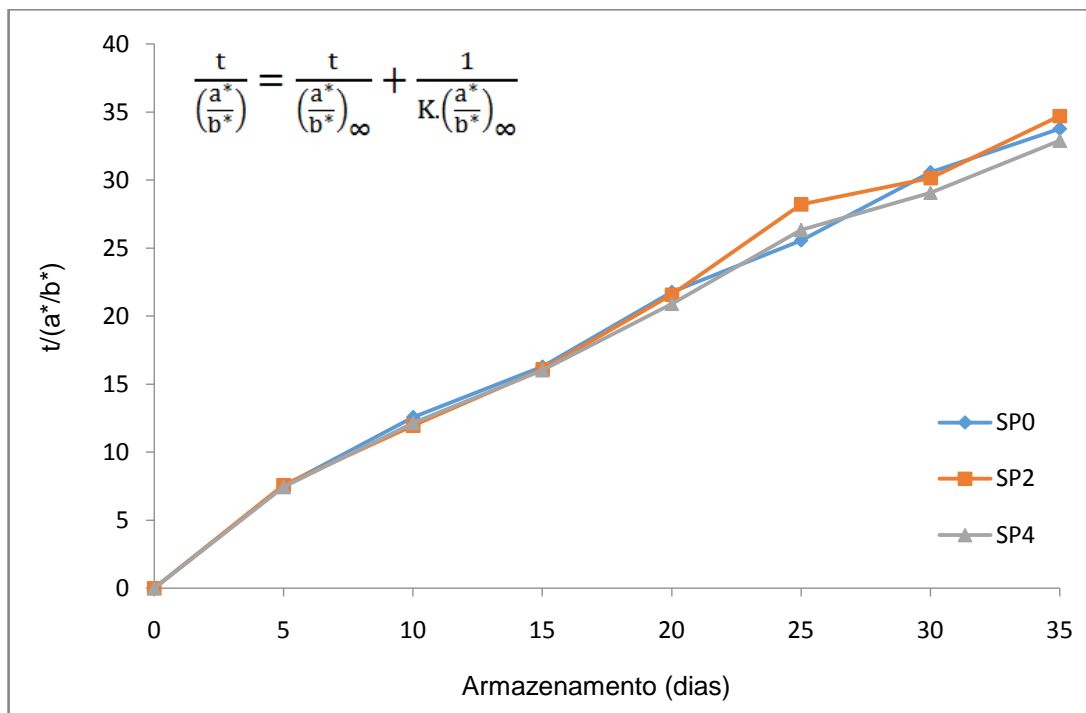
Iglesias, Echeverría e Soria (2008) mediram a razão a^*/b^* de maçã 'Gala' durante um período de quatro semanas antes e uma semana após a colheita comercial. Os resultados mostraram que a cor das maçãs aumentou progressivamente durante a maturação do fruto, sendo que, a última colheita proporcionou os valores máximos de a^*/b^* , indicando maturação mais avançada.

Figura 15 – Evolução da coloração dos tomates avaliados com 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 dias de armazenamento (a, b, c, d, e, f, g e h, respectivamente) a 12 °C.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 16 – Relação (a^*/b^*) da coloração dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano – SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5. Parâmetros da equação de cinética de primeira ordem da relação a^*/b^* dos tomates dos tratamentos SP0, SP2 e SP4 em função do tempo de armazenagem a 12 °C.

Tratamento	SP0	SP2	SP4
K (dia ⁻¹)	0,473	0,575	0,455
(a^*/b^*) _∞	1,06	1,02	1,09
R ²	0,989	0,987	0,987

Fonte: Elaborado pelo autor.

García-García et al. (2013) verificaram o prolongamento da vida útil de tomate cereja através de embalagens ativas. O estudo foi conduzido a 20 °C, e através da razão a/b os autores concluíram que o uso de revestimento de PLA contribui para o retardamento da maturação dos frutos, especialmente quando em bandejas envoltas com fina película de polietileno de baixa densidade. Nesta situação o PLA absorveu parte do etileno e o valor máximo de a/b foi de 1,5, aos 15 dias.

Sammi e Masud (2009) embalaram tomates em filmes de polietileno com ou sem tratamento com cloreto de cálcio, ácido bórico e permanganato de potássio. Foi verificado que após 24 a 32 dias as cores das amostras controle retardaram em relação às quimicamente tratadas. Esta alteração foi devido à ação dos tratamentos sobre os frutos, uma vez que a embalagem de polietileno ajuda na retenção da cor. Além disso, o cloreto de cálcio aumentou o teor de licopeno, responsável pela cor vermelha dos tomates.

4.2.7 Contagem de bolores e leveduras

Os resultados das análises microbiológicas dos tomates embalados em diferentes tipos de filmes se encontram na Figura 17.

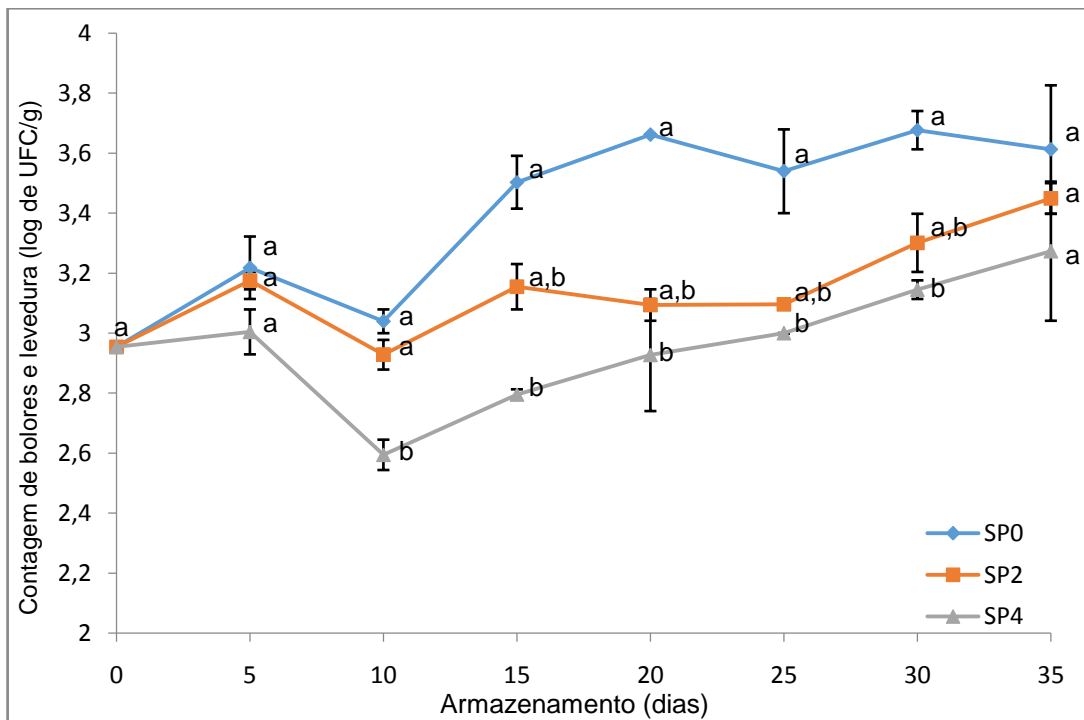
Houve diferença significativa ($p < 0,05$) da contagem entre as amostras do 10° ao 30° dia, com destaque para os tomates embalados com o filme SP4, que tinha maior teor de sorbato de potássio e cujos frutos apresentaram as menores contagens ao longo do armazenamento, atingindo uma contagem de 3,2 log UFC/g após 35 dias. Esta foi próxima a contagem inicial de 2,9 log UFC/g, indicando que a embalagem foi efetiva para controlar o desenvolvimento de bolores e leveduras.

A partir do 10° dia ocorreu um aumento na contagem de bolores e leveduras para todos os tratamentos. Provavelmente a partir do 10° dia o efeito conservador do sorbato de potássio diminuiu reduzindo desta forma sua eficiência.

Semelhante a este estudo, Hauser e Wunderlich (2011) avaliaram o uso de filmes antimicrobianos a base de ácido sórbico como embalagem. Eles concluíram que o filme produzido foi eficaz na proteção contra microrganismos patogênicos infectantes de alimentos, como *E. coli*, *Listeria monocytogenes* e leveduras.

Aguayo, Escalona e Artés (2004) realizaram contagem de bolores e leveduras em tomates cortados de diferentes maneiras, sem aplicação de antimicrobianos. A maior contagem determinada foi 7,8 log UFC/g para amostras fatiadas, embaladas em polipropileno e armazenados durante 14 dias a 5 °C.

Figura 17 – Contagem de bolores e leveduras dos tomates cereja em função do tempo de armazenamento a 12 °C e do tipo de embalagem (Filme controle, com 2 e 4% de antimicrobiano – SP0, SP2 e SP4, respectivamente).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Médias com letras iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

5. CONCLUSÕES

Filmes biodegradáveis produzidos a partir de blendas de amido, poli(adipato co-tereftalato de butileno), glicerol e sorbato de potássio apresentam propriedades adequadas para utilização como embalagem para tomate cereja *in natura*. O sorbato de potássio aumenta a alongação na ruptura e a permeabilidade ao vapor de água dos filmes devido a sua atuação como plastificante.

Os parâmetros de maturação dos frutos foram próximos para os três tratamentos, destacando-se a coloração que é o primeiro atributo de qualidade verificado pelo consumidor e teve desenvolvimento muito semelhante para os tomates embalados em filmes com 0, 2 e 4% de sorbato de potássio.

Embalagens contendo sorbato de potássio como agente antimicrobiano reduzem a contagem de bolores e leveduras de tomates cereja, característica importante para a extensão da vida de prateleira dos frutos, caracterizando-os como embalagens ativas.

REFERÊNCIAS

- AGUAYO, E.; ESCALONA, V.; ARTÉS, F. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. **Eur Food Res Technol**, v. 219, p. 492–499, 2004.
- AKBUDAK, B.; AKBUDAK, N.; SENIZ, V.; ERIS, A. Effect of pre-harvest harpin and modified atmosphere packaging on quality of cherry tomato cultivars “Alona” and “Cluster”. **British Food Journal**, v. 114, n. 2, p. 180-196, 2012.
- ALAVI, S.H.; CHEN, K.; RIZVI, S.S.H. Rheological characteristics of intermediate moisture blends of pre gelatinized and raw wheat starch. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, p.6740-6745, 2002.
- ANDRADE-MOLINA, T.P.C. **Embalagem ativa biodegradável para massa alimentícia fresca**. 2012. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.
- ANDREUCCETTI, C; FERREIRA, M.D.; TAVARES, M. Perfil dos compradores de tomate de mesa em supermercados da região de Campinas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.148-153, jan.-mar., 2005.
- ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N°8, de 06 de março de 2013.
- APPENDINI, P.; HOTCHKISS, J.H. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.3, p.113-126, 2002.
- ARTHEY, D.; PHILIP, R. A. **Fruit Processing Nutrition, Product and Quality Management**. 2.ed. Brijbasi Art Press Ltd., 2005, p. 45.
- ASTM – **American Society for Testing and Materials**. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting – D-88291. In: *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM, 1996.
- ASTM – **American Society for Testing and Materials**. Standart Test Methods for Water Vapor Transmission of Material – E-96-00. In: *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM, 2000.
- ATHMASELVI, K.A.; SUMITHA, P.; REVATHY, B. Development of Aloe vera based edible coating for tomato. **International Agrophysics**, v.27, p.369-375, 2012.
- AVÉROUS, L.; FRINGANT, C. Association between plasticized starch and polyesters: processing and performances of injected biodegradable systems. **Polymer Engineering and Science**, v.41, n.5, p.727-734, 2001.
- AZEREDO, H.M.C.; FARIA, J.A.F.; AZEREDO, A.M.C. Active packaging for foods. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.20, n.3, p.337-341, set.-dez., 2000.

BAIRD-PARKER, A.C. Ácidos orgânicos. In: INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Ecologia microbiana de los alimentos 1**. Zaragoza. Espanhola. Acribia (Ed.), 1980, p. 132-142.

BASF. **Ficha de produtos: Ecoflex**. Disponível em: www.basf.com.br/ecoflex. Acesso em 30 de outubro de 2015.

BENHABILES, M.S.; TAZDAIT, D.; ABDI, N.; LOUNICI, H.; DROUCHE, N.; GOOSEN, M.F.A.; MAMERI, N. Assessment of coating tomato fruit with shrimp shell chitosan and *N,O*-carboxy methyl chitosan on post harvest preservation. **Food Measure**, v.7, p. 66-74, 2013.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos à base de polímeros de fontes renováveis e sua aplicação no acondicionamento de pães de forma**. 2008. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BORGUINI, R.G. **Avaliação do potencial antioxidante e de algumas características físico-químicas do tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico em comparação ao convencional**. 2006. 113p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

BRANDELERO, R.P.H.; YAMASHITA, F.; GROSMANN, M.V.E. The effect of surfactant tween 80 on the hydrophilicity, water vapor permeation, and the mechanical properties of cassava starch and poly(butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) blend films. **Carbohydrate Polymers**, v.82, p.1102-1109, 2010.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 62**, de 26 de agosto de 2003.

CASTRO, L.R.de; CORTEZ, L.A.B.; VIGNEAULT, C. Effect of sorting, refrigeration and packaging on tomato shelf life. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 4, n. 1, p. 70-74, 2006.

COSTA, D. L. M. G. **Produção por extrusão de filmes de alto teor de amido termoplástico de mandioca com poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT)**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

CRIPPA, A. **Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas**. 2006. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

DAMASCENO, S.; OLIVEIRA, P.V.S.; MORO, M.; MACEDO-JR, E.K.; LOPES, M.C.; VICENTINI, N.M. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3, p.377-380, set.-dez., 2003.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.283-289, 2005.

ENDO, E.; SOARES, N.F.F.; SANTOS, D.A.A.; BORGES, S.V.; FONTES, E.A.F.; GONÇALVES, M.P.J.C. Uso de filmes ativos na conservação de batata minimamente processada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.2, p.349-360, abr.-jun., 2008.

FARIA, F.O.; VERCELHEZE, A.E.S.; MALI, S. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. **Química Nova**, v.35, n.3, p.487-492, 2012.

FARIAS, M.G.; FAKHOURI, F.M.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia marginata* D.C.) **Química Nova**, v.35, n.3, p.546-552, 2012.

FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – Uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Quím. Nova**, v.29, n.4, p.811-816, 2006.

GALICIA-GARCÍA, T.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; JIMÉNES-AREVALO, O.; MARTÍNEZ, A.B.; IBÁRRA-GÓMEZ, R.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M.; MENDOZA-DUARTE, M. Thermal and microstructural characterization of biodegradable films prepared by extrusion-calendering process. **Carbohydrate Polymers**. v.83, p.254-361, 2011.

GARCÍA-GARCÍA, I.; TABOADA-RODRÍGUEZ, A.; LÓPEZ-GOMEZ, A.; MARÍN-INIESTA, F. Active packaging of cardboard to extend shelf life of tomatoes. **Food Bioprocess Technol.**, v.6, p.754-761, 2013.

GIL, M.I.; CONESA, M.A.; ARTÉS, F. Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 25, p. 199–207, 2002.

GOMES, M.A. **Caracterização de filmes comestíveis do amido fosfatado da *Swartzia burchelli* para aplicação pós colheita em tomate cereja**. 2014. 39p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis. 2014.

GÓMES, P.; FERRER, M.A.; FERNÁNDEZ-TRUJILHO, J.P.; CALDERÓN, A.; ARTÉS, F.; EGEA-CORTINES, M.; WEISS, J. Structural changes, chemical composition and antioxidant activity of cherry tomato fruits (cv Micro-Tom) stored under optimal and chilling conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.89, p.1543-1551, 2009.

GU, S.; ZHANG, K.; REN, J.; ZHAN, H. Melt rheology of polylactide/poly(butylenes adipate-co-terephthalate) blends. **Carbohydrate Polymers**, v.74, p. 79-85, 2008.

GUERRINI, L.M.; PAULIN, P.I.; BRETAS, R.E.S. Correlação entre as propriedades reológicas, óticas e a morfologia de filmes soprados de LLDPE/LDPE. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14, n.1, p.38-45, 2004.

GUILHERME, D.O.; PINHO, L.; CAVALCANTI, T.F.M.; COSTA, C.A.; ALMEIDA, A.C. Análise sensorial e físico-química de frutos de tomate cereja orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.1, p.181-186, jan.-mar., 2014.

HAUSER, C.; WUNDERLICH, J. Antimicrobial packaging films with a sorbic acid based coating. **Procedia Food Science**, v.1, p.197-202, 2011.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRÉS, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**, v.80, p.111-118, 2007.

HILL, S.E.; LEDWARD, D.A.; MITCHELL, J.R. **Functional properties of food macromolecules**. 2. ed. Aspen Publication, 1998. 348p.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. Cap.15, p.579-586. 2008.

IGLESIAS, I.; ECHEVERRÍA, G.; SORIA, Y. Differences in fruit colour development, anthocyanin content, fruit quality and consumer acceptability of eight 'Gala' Apple strains. **Scientia horticulturae**, v. 119, p. 32-40, 2008.

ISHAQ, S.; RATHORE, H. A.; MAJEED, S.; AWAN, S.; SHAH, S. Z. A. The studies on the physico-chemical and organoleptic characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) produced in rawalakot, azadjammu and kashmir during storage. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 6, p. 856-860, 2009.

JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 151–155. 2006.

JENKINS, P.J.; DONALD, A.M. The influence of amylase on starch granule structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.17, p.315-321, 1995.

KADER, A.A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E.L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.28, n.1, 1989.

KANTOLA, M.; HELÉN, H. Quality changes in organic tomatoes packaged in biodegradable plastic films. **Journal of Food Quality**, v.24,p.167-176, 2001.

KHARE, A.; DESHMUKH, S. Studies toward producing eco-friendly plastics. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, v. 22, p. 139-210, 2006.

KRAMMES, J.G.; MEGGUER, C.A.; ARGENTA, L.C.; AMARANTE, C.V.T.; GROSSI, D. Uso do 1-metilciclopropeno para retardar a maturação de tomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p.611-614, out.-dez., 2003.

LARONTODA, F. D. S.; MATSUI, K. N.; SOLDI, V.; LAURINDO, J. B. Biodegradable films made from raw and acetylated cassava starch. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 477-484, 2004.

LEÓN-SÁNCHEZ, F.D.; PELAYO-ZALDÍVAR, C.; RIVERACABRERA, F.; PONCE-VALADEZ, M.; ÁVILA-ALEJANDRE, X.; FERNÁNDEZ, F.J.; ESCALONA-NUENDÍA, H.B.; PÉREZ-FLORES, L.J. Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.54, p.93-100, 2009.

LIMA, C.J.G.S; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; GALVÃO, D.C. Avaliação de diferentes bandejas e substratos orgânicos na produção de mudas de tomate cereja. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.40, n.1, p.123-128, jan.-mar., 2009.

LINDSAY, R.C. Aditivos Alimentares. In: DAMODARAN, S., PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. (Eds). *Química e Alimentos de Fennema*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, p.537-583.

LIU, H.; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. **Progress in Polymer Science**, v.34, p.1348-1368, 2009.

MACHADO-NETO, A. S. **Viabilidade agroeconômica da produção de tomate de 'mesa' sob diferentes sistemas de cultivo e manejo de adubação**. 2014. 108f. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

MAIA, L.H.; PORTE, A.; SOUZA, V.F. Filmes comestíveis: Aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos – B. CEPPA**, v.18, n.1, p.105-128, 2000.

MAJIDI, H.; MINAEI, S.; ALMASSI, M.; MOSTOFI, Y. Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. **Journal of Food Scientists and Technologists**, v. 51, n. 9, p. 2155-2161, 2012.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.1, p.137-156, jan.-mar., 2010.

MALI, S.; SAKANAKA, L. S.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v.60, p.283-289, 2005.

MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber, 2005. 428p.

MARENCO, V.A.; VERCELHEZE, A.E.S.; MALI, S. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, v.36, n.5, p. 680-685, 2013.

MELO, P.C.T.; VILELA, N.J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.154-157, jan.-mar., 2005.

MIRANDA, V.R.; CARVALHO, A.J.F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, v.21, n.5, p.353-360, 2011.

MORAES, A.R.F.; GOUVEIA, L.E.R.; SOARES, N.F.F.; SANTOS, M.M.S.; GONÇALVES, M.P.J.C. Desenvolvimento e avaliação de filme antimicrobiano na conservação de manteiga. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.27, p.33-36, 2007.

MORAES, A.R.F.; VIDIGAL, M.C.T.R.; SOARES, N.F.F.; MORAES, L.P.; MELO, N.R.; GONÇALVES, M.P.J.C. Desenvolvimento e aplicação de filme antimicrobiano aromatizado para aplicação em massa de pastel. **Ciência Rural**, v.41, n.3, p.537-545, 2011.

MOURA, M.L.; FINGER, F.L.; MIZOBUTSI, G.P.; GALVÃO, H.L. Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate 'Santa Clara' e do mutante 'Firme'. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.81-85, jan.-mar., 2005.

NASRIN, T.A.A.; MOLLA, M.M.; ALAMGIRHOSSAEN, M.; ALAM, M.S.; YASMIN, L. Effect of post harvest treatments on shelf life and quality of tomato. **J. Agril. Res.**, v. 33, n. 3, p. 579-585, 2008.

OLIVATO, J.B. **Compatibilizantes na extrusão reativa de blendas amido/poli(butileno adipato co-tereftalato) para produção de filmes biodegradáveis**. 2010. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2010.

OLIVEIRA, L.M.; OLIVEIRA, P.V.L. Revisão: Principais Agentes Antimicrobianos Utilizados em Embalagens Plásticas. **Braz. J. Food. Tech.**, v.7, n.2, p.161-165, 2004.

OLIVEIRA, T.A.; LEITE, R.H.L.; AROUCHA, E.M.M.; FERREIRA, R.M.A. Efeito do revestimento de tomate com biofilme na aparência e perda de massa durante o armazenamento. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p. 230-234, jan.-mar., 2011.

OPIYO, A.M.; YING, T.J. The effects of 1-methylcyclopropene treatment on the shelf life and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*) fruit. **International Journal of Food Science and Technology**, v.40, p.665-673, 2005.

OZDEMIR, M.; FLOROS, J.D. Active food packaging technologies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.44, p.185-193, 2004.

PARK, S.I.; STAN, S.D.; DAESCHEL, M.A.; ZHAO, Y. Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria x ananassa*) to control mold growth during cold storage. **Journal of Food Science**, v.70, n.4, p.202–207, 2005.

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

REDDY, N.; YANG, Y. Citric acid cross-linking of starch films. **Food Chemistry**, v. 118, n. 3, p. 702-711, 2010.

REN, J.; FU, H.; REN, T.; YUAN, W. Preparation, characterization and properties of binary and ternary blends with thermoplastic starch, poly(lactic acid) and poly(butylenes adipate-co-terephthalate). **Carbohydrate Polymers**, v.77, p.576-582, 2009.

RITA, F.; SALLES, L.B.; BARBOZA, R.A.; OLIVEIRA, M.C.; PRESTES, R.A.; ALMEIDA, D.M. Atividade antimicrobiana de biofilme com óleos essenciais para conservação pós-colheita de tomate cvrasteiro. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.5, p.466-474, 2011.

ROJAS-GRAÜ, A.; OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 875-889, 2009.

ROSA, D.S.; GUEDES, C.G.F.; PEDROSO, A.G.; CALIL, M.R. The influence of starch gelatinization on the rheological, thermal, and morphological properties of poly(ϵ -caprolactone) with corn starch blends. **Materials Science and Engineering**, v.24, p.663-670, 2004.

SAMMI, S.; MASUD, T. Effect of different packaging systems on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) during different ripening stages. **Internet Journal of Food Safety**, v.9, p. 37-44, 2007.

SANTOS, R.A.L. **Aplicação de nanoargilas no desenvolvimento de filmes biodegradáveis**. 2010. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2010.

SCANNELL, A.G.M; HILL, C.; ROSS, R.P.; MARX, S.; HARTMEIER, W.; ARENDT, E.K. Development of bioactive food packaging materials using immobilized bacteriocins Lacticin 3147 and Nisaplin. **J. Food Microbiol.**, v.60, n.2-3, p.241-249, 2000.

SHIMAZU, A.A.; MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.1, p.79-88, jan.-mar., 2007.

SILVA, A.C.; COSTA, C.A.; SAMPAIO, R.A.; MARTINS, A.R. Avaliação de linhagens de tomate cereja tolerantes ao calor sob sistema orgânico de produção. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.3, p.33-40, jul.-set., 2011.

SOBRAL, P.J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos a base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.

SOUSA, A.A.; GRIGIO, M.L.; NASCIMENTO, C.R.; SILVA, A.C.D.; REGO, E.R.; REGO, M.M. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agro@ambiente** On-line, v. 5, n. 2, p. 113-118, 2011.

SOUZA, A.M.M. **Aplicação de biopolímeros extraídos de algas na produção de embalagens biodegradáveis**. 2008. 47p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Porto, Porto. 2008.

SUPPAKUL.P.; MILTZ, J.; SONNEVELD, K.; BIGGER, S.W. Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. **Journal of Food Science**, v.68, n.2, p.408-420, 2003.

TALJA, R. A.; HELÉN, H.; ROSS, Y. H.; JOUPPILA, K. Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. **Carbohydrate Polymers**, v.71, n.2, p.269-276, 2008.

TAPIA-BLÁCIDO, D.; SOBRAL, P.J.; MENEGALLI, F.C. Effects of drying temperature and relative humidity on the mechanical properties of amaranth flour films plasticized with glycerol. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.22, n.2, p.249-256, 2005.

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

TOSATI, J.V. **Determinação da taxa de respiração de tomate cereja e da permeabilidade à gás de filme comestível a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)**. 2013. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

VALENTE, C.; CORNELIO, G.; BIANQUINI, L. Produção de lixo no Brasil é cinco vezes maior que o crescimento populacional. **Jornalismo Especializado**. Disponível em: <https://jornalismoespecializadounesp.wordpress.com/2016/02/22/produção-de->

[lixo-no-brasil-e-cinco-vezes-maior-que-o-crescimento-populacional/](#) Acesso em 02 Fev 2017.

VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita**. 2003. 62f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de ciências agrônômicas da UNESP, São Paulo, 2003.

VUNNAM, R.; HUSSAIN, A.; NAIR, G.; BANDLA, R.; GARIEPY, Y.; DONNELLY, D.J.; KUBOW, S.; RAGHAVAN, G.S.V. Physicochemical changes in tomato with modified atmosphere storage and UV treatment. **Journal of Food Science and Technology**, 2012.

WITT, U.; EINIG, T.; YAMAMOTO, M.; KLEEBERG, I.; DECKWER, W.D.; MÜLLER, R.J. Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates. **Chemosphere**, v.44, p.289-299, 2001.

WORKNEH, T. S.; OSTHOFF, G.; STEYN, M. Effects of preharvest treatment, disinfections, packaging and storage environment on quality of tomato. **J Food Sci Technol**, v. 49, n. 6, p. 685–694, 2012.

ŽNIDARČIČ, D.; POŽRL, T. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (*Lycopersicon esculentum* Mill.) whilst stored at different temperatures. **Acta agriculturae Slovenica**, v. 87, n. 2, p. 235-243, 2006.