



BEATRIZ RIBEIRO CABRAL

**DEGRADAÇÃO DE FILMES DE ISOLADO PROTEICO DE
SORO DE LEITE DURANTE ARMAZENAMENTO**

**LAVRAS – MG
2019**

BEATRIZ RIBEIRO CABRAL

**DEGRADAÇÃO DE FILMES DE ISOLADO PROTEICO DE
SORO DE LEITE DURANTE ARMAZENAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Alimentos, para
a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges

Orientadora

Msc. Ana Carolina Salgado de Oliveira

Coorientadora

**LAVRAS – MG
2019**

BEATRIZ RIBEIRO CABRAL

**DEGRADAÇÃO DE FILMES DE ISOLADO PROTEICO DE SORO DE
LEITE DURANTE ARMAZENAMENTO**

**DEGRADATION OF WHEY PROTEIN ISOLATE FILMS DURING
STORAGE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Alimentos, para
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 26 de novembro de 2019.

Dra. Soraia Vilela Borges

Dra. Marali Vilela Dias

Msc. Ana Carolina Salgado de Oliveira

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges

Orientadora

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por caminhar sempre ao meu lado e, em outros momentos, me carregar no colo. Por guiar todos os meus passos e permitir a conquista de mais esta vitória em minha vida.

A Santíssima Virgem Maria, por passar na frente e abençoar meus caminhos, me concedendo força, sabedoria e tranquilidade durante cada passo de minha caminhada.

Aos meus pais, Antônia e Dimas, pelo amor, carinho, confiança, apoio, incentivo e por me ensinarem que conhecimento é algo que ninguém tira, e que o caminho certo da vida é aquele sentimento que vem do coração. Serei eternamente grata, pois sem vocês eu não chegaria até aqui! Amo vocês!

Ao meu irmão Gabriel, pelo amor e força, por ter feito parte dessa caminhada comigo, pelos ensinamentos quando moramos juntos e pelo que aprendo com você a cada dia, pelo o amor que temos um pelo outro apesar de nossas diferenças. Admiro sua dedicação e força de vontade, você é um exemplo para mim. Amo você!

A minha tia Inês e toda sua família, presentes que Deus colocou em minha vida. Tia Inês, uma pessoa iluminada e especial que a vida me presenteou. Amada Tia Inês, agradeço por seu amor, compreensão, carinho, cuidado e por sua alegria. Agradeço à senhora e sua família por me acolherem em sua casa como um membro da família, como uma filha (uma “filha morena”). Gratidão! Amo vocês!

A minha linda família Cabral e Ribeiro, pelo incentivo, apoio, atenção e amor. Amo vocês!

A minha orientadora, Dr. Soraia Vilela Borges, pela orientação, conselhos, confiança, amizade, apoio, dedicação e por sempre me ouvir. Serei eternamente grata por tudo que me proporcionou até hoje. Simplesmente lhe digo: Muito obrigada amiga!!!

A minha coorientadora, Ana Carolina, pela amizade, orientação, apoio, conselhos e por fazer parte dessa caminhada comigo. Muito obrigada minha amiga! Você foi um presente que Deus colocou no meu caminho!

À professora Marali por me conceder a primeira oportunidade de pesquisa na UFLA iniciando meu aprendizado no laboratório de embalagens, pela amizade, pelos ensinamentos, pela orientação e pelos conselhos. Muito obrigada amiga!!

A Karina uma amiga, companheira, por estar sempre presente em minha vida, pela convivência diária, pelos estudos juntas, pelo aprendizado e por acreditar que a distância na verdade aproxima e fortalece ainda mais os verdadeiros amigos.

A Tati e a Poly pela amizade, companheirismo, pelas horas de caminhada, pelas

conversas e os momentos de café, e por fazerem parte da minha vida. Obrigada pela amizade de vocês!

Ao Nathan pela amizade, carinho e por nossos cafés, a amizade será para sempre!

A todos os meus amigos do nosso novo, pequeno e aconchegante Laboratório de Embalagens da UFLA, em especial Lucas, Laura, Taline, Gleyca, Catarina, Raíssa e Eloá pelo carinho e atenção.

Aos amigos que conquistei na UFLA que me proporcionaram momentos felizes com muitas risadas e muita produtividade, pelos horários de almoço, pelos cafés na Cafesal e pelos momentos na cantina.

Aos meus professores durante a graduação pelos ensinamentos, dedicação e orientações. Vocês me inspiram na minha busca pelo aprendizado. Obrigada!

A FAPEMIG pelo apoio financeiro durante a graduação com os recursos para o desenvolvimento deste projeto.

Enfim, a minha eterna gratidão à Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelo ensino gratuito e de qualidade e a todos os professores, laboratoristas e funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos, pela colaboração, carinho e atenção durante toda a minha vida acadêmica.

A todos os meus amigos, que com simples gestos de carinho e amizade, estiveram presentes em cada momento da minha vida. É com muita alegria e uma saudade que chega a doer que aqui me despeço da Universidade Federal de Lavras!!

Muito Obrigada!

RESUMO

Uma alternativa aos polímeros convencionais utilizados em embalagens, os quais têm demorada degradação, estão os polímeros biodegradáveis, que possuem um tempo de degradação reduzido, garantindo além da proteção do alimento um descarte seguro no ambiente. Neste estudo foi analisado o comportamento do ácido ascórbico em filme a base de isolado proteico de soro de leite, sendo incrementado com o agente plastificante glicerol. As amostras continham a base de isolado proteico (6%(p/v)), o plastificante glicerol (30%(p/p)) e as variações de ácido ascórbico (0, 1, 2 e 3% (p/v)) como agente oxidante. Os filmes foram analisados através da degradação estrutural (FTIR, mecânica, permeação ao vapor de água e ótica) ao longo de 05 meses de armazenamento. Como resultados, a presença de ácido ascórbico levou a um aumento na rigidez do filme, a uma diminuição na permeabilidade e aumento na intensidade da cor nos filmes ao longo do tempo, evidenciando o início da degradação dos filmes. A degradação se deve, principalmente, a oxidação do ácido ascórbico em ácido deidroascórbico e a hidroflicidade das proteínas do isolado.

Palavras-chave: Ácido ascórbico. Isolado proteico de soro de leite. Polímero. Degradação.

ABSTRACT

An alternative to conventional packaging polymers, which have slow degradation, are biodegradable polymers. These have a reduced degradation time, ensuring food protection and safe disposal in the environment. In this study, the behavior of ascorbic acid in whey protein isolate film was analyzed. Samples contained protein isolate base (6% (w/v)), glycerol plasticizer (30% (w/v)) and ascorbic acid variations (0.1, 2 and 3% (w/v)) as oxidizing agent. The films were analyzed through structural degradation (FTIR, mechanical, water vapor permeation and optical) over 05 months of storage. As a result, the presence of ascorbic acid led to an increase in film stiffness, a decrease in permeability and an increase in color intensity in the films over longer times, evidencing the onset of degradation of films. The degradation is mainly due to the oxidation of ascorbic acid to dehydroascorbic acid and the protein hydrophilicity of the isolate.

Keywords: Ascorbic acid. Whey protein isolate. Polymer. Degradation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Soro do leite	10
2.2 Ácido ascórbico	11
2.3 Filmes de isolado proteico do soro do leite	13
2.4 Embalagens biodegradáveis	14
2.5 Degradação de polímeros	15
3 MATERIAL E METODOS	17
3.1 Material.....	17
3.2 Planejamento experimental	17
3.3 Desenvolvimento dos filmes	18
3.4 Condicionamento e espessura dos filmes	18
3.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier.....	18
3.6 Permeabilidade ao vapor d'água	19
3.7 Propriedades Mecânicas.....	19
3.8 Análise Óptica	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier.....	20
4.2 Permeabilidade ao vapor d'água	23
4.3 Propriedades mecânicas	23
4.4 Análise Óptica	26
5 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXO A.....	35
ANEXO B.....	36
ANEXO C.....	38

1 INTRODUÇÃO

O impacto ambiental provocado pela deposição de materiais de embalagens não renováveis no meio ambiente tem gerado o desenvolvimento de filmes biodegradáveis. A poluição causada pelo descarte de resíduos plásticos derivados do petróleo (plásticos convencionais) no ambiente acarreta um sério problema ambiental, já que esse tipo de material vem sendo consumido em larga escala (materiais e equipamentos), além de serem materiais resistentes a degradação natural. A utilização de filmes e revestimentos biodegradáveis é uma alternativa para substituição dos plásticos convencionais. Nesse sentido, têm se o interesse nos biofilmes para revestimento em alimentos com rápida degradação após o descarte, que também confirmam proteções físicas e biológicas ao produto.

Polímeros biodegradáveis podem ser obtidos por meio de diferentes formas como, sintetizados por microorganismos, de origem animal, de fonte natural renovável ou ainda de origem petrolífera. Os polímeros para serem considerados biodegradáveis devem sofrer degradação de microrganismos e enzimas, resultando em água, dióxido de carbono e biomassa. Atualmente, polímeros biodegradáveis obtidos de fontes renováveis têm despertado o interesse do campo acadêmico e industrial, por gerarem um menor impacto ambiental, devido ao balanço positivo de carbono.

O isolado de soro de leite (IPS) tornou-se um ingrediente chave da indústria de alimentos, devido ao seu potencial de poder formar filmes transparentes e revestimentos. Os filmes a base de IPS possuem boa capacidade filmogênica, elevada transparência e boas propriedades de barreiras a gases, incluindo aromas. Porém reduzida barreira à luz, baixas propriedades mecânicas de permeabilidade ao vapor de água, solubilidade quando comparados às embalagens plásticas. Além disso, por apresentar em algumas limitações em relação às suas características mecânicas fazem-se necessário o uso de plastificantes para melhorar a resistência à transferência de umidade e aumentar a flexibilidade. Dentre esses plastificantes, encontram-se os polióis (glicerol, sorbitol e polietileno glicol). Os filmes plastificados com glicerol apresentam fácil manuseio, devido a diminuição das interações entre as cadeias de polímero favorecendo o movimento da corrente e facilitando o alongamento, o que promove uma maior capacidade de deformação sem quebrar.

O ácido ascórbico (AA) é um ácido fraco solúvel em água e um antioxidante natural que possui aplicações nas mais diversas áreas como a alimentícia, agrícola e farmacêutica. Pesquisas recentes envolvendo alimentos nas quais se desenvolveram filmes ativos contendo AA evidenciaram sua atuação como antioxidante, protegendo as propriedades sensoriais e

nutricionais dos alimentos. Além disso, a incorporação de antioxidantes em filme pode melhorar as propriedades funcionais do material de embalagem sendo eficaz em baixas concentrações devido à sua atividade localizada e controlada nas interfaces do polímero. Estudos sobre a utilização de AA incorporado a filmes de IPS com intuito de avaliar a ação antioxidante do ácido sobre alimentos apresentaram resultados satisfatórios.

A degradação consiste em qualquer reação química capaz de alterar a qualidade de interesse de um composto ou material polimérico, sendo “qualidade de interesse” a característica inerente ao uso, como por exemplo, podem ser considerados, a flexibilidade, a resistência elétrica, o aspecto visual, a resistência mecânica, a dureza, etc. Assim, o envelhecimento ou alteração das propriedades de um polímero é resultante de reações químicas de diferentes tipos, podendo ser causada por eventos diferentes, dependendo do material, da forma de processamento e do seu uso. Os elementos que podem promover o envelhecimento de um polímero são a temperatura, oxigênio, radiação ultravioleta, água e poluentes, resultando em efeitos no polímero como perda de transparência, perda de cor, fragilidade e perda de flexibilidade.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a degradação estrutural, mecânica, permeação ao vapor de água e ótica de uma embalagem de IPS incorporada com agente antioxidante ácido ascórbico ao longo de 05 meses de armazenamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Soro do leite

A Portaria de número 53/2013 (MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) define o soro do leite como sendo “o líquido obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos, caseína ou produtos lácteos similares”, além de dar origem ao “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Soro de Leite” (BRASIL, 2013, p. 6).

O soro de leite é um subproduto ou coproduto da indústria de laticínios (BOŽANIĆ et al., 2014). Apresenta-se como a parte aquosa do leite de cor amarelo-esverdeado e opaco, após a remoção da gordura e caseína. É considerado nutricionalmente rico por conter elevada variedade de micro e macronutrientes como proteínas, carboidrato (lactose), lipídeos, cálcio e vitaminas do complexo B (ALVES et al., 2014).

As proteínas destacam-se dentre os nutrientes presentes no soro de leite, pois após o processamento do leite aproximadamente 20% de seu conteúdo total permanecerem no soro; além de serem ricas em aminoácidos essenciais, sulfurados e de cadeia ramificada, sendo consideradas de alto valor biológico (ALVES et al., 2014). As proteínas do soro de leite apresentam características físico-químicas que tornam este produto um ótimo material para a incorporação em produtos alimentícios (CASTRO et al., 2017).

As principais proteínas presentes no soro do leite são as β -lactoglobulinas, α -lactalbuminas, imunoglobulinas, proteose-peptonas e albumina de soro bovino, encarregadas por acrescentar desejáveis propriedades funcionais tecnológicas como solubilidade (mesmo em baixo pH), capacidade de formação de espuma e propriedades emulsionantes, além de capacidade de formação de gel e valor nutricional durante a fabricação de produtos (DEVRIES; PHILLIPS, 2015; CASTRO et al., 2017). Atuam como importantes ferramentas no desenvolvimento de novos produtos em diversos estudos de diferentes tecnologias de modificação de proteínas, como filmes, revestimentos, hidrogéis e nanopartículas, ressaltando-se a importância da aplicabilidade das proteínas do soro de leite como componente alimentar, sobretudo em função das características estruturais e reológicas dos produtos obtidos (MOAKES et al., 2015; TARHAN et al., 2016).

Basicamente são gerados para cada quilo de queijo produzido 9 kg de soro de leite. Grande fração do subproduto gerado dessa produção era há alguns anos descartado em rios, mares e esgoto, ocasionando em um sério problema ambiental, devido esse material apresentar uma alta taxa de demanda bioquímica de oxigênio, aproximadamente 100 vezes maior que a do esgoto doméstico, tornando-o um produto altamente poluente (NUNES et al., 2018).

No entanto, nos dias atuais, a indústria de alimentos desenvolve inúmeros produtos a fim de aumentar seu aproveitamento e utilização. Dentre eles podemos citar: bebidas lácteas, soro de leite em pó, doce de leite, sorvetes, lactose, isolado proteico de soro de leite, concentrado proteico de soro de leite, entre outros (NUNES et al., 2018).

2.2 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico é um ácido carboxílico fraco solúvel em água que desperta um grande interesse para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, devido principalmente a sua ação antioxidante. A ação antioxidante do AA é referente ao desempenho de seu papel fisiológico fundamental na eliminação de espécies reativas de oxigênio, a sua capacidade de doação de átomos de hidrogênio, neutralizando radicais livres, além de sua segurança na

utilização em alimentos. Entretanto, pode causar em sistemas alimentares que os contêm problemas de instabilidade e degradação, em função de sua natureza reativa e por se tratar de um composto oxidativo (FENNEMA, DAMODARAN, & PARKIN, 2010; ABBAS et al., 2012; FANG et al., 2017).

Naturalmente presente nos alimentos, principalmente em frutas e vegetais, o ácido ascórbico tem sido utilizado como antioxidante, estabilizante e aditivo nutricional, com o intuito de prolongar a vida de prateleira de alimentos e bebidas. (PÉNICAUD et al., 2010 ; PARBHUNATH et al., 2014). Entretanto, o ácido ascórbico é altamente susceptível à degradação por exposição ao calor, além disso diversos fatores podem afetar sua estabilidade durante o armazenamento, como por exemplo, o pH do meio, a presença de oxigênio e de íons metálicos. Portanto, ao longo do armazenamento ou do processamento o ácido ascórbico está sujeito a significativas perdas, sendo oxidado (química ou enzimaticamente) a ácido deidroascórbico (TARRAGOTRANI et al., 2012; SPÍNOLA et al., 2013).

O ácido ascórbico tem sua eficácia relacionada à sua capacidade de sofrer oxidação. O ácido L-ascórbico, também chamado de vitamina C, é um agente redutor e um antioxidante natural solúvel em água utilizado para a conservação de alimentos. Inicialmente, sua oxidação ocorre após a ionização dos grupos hidroxila no segundo e terceiro carbonos e subsequente perda de 2 prótons e 2 elétrons produzindo o ácido desidroascórbico. Entretanto, o ácido desidroascórbico ao ser oxidado a ácido 2,3-diceto-L-gulônico, perde seu efeito antioxidante (KIM; LEE, 2018) .

O ácido ascórbico (AA) devido as suas propriedades antioxidantes e redutoras, além de sua função nutricional por ser fonte de vitamina C tem sido amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética, etc. Na indústria alimentícia, o AA tem sido utilizado como um ingrediente ou aditivo, sendo frequentemente utilizado para conservação de alimentos, como por exemplo, na cura e inibição de carne, no escurecimento enzimático de frutas e legumes. Além disso, vários autores têm estudado a incorporação de AA em filmes comestíveis usados para revestir frutas minimamente processadas. A capacidade do AA de doar átomos de hidrogênio para proteger outras espécies químicas da oxidação, a partir da neutralização de radicais livres é o principal motivo de sua grande demanda de aplicação como um aditivo alimentar natural (CHIARAPPA et al., 2018; WANG et al., 2018).

2.3 Filmes de isolado proteico do soro do leite

A crescente preocupação ambiental em função de quase todos os recursos utilizados na produção de embalagens de alimentos serem não degradáveis, tem aumentado as pesquisas com polímeros biodegradáveis. Filmes poliméricos sintetizados quimicamente apresentam sérias desvantagens, por não serem biodegradáveis e por sua base petroquímica. Portanto, uma solução promissora em detrimento do uso de polímeros sintéticos é a produção de filmes ou revestimentos à base de biopolímeros, incluindo polissacarídeos, proteínas e lipídios, devido à sua biodegradabilidade. As proteínas e, principalmente, o isolado proteico do soro de leite tem-se destacado entre os vários biopolímeros biodegradáveis utilizados na formação de filmes (QAZANFARZADEH; KADIVAR, 2016; SCHMID et al., 2017).

A proteína de soro de leite tornou-se um ingrediente chave da indústria de alimentos, devido ao seu potencial de poder formar filmes transparentes e revestimentos, cujas propriedades mecânicas e de barreira são melhores do que os filmes à base de polissacarídeos. Entretanto, filmes e revestimentos de proteína de soro de leite apresentam algumas limitações em relação às suas características mecânicas, fazendo-se necessário o uso de plastificantes para melhorar a resistência à transferência de umidade e aumentar a flexibilidade e extensibilidade, como polióis (glicerol, sorbitol e polietileno glicol) (BASIAK et al., 2016 ; RAMOS et al., 2013). Além disso, apresentam alta absorção de umidade devido à sua natureza hidrofílica (ERDEM et al., 2019).

Os filmes plastificados com polióis, especialmente o glicerol, normalmente apresentam fácil manuseio, pelo fato de o glicerol diminuir as interações entre as cadeias de polímero favorecendo o movimento da corrente e facilitando o alongamento, o que promove uma maior capacidade de deformação sem quebrar (KUREK et al., 2014).

A aplicação de filmes proteicos é limitada em produtos que necessitam de barreira à umidade em razão de sua natureza hidrofílica, devendo ser reforçados ou modificados para correção dessa deficiência (SOARES; SILVA; OLIVEIRA, 2016). No entanto, filmes à base de proteína de soro de leite incorporados com óleo de girassol apresentam uma natureza hidrofóbica, diminuindo a permeabilidade ao vapor de água (ERDEM; DDBLAN; KAYA, 2019). Além disso, a aplicação de filmes produzidos com proteína de soro de leite irradiada apresenta-se como uma boa barreira à perda de umidade de maçãs e à solubilidade em água dos filmes biodegradáveis (FERNANDES, 2015).

Por outro lado, filmes de isolado proteico do soro de leite têm boas propriedades de barreiras ao oxigênio; possuem aroma agradável; capacidade de formação de emulsão, espuma

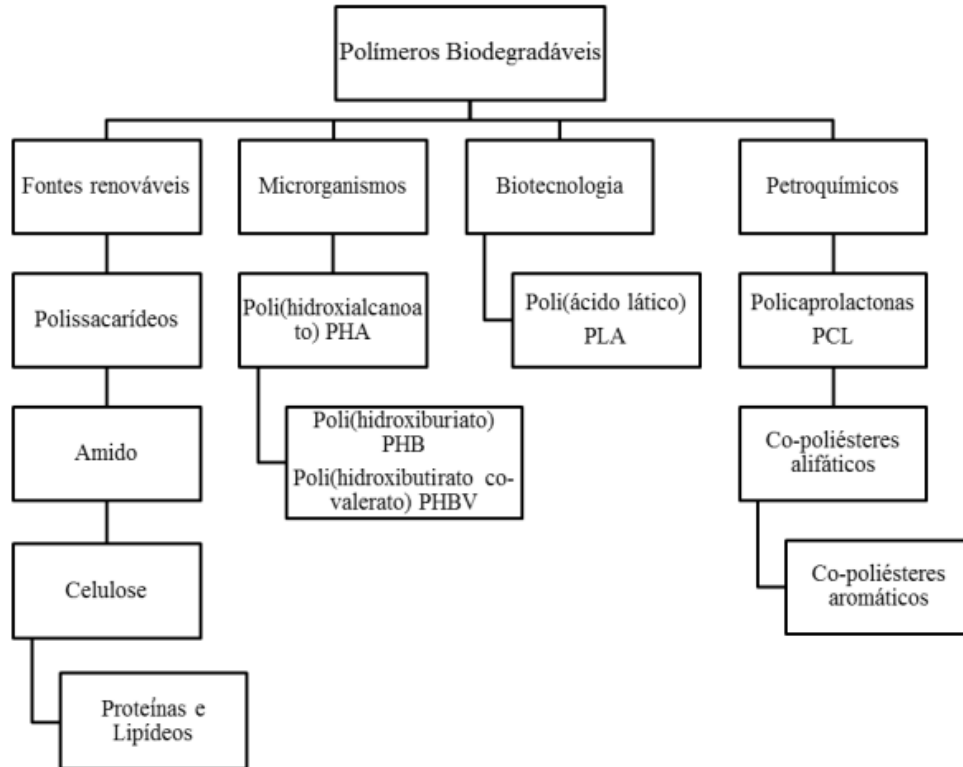
e gelificação e têm sido considerados bons transportadores de agentes antioxidantes, antimicrobianos, pigmentos e sabores (SCHMID et al., 2017). Filmes de isolados de proteína do soro de leite incorporados com montmorilonita combinada com ácido cítrico mostraram-se eficazes na preservação de fatias de maçã minimamente processadas, reduzindo a perda de qualidade ao manter as características de cor e acidez do produto, além de ajudar nas propriedades de barreira (AZEVEDO et al., 2018).

2.4 Embalagens biodegradáveis

A principal função de uma embalagem é atuar como barreira a impactos físicos e/ou mecânicos. Além de proteção a reações químicas e desenvolvimento de microrganismos, mantendo as características nutricionais, físicas, organolépticas e sanitárias dos alimentos durante o período de estocagem, transporte e comercialização do produto (HOSSEINI et al., 2015; SOUZA et al., 2017). Nos últimos anos, intensificaram-se os estudos com embalagem biodegradável, biocompatível, ambientalmente amigável, renovável, sustentável, verde e biopolímeros (KOSHY et al., 2015; MELLINAS et al., 2015). O descarte de embalagens poliméricas sintéticas gera intensa preocupação ambiental, devido sua lenta degradação, aumentando o interesse pelo desenvolvimento embalagens biodegradáveis provenientes de fontes naturais renováveis, em função de sua capacidade de formar contínuas matrizes poliméricas, manter a qualidade e prolongar a vida útil dos alimentos (KOSHY et al., 2015; ROCHA et al., 2014).

De acordo com sua definição, polímeros biodegradáveis são polímeros cuja degradação ocorre pela ação direta de microrganismos de ocorrência natural no meio, tais como bactérias, fungos e algas (ASTM D883-12, 2015). Os polímeros fragmentados são utilizados pelos microrganismos como fonte de alimento e energia. Compete ainda salientar os produtos resultantes da decomposição desses materiais: água, dióxido de carbono e biomassa (CALABIA et al., 2010). Filmes biodegradáveis podem ser derivados de fonte animal, como proteínas ou quitosana, oriundos de fontes naturais renováveis como celulose ou batata, serem sintetizados por bactérias a partir de pequenas moléculas como o ácido butírico ou o ácido valérico originando o polihidroxibutirato e o polihidroxibutirato-co-valerato (MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2005; SINHARAY; BOUSMINA, 2005). Também podem ser obtidos de fontes fósseis, petróleo, ou da combinação entre biomassa e petróleo, como por exemplo, a policaprolactona. A Figura 1 mostra a classificação em relação a matéria prima para alguns polímeros biodegradáveis:

Figura 1 – Classificação de alguns polímeros biodegradáveis de acordo com sua fonte de obtenção.



Fonte: adaptado de Avérous (2008).

Existe em nível mundial um considerável crescimento no interesse por polímeros biodegradáveis. Apesar disso, algumas dificuldades são enfrentadas pelo mercado como o alto custo de produção dos plásticos biodegradáveis em comparação aos plásticos convencionais (PUGLIA, et al., 2014). As principais aplicações desses materiais são na área médica, setor alimentício e na agricultura. Em suas aplicações destacam-se os polímeros biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis, devido ao o balanço positivo de dióxido de carbono após compostagem e ao baixo impacto ambiental causado em função da sua origem.

No setor alimentício ressalta-se a utilização das proteínas do soro de leite que, quando obtidas de forma adequada, apresentam um elevado potencial para a aplicação como embalagem, em função de sua capacidade de formar filmes flexíveis, transparentes e sem odores (FERNANDES et al., 2015).

2.5 Degradação de polímeros

Define-se degradação como qualquer reação química capaz de alterar a qualidade de interesse de um composto ou material polimérico, sendo “qualidade de interesse” a

característica inerente ao uso de um determinado artefato polimérico, como por exemplo, podem ser considerados, a flexibilidade, a resistência elétrica, o aspecto visual, a resistência mecânica, a dureza, etc (DE PAOLI, 2008).

Assim, o envelhecimento ou alteração das propriedades de um polímero é resultante de reações químicas de diferentes tipos, que podem ser intramoleculares ou intermoleculares, seja por um processo de despolimerização, de oxidação, de reticulação ou de cisão de ligações químicas, resultantes de inúmeras condições aos quais são submetidos, dependendo do material, da forma de processamento e do seu uso (DE PAOLI, 2008; LIMA et al., 2017).

Materiais poliméricos no período de sua produção (processamento e uso) estão expostos a vários tipos de intemperismos que desencadeiam as reações de degradação. Diversos fenômenos e situações contribuem para diferentes formas (mais drásticas ou mais brandas) de iniciação do processo de degradação. Estas formas de iniciação representam um modo de fornecer energia para o sistema com o intuito de quebrar as ligações químicas superando a barreira de potencial dando início as reações de degradação e geração de diferentes produtos (CARPENEDO, 2014). Quebra da ligação de sua cadeia principal ou lateral, reações intramoleculares, oxidação, aumento da temperatura, radiação fotoquímica, cisalhamento mecânico e radiação de alta energia são os diferentes processos que induzem o processo de degradação. Um polímero degradado é acometido por inúmeras características: modificações na superfície do material, descoloração (amarelecimento), endurecimento superficial, superfície quebradiça, e decaimento de suas propriedades mecânicas e gerais (FELISBINO et al., 2018).

A princípio o termo envelhecimento era utilizado na designação das alterações observadas nas propriedades dos polímeros após estes serem submetidos a um tempo longo de estocagem ou de trabalho, mesmo sem a ação de uma carga aplicada. O fato do processo de envelhecimento modificar as propriedades do polímero ao longo do tempo ressalta a importância da caracterização mecânica do material em intervalos de tempo grandes. É possível, por exemplo, um material se tornar inadequado para uma dada aplicação, devido a ocorrência da redução da resistência mecânica ou o comprometimento da estabilidade dimensional do polímero (BRINSON,2008; HUTCHINSON, 1995).

Segundo a literatura, o envelhecimento de polímeros pode ser classificado em dois tipos principais: o envelhecimento físico e o envelhecimento químico. De um modo geral, o envelhecimento físico trata-se do rearranjo ao longo do tempo das cadeias do polímero, caracterizando-se por se um fenômeno termodinâmico. Já o envelhecimento químico envolve a modificação da estrutura molecular (quebra de cadeias, alteração na configuração molecular, formação de ligações cruzadas, entre outras) do polímero por reações químicas, ocasionando a

degradação do material. Enquanto o envelhecimento físico é um fenômeno reversível, ou seja, leva a alterações somente na conformação da estrutura molecular (sem a alteração da integridade das cadeias) e no volume livre interno; o envelhecimento químico é um processo essencialmente irreversível, pois leva a alterações na configuração molecular (MAXWELL, 2005; BRINSON, 2008).

Atualmente, o estudo da degradação é de suma importância e fundamental, visto a complexidade dos fenômenos desencadeadores do envelhecimento que envolvem mecanismos químicos, físicos e cinéticos, e sua influência sobre as propriedades de um polímero ao longo do tempo. Além de, principalmente, pela busca de novos materiais com reduzido tempo de degradação, devido a elevada quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente. Filmes produzidos com amido e poli (hidroxiéster éter) tiveram suas propriedades elásticas afetadas pelo envelhecimento, com diminuição do módulo de elasticidade e da resistência a tração (LAWTON; DOANE; WILLETT, 2006). Estudos com filmes de Poli (3-hidroxi-butirato)-co-poli (3-hidroxi-valerato) e poli (3-hidroxi-butirato) apresentaram aumento no módulo de elasticidade, diminuição da resistência a ruptura e inalteração da resistência à tração, durante avaliação do envelhecimento físico por um período de seis meses (SRUBAR et al., 2012).

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Material

Isolado proteico de soro de leite (IPS - 9400) fornecido pela *HilmarIngredients*(Hilmar, CA, EUA), glicerol (*Sigma-Aldrich*, St. Louis, MO, EUA) e ácido ascórbico (*Vetec Química Fina*, RJ, Brasil).

3.2 Planejamento experimental

O experimento foi conduzido usando um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). As concentrações de ácido ascórbico (AA) testadas foram de 0, 1, 2 e 3% (p/p) em relação ao polímero base, sendo as codificações utilizadas para os tratamentos AA0, AA1, AA2

e AA3, de acordo com a porcentagem de ácido ascórbico adicionada. O experimento foi conduzido em três repetições.

Os filmes produzidos foram armazenados em temperatura e umidade controladas de 24°C e 60%, respectivamente, e analisados durante cinco meses.

3.3 Desenvolvimento dos filmes

Os filmes de IPS e AA foram produzidos pelo método de *casting* e desenvolvidos de acordo com Azevedo et al. (2015) com modificações. IPS e glicerol foram fixados nas quantidades de 6% (p/v) em relação ao volume de solução e 30% (p/p) em relação ao polímero base, respectivamente. Para a produção do filme controle, sem adição de ácido ascórbico, IPS e glicerol foram dissolvidos em água destilada e mantidos sob agitação durante 5 minutos. Para os filmes adicionados de ácido, IPS, glicerol e ácido ascórbico foram dissolvidos em água destilada e colocados para agitação também por um período de 5 minutos. Depois disso, o pH de todas as soluções foi corrigido para 8,0 com solução de NaOH (5%) seguido de agitação em homogeneizador ultrassônico para a dispersão das partículas por 10 minutos com amplitude de 80% a 25°C. Alíquotas da solução filmogênica foram vertidas em placas de teflon e submetidas à secagem em temperatura ambiente (25°C).

3.4 Condicionamento e espessura dos filmes

Após a retirada dos filmes das placas, fez-se o condicionamento a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 48 horas antes do início das análises (ASTM D618-00, 2000).

A espessura média dos filmes foi medida por meio da leitura de 15 pontos distintos, utilizando micrômetro digital Mitutoyo (precisão 0.01 mm; Mitutoyo Sul Americana, Suzano, SP, Brasil).

3.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier

As análises de FTIR foram realizadas na Central de Análise e Prospecção Química (CAPQ) da UFPA em equipamento Spectrometers Varian 600-IR Series, com acessório GladiATR acoplado da PIKE technologies para análises de ATR e com cristal de diamante. A

faixa espectral foi de 4000 a 400 cm^{-1} com número de escaneamentos igual a 32 e resolução de 4 cm^{-1} .

3.6 Permeabilidade ao vapor d'água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi realizada pelo método gravimétrico. Após a montagem das cápsulas, fez-se a pesagem em intervalos de 24 horas durante 07 dias para se obter o ganho de peso relacionado à transferência de vapor de água através do filme (ASTM E96-00, 2002). A taxa de permeabilidade ao vapor de água foi calculada por meio da Equação 1 e a permeabilidade ao vapor de água foi calculada por meio da Equação 2:

$$\text{TPVA} = G/t \cdot A \quad (1)$$

Onde: TPVA é a taxa de permeabilidade ao vapor de água ($\text{g água}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$); G/t é o coeficiente angular da reta ($\text{g água}/\text{dia}$) e A é a área de permeação do corpo de prova (m^2).

$$\text{PVA} = \text{TPVA} \cdot e / p_s (\text{UR}_1 - \text{UR}_2) \quad (2)$$

Onde: PVA é a permeabilidade ao vapor de água ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); TPVA a taxa de permeabilidade ao vapor de água; e é a espessura média do corpo de prova (μm); p_s a pressão de saturação de vapor de água à temperatura de ensaio (2809 KPa); UR_1 umidade relativa da câmara e UR_2 umidade relativa do interior da cápsula.

3.7 Propriedades Mecânicas

As análises de tração e punctura foram realizadas segundo os métodos padrões, ASTM D882-02 (2002) e ASTM F1306-90 (2001), respectivamente. As propriedades de tração dos filmes, resistência à tração (RT) e o módulo de elasticidade (ME) foram medidas em um analisador de textura (*Stable Microsystems*, modelo TATX2i, Inglaterra) com célula de carga de 1 kN. As amostras de filmes foram cortadas em tiras ($100 \times 15 \text{ mm}$) e medidas as espessuras em 03 pontos distintos. Os parâmetros utilizados durante a análise foram: separação inicial entre as garras de 50 mm com velocidade de 50 mm/min, sendo que para cada tratamento foram analisados 15 corpos de prova. A resistência máxima à tração (RT, MPa) foi calculada pela

divisão da força máxima pela área transversal do corpo de prova. O módulo de elasticidade (ME, MPa) foi calculado por meio da inclinação da parte linear do diagrama de tensão-deformação.

Para a análise de perfuração, as amostras dos filmes foram cortadas em quadrados de 3 x 3cm, submetidas às medidas de espessura em 4 pontos distintos, e fixadas em um suporte metálico com orifício central para passagem da sonda de forma perpendicular. Os parâmetros utilizados durante o teste foram: sonda esférica de 5,0mm de diâmetro (sonda A/TG), velocidade de deslocamento da sonda de 0,8mm/s e distância percorrida por ela até a perfuração. Para cada tratamento foram analisados 15 corpos de prova. A resistência à perfuração/espessura (RP, N/mm) foi calculada por meio da divisão do valor da força máxima obtida no ponto de ruptura pela espessura do filme, com o objetivo de se eliminar o efeito da variação da espessura sobre os resultados. Já a deformação (D, mm) foi determinada por meio do ponto de ruptura dos corpos de prova.

3.8 Análise Óptica

A análise de cor dos filmes foi realizada utilizando um colorímetro espectrofotométrico modelo CM-700 (Kônica 53 Minolta, Japão), com fonte de luz D65, ângulo observador de 10° e reflectância especular incluída (SCI). As leituras foram realizadas com os filmes sobrepostos em papel de coloração branca.

Os parâmetros obtidos pela análise óptica de cor objetiva foram: L^* , a^* , b^* , índice de saturação (C) e ângulo Hue (H), sendo C calculado através da fórmula: $C = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$. Em outras palavras, utilizou-se o sistema CIELAB, no qual a luminosidade (L^*) indica o grau de claridade da cor, ou seja, se a cor estudada é clara ou escura. Para o sistema CIELAB utilizado na medida desse parâmetro, a escala de luminosidade varia de 0 (preto puro) a 100 (branco puro).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier

Para a análise de espectroscopia na região de infravermelho, as Figuras 2, 3, 4 e 5 demonstram os espectros encontrados. Observa-se que os espectros mantiveram o mesmo

padrão ao longo dos cinco meses e em todos os tratamentos. Entre 920 cm^{-1} a 1110 cm^{-1} se refere às ligações C-C e C-O do glicerol (RAMOS et al., 2013). O intervalo de 1236 cm^{-1} a 1396 cm^{-1} é relativo às ligações C-N e N-H das amidas terciárias; entre 1540 cm^{-1} e 1550 cm^{-1} corresponde a ligação N-H das amidas secundárias e as bandas em 1630 cm^{-1} se refere à ligação C=O das amidas primárias do IPS e também observadas no AA (ALBANO; NICOLETTI, 2018; AZEVEDO et al., 2017; MO et al., 2018). As bandas no intervalo de 2860 cm^{-1} e 2920 cm^{-1} se referem às ligações CH simétricas e assimétricas do glicerol, IPS e AA. A banda em 3265 cm^{-1} corresponde à ligação OH das ligações de hidrogênio (COLÍN-OROZCO et al., 2014). Nos filmes AA1, AA2 e AA3, observam-se a presença de picos em $1020 - 989\text{ cm}^{-1}$ confirmando a presença de ácido ascórbico. Observa-se também uma diminuição da intensidade do pico com o passar do tempo, indicando a diminuição da concentração de ácido. Essa diminuição é devido a oxidação sofrida pelo AA que origina o ácido deidroascórbico. Como o ácido formado e os elementos presentes nos filmes apresentam a mesma composição (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio) e os mesmos tipos de ligações químicas, os espectros apresentaram o mesmo padrão em todos os tratamentos e ao longo dos 5 meses.

Figura 2 – Filme IPS sem adição de ácido ascórbico (AA0).

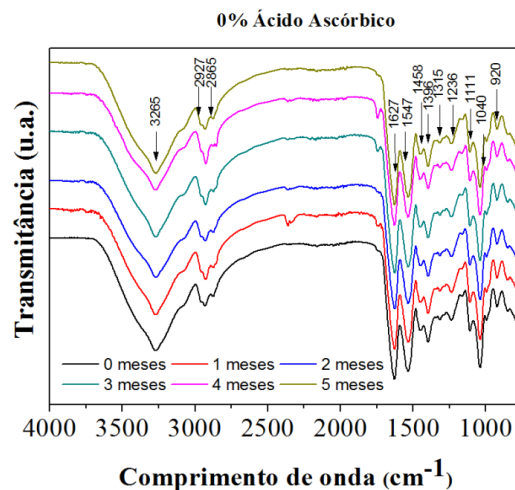


Figura 3 – Filme IPS com adição de 1% de ácido ascórbico (AA1).

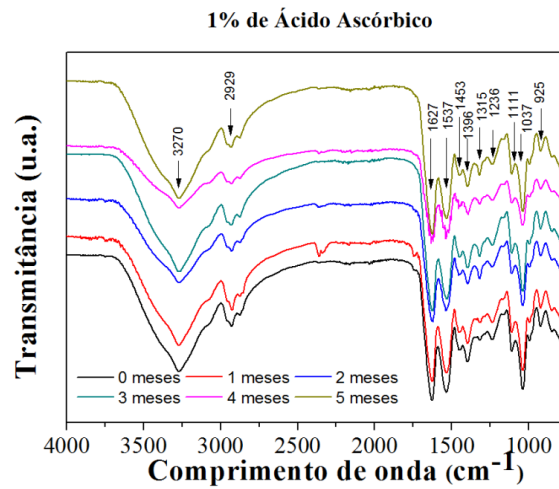


Figura 4 – Filme IPS com adição de 2% de ácido ascórbico (AA2).

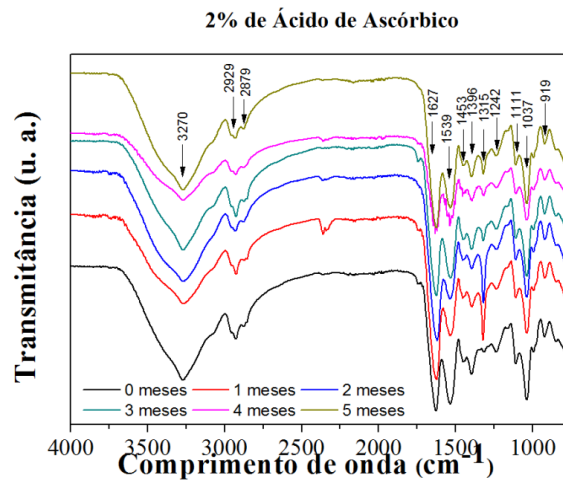
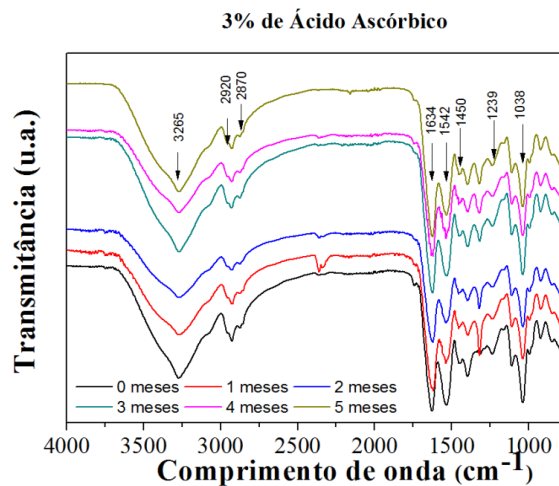


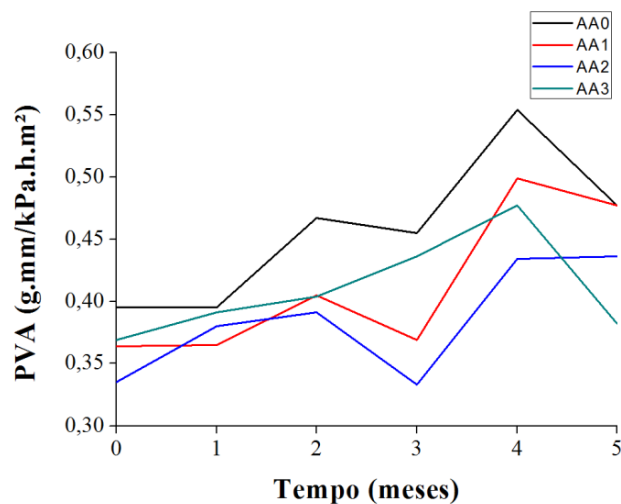
Figura 5 – Filme IPS com adição de 3% de ácido ascórbico (AA3).



4.2 Permeabilidade ao vapor d'água

Em relação à permeabilidade ao vapor de água, a adição de ácido ascórbico aos filmes de IPS ocasionou uma diminuição da permeabilidade, conforme pode ser observado na Figura 6 e Tabelas 1 e 2 do Anexo A. No entanto, mesmo com a diminuição da permeabilidade com a adição de ácido, ao longo do tempo há um aumento da taxa de permeabilidade, indicando que com o tempo ocorre um aumento da permeação no filme. Isso pode ser explicado devido ao caráter hidrofílico da proteína (CARVALHO et al., 2019) e devido a diminuição da concentração do ácido ascórbico observado no FTIR que representa a degradação sofrida pelo mesmo por meio de processo de oxidação.

Figura 6 – Permeabilidade ao Vapor de Água de filmes de IPS.

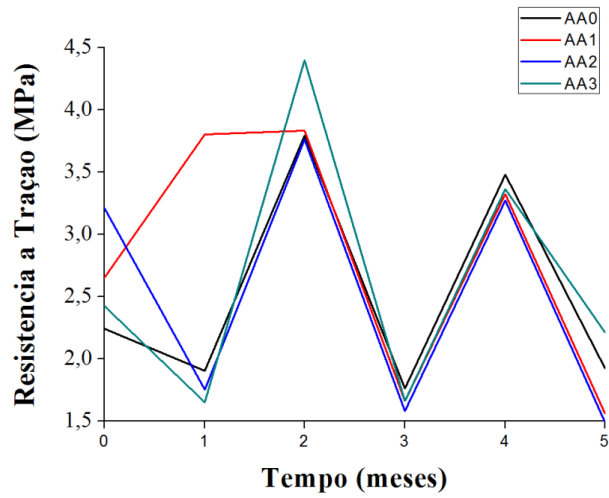


Fonte: Da autora (2019).

4.3 Propriedades mecânicas

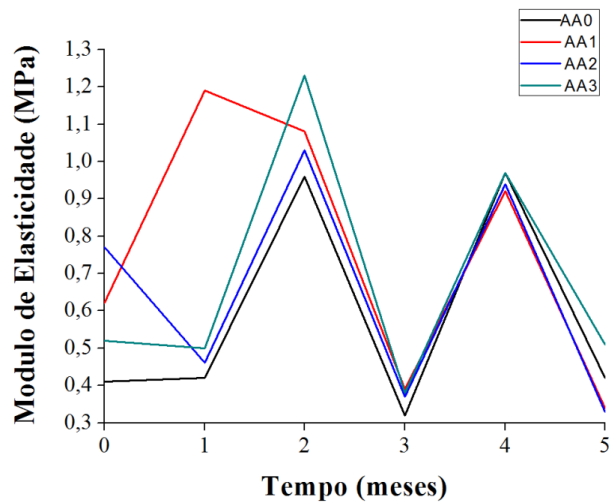
Os resultados dos testes mecânicos de tração e perfuração estão apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10 e Tabelas 1 e 2 do Anexo B.

Figura 7 – Resistência à Tração de filmes de IPS.



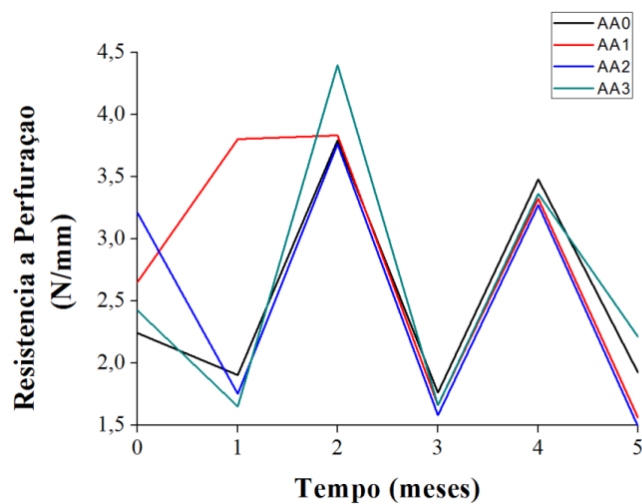
Fonte: Da autora (2019).

Figura 8 – Módulo de Young de filmes de IPS incorporados com AA.



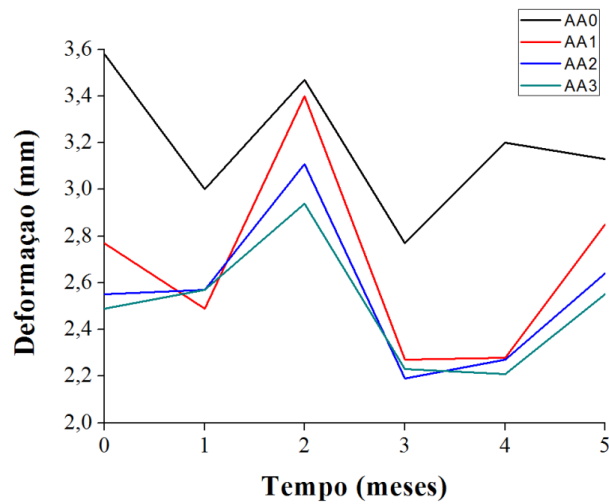
Fonte: Da autora (2019).

Figura 9 – Resistência à Perfuração de filmes de IPS incorporados com AA.



Fonte: Da autora (2019).

Figura 10 – Deformação de filmes de IPS incorporados com AA.



Fonte: Da autora (2019).

Tanto para RT quanto para ME e RP, a adição de AA provocou um aumento nos valores desses parâmetros no tempo inicial. Esse fato pode ser atribuído à dispersão adequada do ácido ascórbico pela matriz polimérica dos filmes em virtude da baixa concentração adicionada do composto. A deformação (D/mm) faz referência à elasticidade do material. Para os resultados de D, observa-se um comportamento de diminuição dos valores com o aumento da concentração de ácido. O tratamento AA0 apresentou os maiores valores de D, caracterizando um filme com maior resistência à deformação. Portanto, a diminuição da elasticidade dos filmes está relacionada ao aumento da concentração de ácido ascórbico, restrição da mobilidade das cadeias do polímero e aumento de sua rigidez. Logo, no que diz respeito à resistência mecânica e a deformabilidade, ou seja, a facilidade de manuseio, a adição de AA reduz essas duas respostas. Os resultados obtidos nos testes são semelhantes aos encontrados por Min e Krochta (2007) ao estudarem revestimentos de IPS e AA para o controle de oxidação em concentrações variadas de IPS e AA e várias temperaturas de armazenamento. Esses autores observaram que incorporação de AA reduziu o alongamento bem como a resistência dos filmes.

Para os filmes adicionados de AA há um decréscimo nos valores de RT quando se compara os tempos iniciais e finais. E o mesmo comportamento é observado para ME e RP (N/mm). Isso se deve a oxidação do ácido ascórbico observado no FTIR e PVA que torna os filmes mais frágeis e menos resistentes.

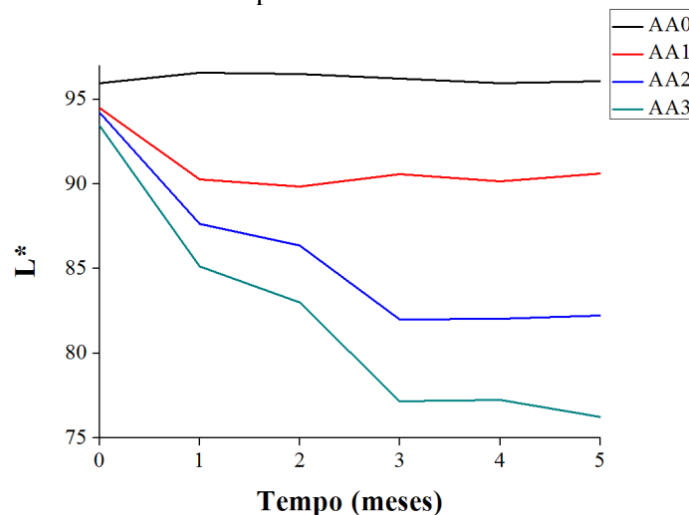
4.4 Análise Óptica

Para os parâmetros de a^* e b^* temos que: valores de a^* positivos (+a) indicam o vermelho, a^* negativo (-a) o verde, b^* positivo (+b) indicam o amarelo e b^* negativo (-b) o azul. A qualidade da cor (vermelha, azul, verde, etc) é determinada pelo parâmetro Hue (H) (RAMOS; GOMIDE, 2007).

A análise das propriedades ópticas de filmes é essencial para auxiliar em sua escolha para aplicação em alimentos. Filmes produzidos a partir de IPS como base polimérica são conhecidos por se manterem incolores e transparentes, características interessantes para a aplicação em alimentos onde se objetiva a visualização do produto por parte do consumidor (GOUNGA; XU; WANG, 2007).

Os parâmetros C, L^* , a^* , b^* e H são apresentados na Tabela 1, 2, 3, 4 e 5 do Anexo C. Para os resultados de luminosidade (L^*) (Figura 11), observa-se a diminuição da claridade ao longo do tempo nos filmes com adição de ácido ascórbico, sendo o maior decréscimo no primeiro mês e após isso praticamente ocorre uma estabilização nos valores. Além disso, quanto maior a concentração de ácido adicionada, maior a diminuição da luminosidade.

Figura 11 – Resultados de L^* para análise colorimétrica de filmes de IPS.

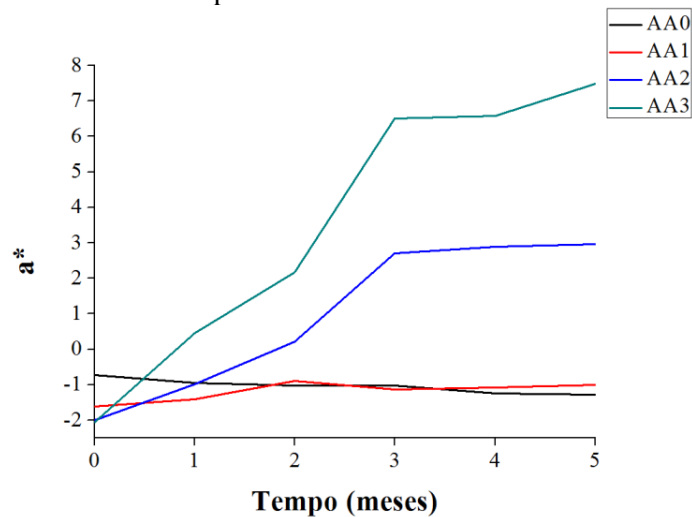


Fonte: Da autora (2019).

Para o índice de cor vermelho/verde (a^*) (Figura 12) as concentrações 0% AA e 1% AA apresentaram-se constantes ao longo do tempo, caracterizadas com valores negativos de a^* , referentes à tonalidade verde. No entanto, nas concentrações 2% AA e 3% AA têm-se um aumento nos valores do índice (a^*), que com o passar dos meses perdem a tendência a tonalidade verde, começando a apresentar tendência para o vermelho. Em relação ao parâmetro

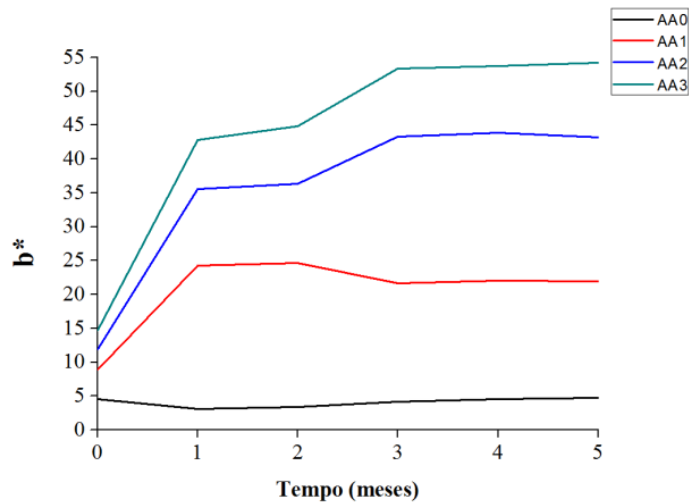
de cor amarelo/azul (b^*) (Figura 13), os resultados mostraram-se positivos durante o período de análise. Nas concentrações 1% AA, 2% AA e 3% AA foi possível observar um crescimento nos valores de (b^*), indicando o aumento na coloração amarela. Já em relação a concentração 0% AA, os valores de (b^*) foram constantes ao longo do tempo, não havendo modificação na tonalidade do filme. O mesmo resultado foi encontrado para o índice de saturação (C) (Figura 14), com aumento progressivo nas concentrações 1% AA, 2% AA e 3% AA durante o tempo de estudo, caracterizando um filme transparente e com coloração mais intensa. Porém, na concentração 0% AA nota-se valores baixos e constantes, indicando filmes mais claros e com menor intensidade da cor. Resumidamente, para os valores de C, quanto maior a quantidade de ácido, maior o acréscimo nos valores de C, sendo que tais acréscimos são maiores no primeiro mês e, a partir, do terceiro mês, nota-se uma estabilidade.

Figura 12 – Resultados de a^* para análise colorimétrica de filmes de IPS e AA.



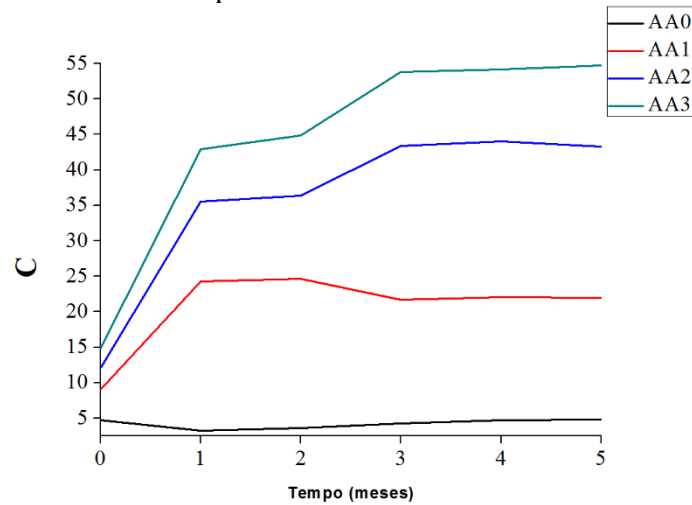
Fonte: Da autora (2019).

Figura 13 – Resultados de b^* para análise colorimétrica de filmes de IPS e AA.



Fonte: Da autora (2019).

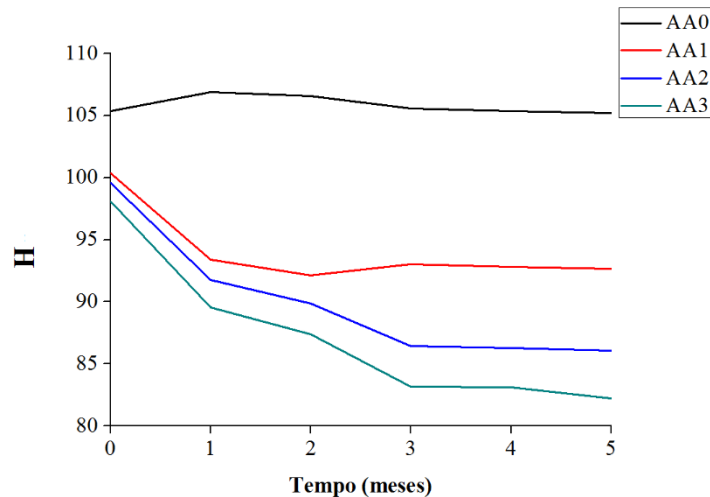
Figura 14 – Resultados de C para análise colorimétrica de filmes de IPS e AA.



Fonte: Da autora (2019).

Os valores do ângulo (H) (Figura 15) se devem a tonalidade da cor, por meio dele pode-se estimar a localização da amostra na cor sólida. Apesar da variação na matriz com a incorporação de ácido ascórbico e o passar do tempo, os valores mostraram estar posicionados em um tom amarelo dentro do sólido de cor do sistema CIELAB (AZEVEDO et al., 2017).

Figura 15 – Resultados de H para análise colorimétrica de filmes de IPS e AA.



Fonte: Da autora (2019).

A tendência ao aumento da intensidade da cor nos filmes ao longo do tempo é em função da presença do ácido ascórbico que sofre oxidação, degradando-se a ácido dehidroascórbico (KIM; LEE, 2018).

5 CONCLUSÃO

A incorporação de ácido ascórbico na matriz polimérica levou a um aumento na rigidez do filme, a uma diminuição na permeabilidade e aumento na intensidade da cor nos filmes. Ao longo do tempo, observou-se um aumento da permeabilidade, da sua rigidez e da intensidade da cor dos filmes. Isso se deve à hidroflicidade das proteínas do IPS e da oxidação sofrida pelo ácido ascórbico, mostrando o início da degradação dos filmes.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Shabbar et al. Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and Trends—A Review. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 28, n. 4, p.343-374, out. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2011.635390>.

ALBANO, Kivia M.; NICOLETTI, VâniaR..Ultrasound impact on whey protein concentrate-pectin complexes and in the O/W emulsions with low oil soybean content stabilization. *Ultrasonics Sonochemistry*, [s.l.], v. 41, p.562-571, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.018>.

ALVES, Maura Pinheiro et al. Soro De Leite: Tecnologias Para O Processamento De Coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, [s.l.], v. 69, n. 3, p.212-227, 2 jul. 2014. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/2238-6416.v69i3.341>.

AVÉROUS, Luc. Polylactic acid: synthesis, properties and applications. In: **Monomers, polymers and composites from renewable resources**. Elsevier, 2008. p. 433-450.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard practice for conditioning plastics for testing, ASTM D618-00**. Philadelphia, 2000.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test method for slow rate penetration resistance of flexible barrier films and laminates, ASTM F1306-90**. Philadelphia, 2001.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM D882-02**. Philadelphia, .2002.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test methods for water vapor transmission of materials, ASTM E96-00**. Philadelphia, 2002.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard terminology relating to plastics. ASTM D883-12**.Philadelphia, 2002.

AZEVEDO, Viviane M. et al. Development of whey protein isolate bio-nanocomposites: Effect of montmorillonite and citric acid on structural, thermal, morphological and mechanical properties. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 48, p.179-188, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.014>.

AZEVEDO, Viviane Machado et al. Optical and structural properties of biodegradable whey protein isolate nanocomposite films for active packaging. **International Journal Of Food Properties**, [s.l.], p.1-10, 4 ago. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2017.1354883>.

AZEVEDO, Viviane Machado et al. Effect of whey protein isolate films incorporated with montmorillonite and citric acid on the preservation of fresh-cut apples. **Food Research**

International, [s.l.], v. 107, p.306-313, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.050>.

BASIAK, Ewelina; DEBEAUFORT, Frédéric; LENART, Andrzej. Effect of oil lamination between plasticized starch layers on film properties. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 195, p.56-63, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.098>.

BOŽANIĆ, Rajka et al. Possibilities of Whey Utilisation. **Austin Journal Of Nutrition And Food Sciences**, Croatia, v. 2, p.1-7, jul. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 53**, de 10 abril de 2013. Cria o regulamento técnico de identidade e qualidade de soro de leite. Brasília, 2013.

BRINSON, Hal; BRINSON, Catherine. **Polymer engineering science and viscoelasticity – An introduction**. Springer, 2008.

CALABIA, Buenaventurada P. et al. Biodegradation. **Poly(lactic Acid)**, [s.l.], p.423-430, 15 set. 2010. John Wiley & Sons, Inc.. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470649848.ch25>.

CARPENEDO, Gelsa Adriana. **Avaliação do Teor dos Aditivos Estabilizantes edas Propriedades Mecânicas em Compostos Elastoméricos para Lateral de Pneu de Passeio Submetidos ao Envelhecimento Natural e Acelerado**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Engenharia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

CARVALHO, Raissa Alvarenga et al. WPI and Cellulose Nanofibres Bio-nanocomposites: Effect of Thyme Essential Oil on the Morphological, Mechanical, Barrier and Optical Properties. **Journal Of Polymers And The Environment**, [s.l.], p.1-11, 1 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-019-01598-6>.

CASTRO, RuannJanser Soares de et al. Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. **Food Structure**, [s.l.], v. 14, p.17-29, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>.

CHIARAPPA, Gianluca et al. Mathematical modeling of L-(+)-ascorbic acid delivery from pectin films (packaging) to agar hydrogels (food). **Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 234, p.73-81, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.011>.

COLÍN-OROZCO, J. et al. Properties of Poly (ethylene oxide)/ whey Protein Isolate Nanofibers Prepared by Electrospinning. **Food Biophysics**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.134-144, 16 out. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-014-9372-1>.

DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. São Paulo, 2008. 221p.

DEVRIES, M. C.; PHILLIPS, S. M. Supplemental protein in support of muscle mass and health: Advantage whey. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 1, p. 8–15, 2015.

ERDEM, BurcuGökkaya; DđBLAN, Sevgin; KAYA, Sevim. Development and structural assessment of whey protein isolate/sunflower seed oil biocomposite film. **Food And**

Bioproducts Processing, [s.l.], v. 118, p.270-280, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.015>.

FANG, Ting et al. Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 225, p.132-137, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.014>.

FELISBINO, Carlos Henrique Duarte et al. Desenvolvimento de uma Câmara de Baixo Custo para Envelhecimento Acelerado de Polímeros. **South American Development Society Journal**, [s.l.], v. 4, n. 10, p.83-98, 13 mar. 2018. South American Development Society Journal. <http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v4i10p83-98>.

FENNEMA, O. R., DAMODARAN, S., Parkin, K. L. (2010). Fennema's food chemistry (Arthemid, Ed.)(4th ed.). (Porto Alegre).

FERNANDES, A. P. S.; COSTA, J. B.; SOARES, D. S. B.; MOURA, C. J. DE; SOUZA, A. R. M. DE. Application of biodegradable films produced from irradiated whey protein concentrate. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 45, n. 2, p. 192-199, 2015.

GOUNGA, M. E.; XU, S-Y.; WANG, Z. Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 83, n. 4, p. 521-530, Dec. 2007.

HOSSEINI, Seyed Fakhreddin et al. Bio-based composite edible films containing *Origanum vulgare* L. essential oil. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 67, p.403-413, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.062>.

HUTCHINSON, John. Physical Aging of Polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 20, p. 703 - 760, 1995.

KIM, Sehui; LEE, Tai Gyu. Stabilization of l -ascorbic acid in cosmetic emulsions. **Journal Of Industrial And Engineering Chemistry**, [s.l.], v. 57, p.193-198, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.023>.

KOSHY, Rekha Rose et al. Environment friendly green composites based on soy protein isolate – A review. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 50, p.174-192, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.04.023>.

KUREK, Mia; GALUS, Sabina; DEBEAUFORT, Frédéric. Surface, mechanical and barrier properties of bio-based composite films based on chitosan and whey protein. **Food Packaging and Shelf Life**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.56-67, mar. 2014. Elsevier BV.

LAWTON, J. W.; DOANE, W. M.; WILLETT, J. L.. Aging and moisture effects on the tensile properties of starch/poly(hydroxyester ether) composites. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 100, n. 4, p.3332-3339, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.23351>.

LIMA, Francisco Marcone et al. Degradação rápida de folhas de policarbonato. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.140-143, 21 fev. 2017. SBV Sociedade Brasileira de Vacuo. <http://dx.doi.org/10.17563/rbav.v35i3.1030>.

MAXWELL, A.; *et al.* **Review of accelerated ageing methods and lifetime prediction techniques for polymeric materials.** National Physical Laboratory, Teddington, 2005.

MELLINAS, Cristina *et al.* Active edible films: Current state and future trends. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 133, n. 2, p.1-15, 8 jul. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.42631>.

MIN, Seacheol; KROCHTA, John M.. Ascorbic Acid-Containing Whey Protein Film Coatings for Control of Oxidation. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s.l.], v.55, n. 8, p.2964-2969, abr. 2007. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf062698r>.

MO, Qinchao *et al.* Fluorescent sensing of ascorbic acid based on iodine induced oxidative etching and aggregation of lysozyme-templated silver nanoclusters. **Analytica Chimica Acta**, [s.l.], v. 1003, p.49-55, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2017.11.068>.

MOAKES, R.j.a.; SULLO, A.; NORTON, I.t.. Preparation and characterisation of whey protein fluid gels: The effects of shear and thermal history. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 45, p.227-235, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.024>.

MOHANTY, Amar K.; MISRA, Manjusri; DRZAL, Lawrence T.. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites.** [s.i.]: Crc Press, 2005. 896 p.

NUNES, Luane Alcântara *et al.* O Soro do Leite, Seus Principais Tratamentos e Meios de Valorização. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.301-326, 29 mar. 2018. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n1p301-326>.

PARBHUNATH, O. *et al.*, Optimization and validation of a reverse-phase high performance liquid chromatography assay with ultra-violet detection for measuring total L-ascorbic acid in food and beverage products. **Journal Analytical & Bioanalytical Techniques**, 5, 1–11, 2014.

PÉNICAUD, C., *et al.*, Ascorbic acid in food: Development of a rapid analysis technique and application to diffusivity determination. **Food Research International**, 43, 838–847, 2010.

PUGLIA, D., *et al.*, Influence of organically modified clays on the properties and disintegrability in compost of solution cast poly(3-hydroxybutyrate) films. **Polymer Degradation and Stability**. v 99, p.127-135, 2014.

QAZANFARZADEH, Zeinab; KADIVAR, Mahdi. Properties of whey protein isolate nanocomposite films reinforced with nanocellulose isolated from oat husk. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 91, p.1134-1140, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.077>.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade decarnes:** fundamentos e metodologias. Viçosa, Minas Gerais: UFV, 2007. 599 p.

RAMOS, Óscar L. et al. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.110-122, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.001>.

ROCHA, Geisa Oliveira et al. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, [s.l.], v. 24, n. 5, p.587-595, 22 set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1355>.

SCHMID, Markus et al. Effect of thermally induced denaturation on molecular interaction-response relationships of whey protein isolate based films and coatings. **Progress In Organic Coatings**, [s.l.], v. 104, p.161-172, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.11.032>.

SINHARAY, S; BOUSMINA, M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. **Progress In Materials Science**, [s.l.], v. 50, n. 8, p.962-1079, nov. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.05.002>.

SOARES, Dayana Silva Batista; SILVA, EstéfaniEmanuele Alves do Nascimento; OLIVEIRA, Taysa Martins de. Aplicação de filmes biodegradáveis de proteínas do soro de leite. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassiândia, v. 3, n. 3, p.1-5, jul. 2016.

SOUZA, Victor Gomes Lauriano et al. Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 107, p.565-572, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>

SPÍNOLA, Vítor et al. Effect of time and temperature on vitamin C stability in horticultural extracts. UHPLC-PDA vs iodometric titration as analytical methods. **Lwt - Food Science And Technology**, [s.l.], v. 50, n. 2, p.489-495, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.020>.

SRUBAR, W.v. et al. Characterizing the effects of ambient aging on the mechanical and physical properties of two commercially available bacterial thermoplastics. **Polymer Degradation And Stability**, [s.l.], v. 97, n. 10, p.1922-1929, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.04.011>.

TARHAN, Ozgur et al. Rheological and structural characterization of whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 61, p.211-220, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.042>.

TARRAGO-TRANI, M. T.; PHILLIPS, K. M.; COTTY, M. Matrix-Specific Method Validation for Quantitative Analysis of Vitamin C in Diverse Foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, London, v. 26, n. 1-2, p. 12-25, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2012.03.004>

WANG, Panpan et al. Current challenges facing one-step production of l-ascorbic acid. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 36, n. 7, p.1882-1899, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.07.006>.

ANEXO A

Tabela 1 – Permeabilidade ao vapor de água para filme de IPS.

Tempo	PVA ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$)			
	AA0	AA1	AA2	AA3
0	0,395	0,364	0,335	0,369
1	0,395	0,365	0,38	0,391
2	0,467	0,405	0,391	0,404
3	0,455	0,369	0,333	0,436
4	0,554	0,499	0,434	0,477
5	0,477	0,477	0,436	0,382

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 2 - Regressão de PVA para filme de IPS incorporado de AA.

Tratamento	Regressão	R ²
AA0	$y = -0,0069x^5 + 0,084x^4 - 0,3567x^3 + 0,622x^2 - 0,3423x + 0,395$	R ² = 1
AA1	$y = -0,0076x^5 + 0,0913x^4 - 0,3759x^3 + 0,6227x^2 - 0,3295x + 0,364$	R ² = 1
AA2	$y = -0,0062x^5 + 0,0734x^4 - 0,29x^3 + 0,4331x^2 - 0,1652x + 0,335$	R ² = 1
AA3	$y = -0,0008x^5 + 0,0065x^4 - 0,0141x^3 + 0,0045x^2 + 0,0259x + 0,369$	R ² = 1

Fonte: Da autora (2019).

ANEXO B

Tabela 1- Valores de ME, RT, D e RP para filme de IPS.

Tempo (meses)	Identificação Filmes	Tração		Punctura	
		ME (Mpa)	RT (Mpa)	D (mm)	RP (N/mm)
0	AA0	0,41 ± 0,08	2,24 ± 0,26	3,58 ± 0,28	3,34 ± 0,28
	AA1	0,62 ± 0,07	2,65 ± 0,24	2,77 ± 0,11	2,84 ± 0,21
	AA2	0,77 ± 0,14	3,21 ± 0,47	2,55 ± 0,21	2,84 ± 0,35
	AA3	0,52 ± 0,09	2,42 ± 0,30	2,49 ± 0,23	2,68 ± 0,23
1	AA0	0,42 ± 0,06	1,90 ± 0,18	3,00 ± 0,6	3,18 ± 0,61
	AA1	1,19 ± 0,24	3,80 ± 0,71	2,49 ± 0,24	4,46 ± 0,94
	AA2	0,46 ± 0,05	1,75 ± 0,15	2,57 ± 0,30	3,52 ± 0,59
	AA3	0,50 ± 0,09	1,65 ± 0,27	2,57 ± 0,22	5,43 ± 0,34
2	AA0	0,96 ± 0,08	3,79 ± 0,23	3,47 ± 0,61	2,61 ± 0,36
	AA1	1,08 ± 0,14	3,83 ± 0,50	3,40 ± 0,15	3,34 ± 0,28
	AA2	1,03 ± 0,12	3,76 ± 0,27	3,11 ± 0,08	2,50 ± 0,45
	AA3	1,23 ± 0,16	4,40 ± 0,5	2,94 ± 0,17	4,25 ± 0,46
3	AA0	0,32 ± 0,04	1,76 ± 0,12	2,77 ± 0,33	6,51 ± 0,74
	AA1	0,39 ± 0,03	1,66 ± 0,01	2,27 ± 0,15	6,36 ± 1,36
	AA2	0,37 ± 0,03	1,58 ± 0,12	2,19 ± 0,15	7,99 ± 0,89
	AA3	0,38 ± 0,03	1,66 ± 0,14	2,23 ± 0,16	8,22 ± 1,28
4	AA0	0,97 ± 0,11	3,48 ± 0,29	3,20 ± 0,29	3,95 ± 0,44
	AA1	0,92 ± 0,09	3,32 ± 0,29	2,28 ± 0,26	6,64 ± 1,26
	AA2	0,94 ± 0,15	3,27 ± 0,38	2,27 ± 0,18	5,18 ± 0,65
	AA3	0,97 ± 0,12	3,36 ± 0,38	2,21 ± 0,11	4,91 ± 0,34
5	AA0	0,42 ± 0,03	1,92 ± 0,14	3,13 ± 0,19	3,20 ± 0,49
	AA1	0,34 ± 0,02	1,56 ± 0,10	2,85 ± 0,10	3,38 ± 0,31
	AA2	0,33 ± 0,04	1,49 ± 0,17	2,64 ± 0,15	3,70 ± 0,38
	AA3	0,51 ± 0,05	2,21 ± 0,11	2,55 ± 0,13	4,64 ± 0,64

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 2 – Regressão de ME, RT, D e RP para filme de IPS incorporado de AA.

Tratamento	Parâmetro	Regressão	R ²
AA0	ME	$y = -0,0762x^5 + 0,9358x^4 - 3,9958x^3 + 6,8442x^2 - 3,698x + 0,41$	R ² = 1
AA0	RT	$y = -0,2377x^5 + 2,9525x^4 - 12,798x^3 + 22,407x^2 - 12,664x + 2,24$	R ² = 1
AA0	D	$y = -0,0704x^5 + 0,8925x^4 - 3,9646x^3 + 7,2275x^2 - 4,665x + 3,58$	R ² = 1
AA0	RP	$y = 0,2917x^5 - 3,5762x^4 + 14,977x^3 - 24,479x^2 + 12,626x + 3,34$	R ² = 1
AA1	ME	$y = -0,0486x^5 + 0,5567x^4 - 2,1087x^3 + 2,8183x^2 - 0,6477x + 0,62$	R ² = 1
AA1	RT	$y = -0,1699x^5 + 1,9954x^4 - 7,9046x^3 + 11,735x^2 - 4,5055x + 2,65$	R ² = 1
AA1	D	$y = -0,0847x^5 + 1,1146x^4 - 5,1071x^3 + 9,3854x^2 - 5,5882x + 2,77$	R ² = 1
AA1	RP	$y = 0,1653x^5 - 2,2267x^4 + 10,373x^3 - 19,383x^2 + 12,691x + 2,84$	R ² = 1
AA2	ME	$y = -0,0787x^5 + 0,9771x^4 - 4,2475x^3 + 7,5229x^2 - 4,4838x + 0,77$	R ² = 1
AA2	RT	$y = -0,2593x^5 + 3,2483x^4 - 14,283x^3 + 25,737x^2 - 15,902x + 3,21$	R ² = 1
AA2	D	$y = -0,0634x^5 + 0,8192x^4 - 3,6596x^3 + 6,4558x^2 - 3,532x + 2,55$	R ² = 1
AA2	RP	$y = 0,3955x^5 - 4,9142x^4 + 20,966x^3 - 35,281x^2 + 19,514x + 2,84$	R ² = 1
AA3	ME	$y = -0,0905x^5 + 1,1279x^4 - 4,8933x^3 + 8,5171x^2 - 4,6812x + 0,52$	R ² = 1
AA3	RT	$y = -0,3013x^5 + 3,8025x^4 - 16,783x^3 + 30,012x^2 - 17,5x + 2,42$	R ² = 1
AA3	D	$y = -0,0437x^5 + 0,5675x^4 - 2,5417x^3 + 4,4525x^2 - 2,3547x + 2,49$	R ² = 1
AA3	RP	$y = 0,3688x^5 - 4,5846x^4 + 19,8x^3 - 34,805x^2 + 21,971x + 2,68$	R ² = 1

Fonte: Da autora (2019).

ANEXO C

Tabela 1 – Valores de L*, a*, b*, C e H para filme de IPS.

AA0					
Tempo	L*	a*	b*	C	H
0	95,96	-0,72	4,55	4,72	105,38
1	96,57	-0,94	3,11	3,25	106,91
2	96,51	-1,02	3,45	3,60	106,57
3	96,24	-1,02	4,13	4,29	105,58
4	95,96	-1,24	4,55	4,72	105,38
5	96,06	-1,28	4,74	4,85	105,19

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 2 – Valores de L*, a*, b*, C e H para filme de IPS incorporado com 1% de AA.

AA1					
Tempo	L*	a*	b*	C	H
0	94,48	-1,61	8,91	9,06	100,36
1	90,29	-1,41	24,24	24,28	93,39
2	89,85	-0,89	24,62	24,64	92,12
3	90,59	-1,13	21,64	21,67	93,01
4	90,16	-1,08	22,07	22,10	92,83
5	90,61	-1,01	21,93	21,96	92,68

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 3 – Valores de L*, a*, b*, C e H para filme de IPS incorporado com 2% de AA.

AA2					
Tempo	L*	a*	b*	C	H
0	94,22	-2,00	11,90	12,07	99,57
1	87,65	-0,98	35,54	35,56	91,75
2	86,38	0,21	36,35	36,37	89,87
3	82,01	2,71	43,30	43,39	86,43
4	82,05	2,89	43,90	44,00	86,26
5	82,23	2,97	43,22	43,33	86,09

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 4 – Valores de L*, a*, b*, C e H para filme de IPS incorporado com 3% de AA.

AA3					
Tempo	L*	a*	b*	C	H
0	93,42	-2,06	14,75	14,92	98,09
1	85,14	0,46	42,85	42,87	89,53
2	82,99	2,17	44,82	44,89	87,40
3	77,17	6,50	53,39	53,81	83,18
4	77,23	6,58	53,76	54,18	83,12
5	76,24	7,49	54,19	54,73	82,21

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 5 – Regressão de L*, a*, b*, C e H para filme de IPS incorporado de AA.

Tratamento	Parâmetro	Regressão	R ²
AA0	L*	$y = -0,001x^4 + 0,067x^3 - 0,507x^2 + 1,039x + 95,96$	R ² = 0,997
AA0	C	$y = 0,029x^4 - 0,412x^3 + 1,921x^2 - 2,996x + 4,718$	R ² = 0,999
AA0	a*	$y = 0,0097x^4 - 0,1033x^3 + 0,354x^2 - 0,5064x - 0,7162$	R ² = 0,9827
AA0	b*	$y = 0,0311x^4 - 0,421x^3 + 1,9309x^2 - 2,9789x + 4,5491$	R ² = 0,9999
AA0	H	$y = -0,041x^4 + 0,544x^3 - 2,379x^2 + 3,466x + 105,3$	R ² = 0,991
AA1	L*	$y = 0,096x^4 - 1,158x^3 + 4,852x^2 - 8,083x + 94,5$	R ² = 0,995
AA1	C	$y = -0,323x^4 + 4,080x^3 - 17,65x^2 + 29,26x + 9,036$	R ² = 0,999
AA1	a*	$y = 0,0171x^4 - 0,1556x^3 + 0,3652x^2 + 0,053x - 1,6205$	R ² = 0,8668
AA1	b*	$y = -0,3243x^4 + 4,0969x^3 - 17,742x^2 + 29,439x + 8,8895$	R ² = 0,9992
AA1	H	$y = 0,096x^4 - 1,319x^3 + 6,297x^2 - 12,13x + 100,3$	R ² = 0,998
AA2	L*	$y = 0,086x^4 - 0,891x^3 + 3,569x^2 - 8,681x + 94,11$	R ² = 0,973
AA2	C	$y = -0,495x^4 + 5,591x^3 - 22,17x^2 + 39,16x + 12,30$	R ² = 0,981
AA2	a*	$y = 0,0226x^4 - 0,3397x^3 + 1,3886x^2 - 0,3047x - 1,9545$	R ² = 0,9812
AA2	b*	$y = -0,4979x^4 + 5,6299x^3 - 22,36x^2 + 39,463x + 12,134$	R ² = 0,9815
AA2	H	$y = 0,088x^4 - 1,024x^3 + 4,576x^2 - 10,97x + 99,49$	R ² = 0,987
AA3	L*	$y = 0,059x^4 - 0,663x^3 + 3,142x^2 - 9,959x + 93,27$	R ² = 0,977
AA3	C	$y = -0,502x^4 + 5,802x^3 - 23,83x^2 + 44,77x + 15,20$	R ² = 0,982
AA3	a*	$y = 0,0341x^4 - 0,4559x^3 + 1,6498x^2 + 0,7611x - 1,9682$	R ² = 0,9741
AA3	b*	$y = -0,51x^4 + 5,9016x^3 - 24,261x^2 + 45,292x + 15,03$	R ² = 0,9827
AA3	H	$y = 0,072x^4 - 0,892x^3 + 4,295x^2 - 11,41x + 97,98$	R ² = 0,985

Fonte: Da autora (2019).