

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

HENRIQUE PINHEIRO URBANO

**PRODUÇÃO DE FILMES COMPOSTOS DE POLIESTIRENO COM A ADIÇÃO  
DE CURCUMINA E RIZOMA EM PÓ DE *CURCUMA LONGA***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

HENRIQUE PINHEIRO URBANO

**PRODUÇÃO DE FILMES COMPOSTOS DE POLIESTIRENO COM A ADIÇÃO  
DE CURCUMINA E RIZOMA EM PÓ DE *CURCUMA LONGA***

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Santa Barbara Azevedo

Co-orientadora: Profa. Dra. Fernanda Vitória Leimann

CAMPO MOURÃO

2017



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Departamento Acadêmico de Alimentos**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**PRODUÇÃO DE FILMES COMPOSTOS DE POLIESTIRENO COM A ADIÇÃO  
DE CURCUMINA E RIZOMA EM PÓ DE *CURCUMA LONGA***

por

**HENRIQUE PINHEIRO URBANO**

Este trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado dia 23 de junho de 2017 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Alexandre Santa Barbara Azevedo  
Orientador

---

Prof. Dr. Fábio Henrique Poliseli Scopel  
Membro da banca

---

Profa. Dra. Márcia R. F. Geraldo Perdoncini  
Membro da banca

---

**Nota:** O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se no Departamento Acadêmico de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiríssimo lugar, acima de tudo e de todos, agradeço à Ele, meu Salvador, Redentor, Maravilhoso, Conselheiro, Pai da eternidade, Príncipe da paz, Jesus. Tenho a plena convicção de que foi pelo seu imenso amor e pela sua bendita graça que cheguei até aqui.

Agradeço aos meus pais Josué Urbano de Souza e Maria Aparecida Pinheiro Urbano por todo o carinho, amor, apoio, ajuda e orientação em todos os momentos. Josué e Cida são, sem dúvida, os merecedores dessa conquista.

Ao meu irmão Gustavo Pinheiro Urbano e minha cunhada Isabel Cristiane Terleski Urbano por todo o apoio concedido.

Ao Prof. Dr. Alexandre Santa Barbara Azevedo por todas as orientações e sugestões.

À Profa. Dra. Fernanda Vitória Leimann por toda a ajuda em laboratório e pelo grande apoio concedido.

Aos participantes da banca pelas contribuições e sugestões.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e me auxiliaram.

## RESUMO

URBANO, Henrique P. Produção de filmes compostos de poliestireno com a adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa*. 2017. 28 f. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Campo Mourão, 2017.

A principal função das embalagens de alimentos é manter a qualidade e a segurança dos produtos alimentares. Materiais à base de plástico (polímeros) são amplamente utilizados, visto que eles apresentam baixo custo e são convenientes para o uso. Filmes ativos com função antimicrobiana baseiam-se na incorporação de aditivos na estrutura do polímero durante o processo de produção de filmes e objetivam reduzir, inibir ou retardar o crescimento da microbiota presente, principalmente na superfície do alimento embalado. Pesquisas ao longo das últimas cinco décadas indicam que a curcumina possui potente atividade antimicrobiana. O presente trabalho objetivou produzir filmes à base de poliestireno adicionados de curcumina, avaliando suas propriedades subjetivas, mecânicas, de espessura, de umidade e antimicrobianas e comparar esses filmes com filmes produzidos à base de poliestireno adicionados de rizoma em pó de *Curcuma longa* nas mesmas concentrações. Os resultados demonstraram que os filmes apresentaram-se rígidos, com baixa maleabilidade, formato irregular e com diferença de coloração conforme as diferentes formulações. Quanto à umidade e espessura, não houve diferença significativa entre as formulações. Foi observado que há uma diminuição dos resultados de resistência à tração (MPa) conforme a adição de curcumina (formulações F3 e F4), fato esse observado também para a adição de rizoma em pó de *Curcuma longa* (formulações F5 e F6). A formulação F6 apresentou o menor valor de resistência à tração, diferindo estatisticamente das formulações F2, F3 e F4. Quanto à alongação na tração (%) os filmes apresentaram os seguintes grupos de semelhanças: F2=F3=F4 e F2=F3=F5=F6. Quanto à alongação na compressão (%) e deformação na perfuração (%) as formulações não diferiram estatisticamente. Das formulações propostas (F3, F4, F5 e F6), nenhuma apresentou atividade antimicrobiana para cepas das bactérias *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella Typhimurium*, portanto não foi possível comparar a diferença de atividade antimicrobiana em relação à adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa* nos filmes produzidos. A falta de atividade antimicrobiana dos filmes produzidos frente às bactérias avaliadas pode indicar que a concentração do princípio ativo não foi suficiente para produzir o efeito antimicrobiano, ou a interação entre o polímero e a curcumina e o rizoma em pó não proporcionou a disponibilidade do princípio ativo para agir como ativo antimicrobiano.

**Palavras-chave:** Embalagens ativas, Curcumina, *Curcuma longa*.

## ABSTRAT

URBANO, Henrique P. Production of composite films of polystyrene with the addition of curcumin and rhizome powder of *Curcuma longa*. 2017. 28 f. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Campo Mourão, 2017.

The main function of food packaging is to maintain the quality and safety of food products. Plastic-based materials (polymers) are widely used, since they are inexpensive and are convenient to use. Active films with antimicrobial function are based on the incorporation of additives in the polymer structure during the film production process and aim to reduce, inhibit or retard the growth of the microbiota present, especially on the surface of the packaged food. Research over the last five decades indicates that curcumin has potent antimicrobial activity. The present work aimed to produce films based on polystyrene added curcumin, evaluating its subjective, mechanical, thickness, moisture and antimicrobial properties and to compare these films with polystyrene based films added with *Curcuma longa* powder rhizome in the same concentrations. The results showed that the films were rigid, with low malleability, irregular shape and with different coloration according to the different formulations. As for moisture and thickness, there was no significant difference between the formulations. It was observed that there is a decrease in tensile strength (MPa) as curcumin addition (formulations F3 and F4), also observed for the addition of *Curcuma longa* powder rhizome (formulations F5 and F6). The formulation F6 presented the lowest tensile strength value, differing statistically from the F2, F3 and F4 formulations. As for tensile elongation (%), the films had the following groups of similarities: F2=F3=F4 and F2=F3=F5=F6. Regarding the elongation in compression (%) and deformation in the perforation (%) the formulations did not differ statistically. Of the proposed formulations (F3, F4, F5 and F6), none showed antimicrobial activity for strains of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella Typhimurium* bacteria, so it was not possible to compare the difference in antimicrobial activity in relation to the addition of curcumin and rhizome powder of *Curcuma longa* in the films produced. The lack of antimicrobial activity of the films produced against the bacteria evaluated may indicate that the concentration of the active principle was not sufficient to produce the antimicrobial effect, or the interaction between the polymer and the curcumin and the rhizome powder did not provide the availability of the active principle to act as an antimicrobial agent.

**Keywords:** Active packaging, Curcumin, *Curcuma longa*.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FORMULAÇÕES DOS FILMES PRODUZIDOS .....	20
FIGURA 2 - PLACAS INOCULADAS COM CEPAS DAS BACTÉRIAS IDENTIFICADAS .....	23

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FORMULAÇÕES DOS FILMES DE POLIESTIRENO (PS) CONTROLE E COM A ADIÇÃO DE CURCUMINA E RIZOMA EM PÓ DE <i>CURCUMA LONGA</i> .....	17
TABELA 2 - VALORES DE ESPESSURA E UMIDADE DOS FILMES PRODUZIDOS.....	21
TABELA 3 - RESULTADOS OBTIDOS DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO; ELONGAÇÃO NA TRAÇÃO; ELONGAÇÃO NA COMPRESSÃO E DEFORMAÇÃO NA PERFURAÇÃO DOS FILMES.....	22



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 EMBALAGENS.....	12
3.2 PLÁSTICO E POLIESTIRENO.....	12
3.3 EMBALAGENS ATIVAS COM PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS.....	13
3.4 RIZOMA EM PÓ DE <i>CURCUMA LONGA</i> E CURCUMINA.....	14
4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	16
4.1 MATERIAL.....	16
4.2 PRODUÇÃO DOS FILMES.....	16
4.3 ANÁLISE SUBJETIVA.....	17
4.4 ESPESSURA.....	17
4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	17
4.6 UMIDADE.....	18
4.7 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	18
4.8 ANÁLISE DE DADOS.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
5.1 ANÁLISE SUBJETIVA.....	20
5.2 AVALIAÇÃO DA ESPESSURA E UMIDADE.....	21
5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	21
5.4 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	22
6 CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

## 1 INTRODUÇÃO

A principal função das embalagens de alimentos é manter a qualidade e a segurança dos produtos alimentares durante o armazenamento e distribuição, estender o prazo de validade de produtos alimentares através do controle da transferência de massa de vapor de água, gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, aromas) e impurezas, e transmissão de luz que pode ocorrer entre o ambiente interno e externo da embalagem. As características requeridas para as embalagens destinadas ao acondicionamento de alimentos dependem principalmente das alterações apresentadas pelo produto a ser protegido, bem como das condições onde o mesmo será armazenado (FAKHOURI, 2009; RHIM, 2013).

A curcumina é o principal pigmento fenólico extraído a partir do açafrão, o rizoma em pó da *Curcuma longa*. É comumente utilizada como uma especiaria, conservante de alimentos, agente aromatizante e corante. Pesquisas ao longo das últimas cinco décadas indicam que a curcumina possui potente ação antioxidante, anti-inflamatória, anti-tumoral, e propriedades antimicrobianas (BHAWANA et al., 2011).

Filmes ativos com função antimicrobiana baseiam-se na incorporação de aditivos na estrutura do polímero durante o processo de produção de filmes. Eles objetivam reduzir, inibir ou retardar o crescimento da microbiota presente, principalmente na superfície do alimento embalado, onde a maior parte das reações de deterioração ocorre (MORAES et al., 2011).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi produzir filmes à base de poliestireno adicionados de curcumina, avaliando suas propriedades subjetivas, mecânicas, de espessura, de umidade e antimicrobianas e comparar esses filmes com filmes produzidos à base de poliestireno adicionados de rizoma em pó de *Curcuma longa* nas mesmas concentrações.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Produzir filmes à base de poliestireno com a adição de curcumina e filmes à base de poliestireno com a adição de rizoma em pó de *Curcuma longa*, nas mesmas concentrações, através da metodologia de *film casting*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os filmes produzidos quanto às propriedades mecânicas por ensaios de tração (resistência à tração e alongação na tração) e de perfuração (alongação na compressão e deformação na perfuração);
- Caracterizar os filmes produzidos quanto à espessura e umidade;
- Avaliar a atividade antimicrobiana dos filmes produzidos com a adição de curcumina e comparar com a atividade antimicrobiana dos filmes produzidos adicionados de rizoma em pó de *Curcuma longa* em relação às seguintes bactérias: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 EMBALAGENS**

A principal função das embalagens de alimentos é manter a qualidade e a segurança dos produtos alimentares durante o armazenamento e distribuição, estender o prazo de validade de produtos alimentares através do controle da transferência de massa de vapor de água, gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, aromas) e impurezas, e transmissão de luz que pode ocorrer entre o ambiente interno e externo da embalagem. Entre os quatro materiais básicos de embalagem (vidro, papel, plásticos e embalagens metálicas) os materiais à base de plástico têm sido amplamente utilizados, visto que eles apresentam baixo custo e são convenientes para o uso, apresentando boa capacidade de processamento, boa qualidade estética, e excelentes propriedades físico-químicas, mecânicas, de barreira, ópticas e de superfície. (RHIM, 2013).

As características requeridas para as embalagens destinadas ao acondicionamento de alimentos dependem principalmente das alterações apresentadas pelo produto a ser protegido, bem como das condições onde o mesmo será armazenado. Entre as características desejáveis, um filme para embalagem alimentícia deve apresentar boas propriedades sensoriais, boas propriedades de barreira e de resistência mecânica, suficiente estabilidade bioquímica, físico-química e microbiológica, estar isento de resíduos tóxicos e ser seguro para o consumo, apresentar uma tecnologia simples de fabricação, não ser poluente e apresentar disponibilidade e baixo custo da matéria-prima e de seu processo de obtenção (FAKHOURI, 2009).

#### **3.2 PLÁSTICO E POLIESTIRENO**

A indústria de plásticos apresenta um papel importante na economia moderna, estando presente em diversos segmentos, principalmente no alimentício, no automobilístico, no de cosméticos, no farmacêutico, no de higiene e limpeza, no de construção civil, entre outros. As vantagens da utilização de embalagens plásticas frente às de metal e vidro, sob alguns aspectos, são inúmeras, a citar:

menor custo de produção e de transporte, são mais leves, algumas têm menor probabilidade de sofrerem danos físicos, menor dispêndio de energia na fabricação, transparência, flexibilidade, possibilidade de entrar em contato direto com o alimento sem alterar as propriedades sensoriais deste, entre outras (OLIVEIRA, 2006).

Dentre os plásticos de maior destaque, na indústria de alimentos, estão: (i) o polietileno de baixa densidade (PEBD), que apresenta baixo custo e é utilizado em produtos desidratados em geral, leite pasteurizado e na confecção de embalagens laminadas; (ii) polietileno de alta densidade (PEAD), seu maior uso é em sacolas para supermercado; (iii) poliestireno (PS), utilizado na elaboração de bandejas expandidas (isopor) para diversos produtos alimentícios; (iv) poli (cloreto de vinila) (PVC), utilizado para embalagens de vinagre, água mineral, óleos comestíveis, molhos e envoltórios para alimentos, entre outros; (v) polipropileno (PP), aplicado em embalagens para alimentos que contém alto teor de gordura, pode ser orientado e bi-orientado, possuindo excelente brilho e transparência; (vi) poli (tereftalato de etileno) (PET), utilizado principalmente em bebidas carbonatadas e (vii) poli (naftalato de etileno) (PEN), que devido ao preço elevado, possui aplicações mais específicas que o PET, tais como sucos de frutas e conservas, cervejas, vinho e embalagens retornáveis (ANJOS, 2004).

O poliestireno (PS) é um termoplástico bastante utilizado como material de embalagem para alimentos. Isso se deve ao fato desse polímero ser inodoro, inerte, ter propriedades como barreira a vapor de água e umidade e, relativamente baixo custo. Com isso, o PS tem inúmeras aplicações nesse segmento, podendo ser utilizado na forma de filmes, caixas conservadoras para armazenamento e transporte de produtos frescos, bandejas de carnes e aves, copos, entre outras (OLIVEIRA, 2006).

### **3.3 EMBALAGENS ATIVAS COM PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS**

Tradicionalmente, os materiais de embalagens têm sido selecionados no sentido de ter mínima interação com o alimento que acondicionam, constituindo assim barreiras inertes. Entretanto, nas últimas décadas, diversos sistemas de embalagem têm sido desenvolvidos com o objetivo de interagir de forma desejável com o alimento – são as embalagens ativas, geralmente planejadas para corrigir deficiências das embalagens passivas (AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000).

Soares (1998) conceituou embalagens ativas como aquelas que interagem com o alimento modificando alguma propriedade, objetivando proporcionar segurança alimentar, melhoria de qualidade sensorial e ampliar a vida-de-prateleira do produto.

As embalagens ativas vêm sendo usadas em grande número de produtos alimentícios tais como pães, bolos, biscoitos, pizza, massa fresca, *croissant*, queijo, peixe, carnes (curadas, desidratadas, defumadas) café, chá, leite em pó, feijão, frutas desidratadas, farinhas, vinhos, "snacks", frutas e hortaliças, legumes, etc. Cada um desses produtos tem mecanismos diferentes de deterioração, que deverão ser entendidos para que se possa definir uma embalagem ativa. Dentre as inúmeras embalagens ativas, podem-se destacar os filmes antimicrobianos, as embalagens com atmosferas modificadas, absorvedores de oxigênio e de etileno, absorvedores e geradores de CO<sub>2</sub>, reguladores de umidade, liberadores de aditivos, liberadores e/ou absorvedores de sabores e odores, indicadores de temperatura, incorporação de enzimas e absorvedores de radiação (CUNHA et al., 2007).

Geralmente os aditivos antimicrobianos são adicionados diretamente nas formulações dos alimentos para controlar o crescimento microbiano e prolongar a vida de prateleira, no entanto, esta maneira não é sempre eficaz uma vez que a capacidade de proteção do agente antimicrobiano é neutralizada em reações e/ou interações com os demais componentes dos alimentos. Além disso, o composto antimicrobiano adicionado diretamente nos alimentos não permanecem somente na superfície dos mesmos, onde ocorrem as reações de deterioração mais intensivamente (PIZZOLI, 2014).

### **3.4 RIZOMA EM PÓ DE *CURCUMA LONGA* E CURCUMINA**

O rizoma em pó da *Curcuma longa*, mais conhecido como açafrão ou cúrcuma, é considerado uma especiaria preciosa. Morfologicamente, caracteriza-se como uma pequena erva aromática, anual, composta de um rizoma principal com várias ramificações menores, todas marcadas com anéis de brácteas secas. Cada rizoma mede até 10 cm de comprimento e quando cortados mostram uma superfície de cor vermelha alaranjada, proveniente da presença do pigmento curcumina. Possui cheiro forte agradável e sabor aromático e picante. É originária da Índia, mas é muito cultivada nos países tropicais como planta medicinal ou condimentar. São três os pigmentos curcuminóides: curcumina, desmetoxicurcumina e

bisdemetoxicurcumina, presentes no rizoma nas concentrações de 60, 22 e 18 %, respectivamente (FILHO et al., 2009).

A curcumina é o principal pigmento fenólico extraído a partir do açafrão, o rizoma em pó da *Curcuma longa*, juntamente com seus análogos: a demetoxicurcumina e a bisdemetoxicurcumina. É comumente utilizada como uma especiaria, conservante de alimentos, agente aromatizante e corante. Pesquisas ao longo das últimas cinco décadas indicam que a curcumina possui potente ação antioxidante, anti-inflamatória, anti-tumoral, e propriedades antimicrobianas. É solúvel em etanol, álcalis, cetona, ácido acético e clorofórmio; e é insolúvel em água. Em sua estrutura molecular, a cadeia principal é um grupo alifático, insaturado e o arilo grupo pode ser substituído ou não. Ela também apresentou atividades como antibacteriana, onde o óleo da cúrcuma inibiu o crescimento de *Staphylococcus aureus* e *Bacillus typhosus*; atividade anti-HIV, em que a curcumina é um inibidor da proteína integrase na replicação do HIV-1 (ARAÚJO & LEON, 2001; BHAWANA et al., 2011).

Niamsa & Sittiwet (2009) realizaram um estudo sobre a atividade antimicrobiana do extrato aquoso de *Curcuma longa*, extrato esse que inibiu o crescimento de *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Krebsilla pneumoniae* ATCC 10031 e *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228. A concentração mínima inibitória apresentou-se de 4 a 16 g/L e a concentração mínima bactericida de 16 a 32 g/L.

Hosny et al. (2011) realizaram um estudo em que foi demonstrado que a adição de 0,3% (p/v) de extrato aquoso de *Curcuma longa* ao queijo causou redução da contagem bacteriana de *Salmonella Typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli* 0157: H7, respectivamente. Além disso, foi verificada ausência de a contagem bacteriana para *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* e *Listeria monocytogenes* após 14 dias de armazenamento à frio.

## 4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

### 4.1 MATERIAL

Para a produção dos filmes foi utilizado polímero poliestireno (Innova), solvente orgânico clorofórmio (Proquímios), rizoma em pó de *Curcuma longa* adquirido em comércio local de Campo Mourão, PR, e curcumina (Sigma Aldrich).

### 4.2 PRODUÇÃO DOS FILMES

A metodologia *film casting* é uma técnica utilizada para a produção de filmes que consiste em verter uma solução filmogênica em pequenas placas ou moldes. Para esse trabalho foi utilizada a técnica de *film casting* por ser a técnica mais utilizada em escala laboratorial.

Foram produzidas cinco formulações diferentes conforme apresentado na Tabela 1. As soluções filmogênicas contêm aproximadamente 10% de polímero (poliestireno) e aproximadamente 90% de solvente orgânico (clorofórmio). O poliestireno foi solubilizado em clorofórmio, sob agitação. Logo após, ainda sob agitação, foi adicionado curcumina nas concentrações de 0,02 e 0,04% (p/p) para os filmes F3 e F4, respectivamente, e rizoma em pó de *Curcuma longa* nas concentrações de 0,02 e 0,04% (p/p) para os filmes F5 e F6, respectivamente. As concentrações de 0,02 e 0,04% (p/p) correspondem a 0,0168 e 0,0335 g, respectivamente, na massa total da solução filmogênica. As soluções filmogênicas foram então vertidas em formas de teflon (8 cm x 20 cm) e secas à temperatura ambiente por 48 h.

Um filme sem adição de rizoma em pó de *Curcuma longa* e sem adição de curcumina também foi produzido para ser utilizado como controle.



**Tabela 1: Formulações dos filmes de poliestireno (PS) controle e com a adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa*.**

<b>Formulação</b>	<b>Poliestireno (g)</b>	<b>Clorofórmio (g)</b>	<b>Curcumina (g)</b>	<b><i>Curcuma longa</i> (g)</b>
(F2) Controle PS	8,0	72,0	0,0	0,0
(F3) PS + curcumina	8,0	72,0	0,0168	0,0
(F4) PS + curcumina	8,0	72,0	0,0335	0,0
(F5) PS + <i>Curcuma longa</i>	8,0	72,0	0,0	0,0168
(F6) PS + <i>Curcuma longa</i>	8,0	72,0	0,0	0,0335

### 4.3 ANÁLISE SUBJETIVA

Nesta análise foi avaliada a aparência global dos filmes produzidos através de observações táteis e visuais.

### 4.4 ESPESSURA

A espessura dos filmes (mm) foi determinada com o uso de um micrômetro digital (Starrett), com precisão de 0,001 mm. Foram avaliados 10 pontos aleatórios sobre a área final do filme e a medida final foi a média aritmética dessas.

### 4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

#### a) Teste de tração

Os testes de tração foram realizados com o uso de um texturômetro (marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT express), conforme os métodos e normas de American Society for Testing and Material (ASTM D-882-00, 2001). As amostras foram cortadas em dimensões de 5 x 2 cm e condicionadas em dessecadores contendo solução salina saturada de nitrato de magnésio P.A. hexahidratado (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) com Umidade Relativa de 53% pelo período de 48 horas. Os filmes foram ajustados às garras pneumáticas do equipamento, a distância estabelecida entre as garras foi de 30 mm e a velocidade de tração foi 0,8 mm/s. As propriedades determinadas foram: resistência à tração (MPa) e alongação na tração (%).

#### b) Teste de perfuração

Para o teste de perfuração, as amostras foram condicionadas em dessecador contendo solução salina saturada de nitrato de magnésio P.A. hexahidratado (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) com Umidade Relativa de 53% pelo período de 48 horas e então foram analisadas.

As amostras com dimensões 20 x 20 mm foram fixadas em um suporte circular do texturômetro (marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT plus) e uma sonda metálica de ponta esférica com diâmetro de 6,35 mm a uma velocidade de 25 mm/min fez a perfuração dos filmes. O experimento foi realizado em duplicata. Neste ensaio foram determinados a força (N) das amostras e a deformação (%), baseando-se na metodologia descrita por Sarantópoulos et al. (2002).

#### 4.6 UMIDADE

A umidade dos filmes produzidos foi determinada por secagem em estufa com circulação de ar (Cienlab) à 70 °C por 24h utilizando a Equação (1), onde U é a umidade do filme (%),  $m_{i1}$  é a massa inicial da amostra (g), e  $m_{s1}$  é a massa seca final da amostra (g). O experimento foi realizado em duplicata.

$$U\% = \frac{m_{i1} - m_{s1}}{m_{i1}} \cdot 100 \quad (1)$$

#### 4.7 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Para as análises de atividade antimicrobiana foram preparados filmes com aproximadamente 6 mm de diâmetro. Os filmes foram expostos à luz ultravioleta por 15 minutos em câmara de fluxo laminar.

A atividade antimicrobiana dos filmes foi testada em relação às cepas das bactérias *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) e *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028), reativadas em caldo BHI (brain heart infusion) e caldo Müller Hinton à 35 °C para realizar o *overnight*. Foi utilizada escala padrão de McFarland 0,5 como padrão de turvação. Para padronizar o inóculo, utilizou-se solução salina 0,85% e ágar Müller

Hinton para realizar a disco difusão. O isolamento das cepas foi realizado com a utilização dos seguintes meios de cultura: *Hecktoen (Salmonella Typhimurium)*, *Baird Parker (Staphylococcus aureus)*, *Teague (Escherichia coli)* e *Hecktoen (Pseudomonas aeruginosa)*. Em cada placa foi inoculado 0,1 mL da suspensão bacteriana, em caldo Müller-Hinton com auxílio de um Swab. Após três minutos, tempo necessário para a secagem, em cada placa foi depositado na superfície do ágar, quatro discos (com as formulações F3, F4, F5 e F6) de modo que o espaçamento entre eles foi o mesmo. O experimento foi realizado de acordo com M02-A12 (CLSI, 2015) para testes de sensibilidade por disco-difusão e em duplicata.

Para o crescimento das colônias, as placas foram embaladas com filme de PVC e incubadas em estufa para cultura (Labstore) à 37 °C por 24 horas. Após este período, foi verificada a presença de halos de inibição (ARAÚJO, 2014; SANTOS, 2014).

#### **4.8 ANÁLISE DE DADOS**

Os resultados obtidos foram avaliados por análise de variância (ANOVA) pelo programa Action Stat (versão 3.1.43.724.694) e as médias dos tratamentos comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISE SUBJETIVA

A Figura 1 apresenta os filmes produzidos a partir das formulações propostas. Os filmes apresentaram-se rígidos, com baixa maleabilidade e formato irregular. O filme controle apresentou-se opaco e à medida que foi adicionado curcumina ou rizoma em pó de *Curcuma longa*, os filmes tornaram-se amarelados/alaranjados.

O filme F4 apresentou coloração mais amarelada/alaranjada em comparação com o filme F3 devido ao dobro da quantidade de curcumina adicionada. Os filmes F5 e F6 também apresentaram uma diferença na coloração devido ao uso de diferentes concentrações, sendo que o filme F6 apresentou coloração mais amarelada/alaranjada em comparação com o filme F5 devido ao dobro da quantidade de rizoma em pó de *Curcuma longa* adicionada.

A comparação entre os filmes F3 e F4 e os filmes F5 e F6 indica diferença entre intensidade de coloração, sendo que a cor apresentou-se mais intensa para os filmes F3 e F4 do que para os filmes F5 e F6. Esta diferença deve-se principalmente ao fato de que nas formulações F3 e F4 foi utilizado o composto curcumina, que é o principal pigmento fenólico extraído a partir do açafrão, ou seja, o pigmento é bem mais concentrado do que o que o encontrado no rizoma em pó de *Curcuma longa*, presente nas formulações F5 e F6.

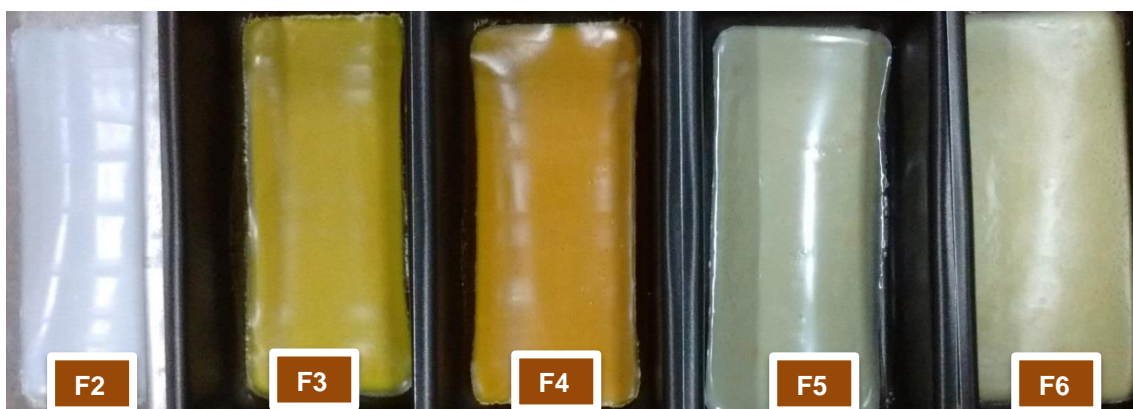


Figura 1: Formulações dos filmes produzidos. F2 (controle, 0,0 g curcumina, 0,0 g *Curcuma longa*), F3 (0,0168g curcumina, 0,0g *Curcuma longa*), F4 (0,0335g curcumina, 0,0 g *Curcuma longa*), F5 (0,0 g curcumina, 0,0168 g *Curcuma longa*) e F6 (0,0 g curcumina, 0,0335 g *Curcuma longa*). Fonte: Autoria Própria.

## 5.2 AVALIAÇÃO DA ESPESSURA E UMIDADE

Os valores da espessura e umidade estão apresentados na Tabela 2. A determinação da espessura pode avaliar a homogeneidade de um filme. Variações nas espessuras dos filmes são comumente associadas à presença de bolhas que podem causar problemas no desempenho das propriedades mecânicas (SOBRAL, 1999).

As espessuras dos filmes variaram de 0,599 a 0,682 mm e não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), indicando um controle adequado do conteúdo de solução filmogênica depositada nas formas e que o tipo de formulação não afetou esta característica dos filmes. Portanto, a adição de curcumina ou rizoma em pó de *Curcuma longa* não influenciou nesse atributo.

As umidades dos filmes variaram de 3,790 a 4,604 % e não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Portanto, a adição de curcumina ou rizoma em pó de *Curcuma longa* não influenciou nesse atributo.

**Tabela 2: Valores de espessura e umidade dos filmes produzidos.**

Formulação	Espessura (mm)	Umidade (%)
F2	0,644 ± 0,072 <sup>a</sup>	4,513 <sup>a</sup>
F3	0,599 ± 0,088 <sup>a</sup>	4,603 <sup>a</sup>
F4	0,679 ± 0,087 <sup>a</sup>	4,604 <sup>a</sup>
F5	0,682 ± 0,218 <sup>a</sup>	3,790 <sup>a</sup>
F6	0,679 ± 0,232 <sup>a</sup>	4,438 <sup>a</sup>

Espessura (média ± desvio padrão, n=10). Umidade (média, n=2). <sup>a</sup> As médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ). F2 (controle, 0,0 g curcumina, 0,0 g *Curcuma longa*), F3 (0,0168g curcumina, 0,0g *Curcuma longa*), F4 (0,0335g curcumina, 0,0 g *Curcuma longa*), F5 (0,0 g curcumina, 0,0168 g *Curcuma longa*) e F6 (0,0 g curcumina, 0,0335 g *Curcuma longa*).

## 5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados das propriedades mecânicas avaliadas (resistência à tração, alongação na tração, alongação na compressão e deformação na perfuração) nas diferentes formulações (F2, F3, F4, F5 e F6) estão apresentados na Tabela 3. As propriedades de tração são úteis para identificação e caracterização de filmes, com aplicação no desenvolvimento, na especificação e na avaliação da qualidade desses materiais (SARANTÓPOULOS, et. al., 2002).

**Tabela 3: Resultados obtidos da resistência à tração; alongação na tração; alongação na compressão; e deformação na perfuração dos filmes.**

Formulação	Resistência à tração (MPa)	Elongação na tração (%)	Elongação na compressão (%)	Deformação na perfuração (%)
F2	181,307 ± 16,305 <sup>a</sup>	0,809 ± 0,071 <sup>ab</sup>	2,934 <sup>a</sup>	0,561 <sup>a</sup>
F3	171,227 ± 15,621 <sup>ab</sup>	0,867 ± 0,159 <sup>ab</sup>	2,700 <sup>a</sup>	0,503 <sup>a</sup>
F4	158,413 ± 10,661 <sup>ab</sup>	0,981 ± 0,407 <sup>a</sup>	2,300 <sup>a</sup>	0,339 <sup>a</sup>
F5	140,213 ± 34,143 <sup>bc</sup>	0,581 ± 0,107 <sup>b</sup>	2,700 <sup>a</sup>	0,501 <sup>a</sup>
F6	112,792 ± 21,756 <sup>c</sup>	0,571 ± 0,176 <sup>b</sup>	2,134 <sup>a</sup>	0,319 <sup>a</sup>

Resistência à tração (média ± desvio padrão, n=7). Alongação na tração (média ± desvio padrão, n=7). Alongação na compressão (média, n=2). Deformação na perfuração (média, n=2). <sup>a,b,c</sup> As médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ). F2 (controle, 0,0 g curcumina, 0,0 g Curcuma longa), F3 (0,0168g curcumina, 0,0g Curcuma longa), F4 (0,0335g curcumina, 0,0 g Curcuma longa), F5 (0,0 g curcumina, 0,0168 g Curcuma longa) e F6 (0,0 g curcumina, 0,0335 g Curcuma longa).

Foi observado que há uma diminuição dos resultados de resistência à tração (MPa) conforme a adição de curcumina (formulações F3 e F4), fato esse observado também para a adição de rizoma em pó de *Curcuma longa* (formulações F5 e F6). A formulação F6 apresentou o menor valor de resistência à tração, diferindo estatisticamente das formulações F2, F3 e F4. A adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa* pode ter influenciado nas propriedades de resistência à tração, sendo que quanto maior a concentração adicionada, menor o valor de resistência à tração.

Quanto à alongação na tração (%) os filmes apresentaram os seguintes grupos de semelhanças: F2=F3=F4 e F2=F3=F5=F6.

Quanto à alongação na compressão (%) e deformação na perfuração (%) as formulações não diferiram estatisticamente.

Essas semelhanças e diferenças observadas para as propriedades mecânicas podem ser explicadas pelo método de produção (*film casting*), pois essa técnica não garante a homogeneidade dos filmes, fator esse que altera as propriedades mecânicas, causando semelhanças e diferenças entre os filmes produzidos de maneira aleatória.

#### 5.4 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Ao analisar as placas inoculadas com as cepas das bactérias *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella*

Typhimurium foi verificada a ausência de halos de inibição ao redor dos discos de filme em contato com a placa conforme apresentado na Figura 2.

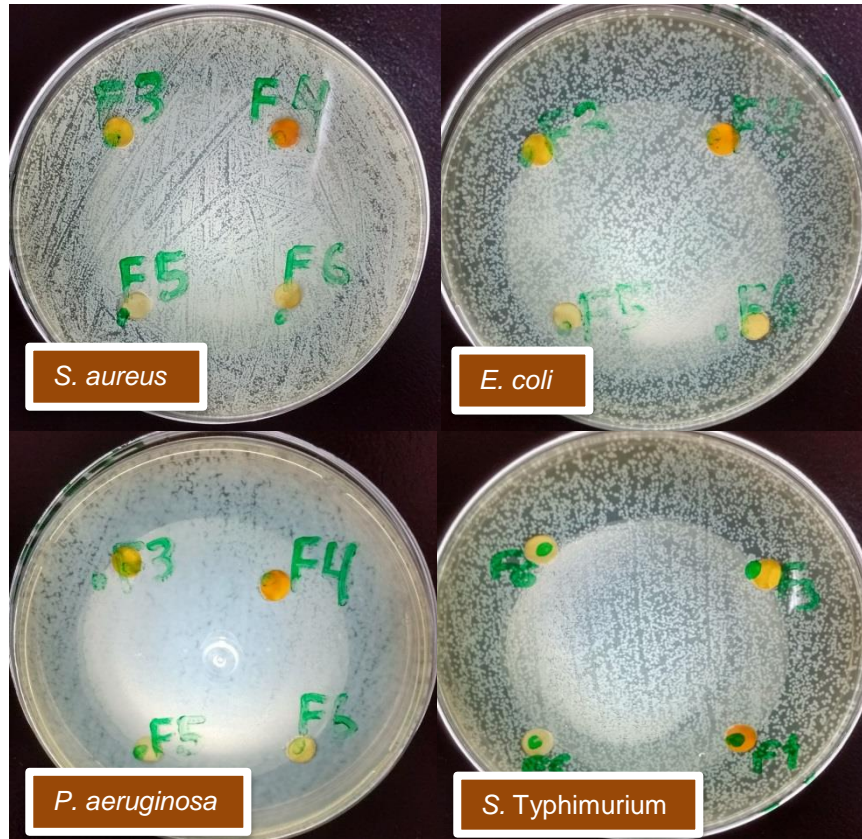


Figura 2. Placas inoculadas com cepas das bactérias identificadas. Os discos colocados em cada placa correspondem às formulações F3, F4, F5 e F6. Fonte: Autoria Própria.

Bhawana, et al. (2011) desenvolveram um método para a preparação de nano partículas de curcumina com o objetivo de melhorar a solubilidade em fase aquosa e examinar o efeito sobre as propriedades antimicrobianas. Foi determinada a concentração mínima inibitória para a curcumina em solução de dimetilsulfóxido e para nano partículas de curcumina em água. A concentração mínima inibitória da solução de curcumina em dimetilsulfóxido foi de 150, 250 e 300  $\mu\text{g/mL}$  para as cepas das bactérias *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*, respectivamente. Nesse trabalho foi utilizado o maior valor da concentração mínima inibitória de curcumina (300  $\mu\text{g/mL}_{\text{solução}}$ ) para as formulações F3 e F5. Já Para as formulações F4 e F6 foi utilizado o dobro do valor da concentração mínima inibitória de curcumina (600  $\mu\text{g/mL}_{\text{solução}}$ ). Os valores 300  $\mu\text{g/mL}_{\text{solução}}$  e 600  $\mu\text{g/mL}_{\text{solução}}$  correspondem às concentrações 0,02 e 0,04% (p/p), respectivamente.

Govindaraj, kandasubramanian & kodam (2014) avaliaram as interações moleculares e a atividade antimicrobiana da curcumina em filmes de poliacrilonitrila e constataram que a curcumina interage com a poliacrilonitrila para formar uma estrutura mais estável. Essa estrutura apresentou maior eficácia em bactérias gram-positivas do que as gram-negativas.

Nesse trabalho, nessas concentrações estabelecidas, os filmes com poliestireno em solução de clorofórmio adicionados de curcumina ou rizoma em pó de *Curcuma longa* não apresentaram halos de inibição. Fato esse que pode ter ocorrido devido há baixa interação e/ou difusão entre o poliestireno e a curcumina ou rizoma em pó de *Curcuma longa*.



## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a produção por *film casting* de filmes compostos de poliestireno com a adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa* apresentou-se desfavorável, pois apesar dos filmes terem apresentado boas propriedades mecânicas, não houve atividade antimicrobiana para as bactérias testadas. Desse modo, não foi possível comparar a diferença de atividade antimicrobiana em relação à adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa* nos filmes produzidos.

Há a necessidade de pesquisas futuras que estudem a interação poliestireno - curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa*, bem como a produção de filmes compostos por poliestireno e clorofórmio em suas formulações, porém em concentrações mais elevadas.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheet**. ASTM D882-00, Philadelphia, p. 9, 2001.

ANJOS, C. A.H., **Importância da embalagem na conservação e distribuição de alimentos**. Apostila da disciplina Tecnologia de Embalagens, do programa de pós-graduação da FEA-UNICAMP, 2004.

ARAÚJO, Grace K. P. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido incorporados com extrato de própolis**. 2014. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do Curso Superior de Tecnologia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

AZEREDO, Henriette M. C. de; FARIA, José de A. F.; AZEREDO, Alberto M. C. de. Embalagens ativas para alimentos. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 20, n. 3, set./dez. 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-2061200000300010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-2061200000300010)>. Acesso em: 02 nov. 2016.

BHAWANA, et al. Curcumin Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Antimicrobial Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 2056–2061, 2011. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf104402t>>. Acesso em: 03 mai. 2016.

CLSI. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard-Twelfth Edition**. CLSI document M02-A12. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2015.

CUNHA, Luciana R. da et al. Desenvolvimento e avaliação de embalagem ativa com incorporação de lactase. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, ago. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612007000500004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612007000500004)> Acesso em: 12 out. 2016.

FAKHOURI, Farayde M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. 2009. 249 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. FILHO, Carlos R. M. da S. et al. Avaliação da bioatividade dos extratos de cúrcuma (*Curcuma longa* L., Zingiberaceae) em *Artemia salina* e *Biomphalaria glabrata*. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 4, p. 919-923, out./nov. 2009. Disponível

em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-695X2009000600022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-695X2009000600022)>. Acesso em: 03 nov. 2016.

GOVINDARAJ, Premika; KANDASUBRAMANIAN, Balasubramanian; KODAM, Kisan M. Molecular interactions and antimicrobial activity of curcumin (*Curcuma longa*) loaded polyacrylonitrile films. **Materials Chemistry and Physics**, v. 147, p. 934-941, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058414003915?via%3Dihub>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

HOSNY I. M. et al. Antimicrobial activity of Curcumin upon pathogenic microorganisms during manufacture and storage of a novel style cheese “Karishcum”. **Journal of American Science**, v. 7, p. 611–618, Egito, 2011. Disponível em: <[http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0705/83\\_5525am0705\\_611\\_618.pdf](http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0705/83_5525am0705_611_618.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2017

MORAES, Allan R. F. e et al. Desenvolvimento e avaliação de filme antimicrobiano aromatizado para aplicação em massa de pastel. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, Santa Maria, mar., 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782011000300029](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000300029)>. Acesso em: 10 mai. 2016.

NIAMSA N.; SITTIWET C. Antimicrobial activity of *Curcuma longa* aqueous extract. **Journal of Pharmacology and Toxicology**, v. 4, n. 4, p. 173–177, Tailândia, 2009. Disponível em: <<http://www.docsdirect.com/pdfs/academicjournals/jpt/2009/173-177.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

OLIVEIRA, Patrícia F. de. **Reciclagem de embalagens de alimentos produzidas a partir de poliestireno extrusado pós-consumo**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PIZZOLI, Ana P. de O. **Produção e caracterização de laminados biodegradáveis e antimicrobianos para embalagens de alimentos**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.  
RHIM, Jong W. Effect of PLA lamination on performance characteristics of agar/k-carrageenan/clay bio-nanocomposite film.

**Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 714-722, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691300077X>>. Acesso em: 02 mai. 2016.

SANTOS, Andrea F. **Produção de filmes ativos a base de amido e zeólita modificada com prata**. 2014. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do Curso Superior de Tecnologia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M. de; PADULA, M.; et al. Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação das propriedades. **CETEA/ITAL**, Campinas, 2002.

SOARES, Nilda de F. F. **Bitterness reduction in citrus juice through naringinase immobilized into polymer film**. 1998. 130 f. Dissertação (Pós-Doutorado), Cornell University, Ithaca, NY, 1998.

SOBRAL, P. J. A. Propriedades funcionais de biofilmes de gelatina em função da espessura. **Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 60-67, 1999.