UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CAMILA MARQUES BITENCOURT

**Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato
etanólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)**

Pirassununga

2013

CAMILA MARQUES BITENCOURT

**Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato
etanólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)**

(versão corrigida)

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Rosemary Aparecida de Carvalho.

Pirassununga

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

B624d Bitencourt, Camila Marques
Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de
gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma
(*Curcuma longa* L.) / Camila Marques Bitencourt. --
Pirassununga, 2013.
107 f.
Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Alimentos.
Área de Concentração: Ciências da Engenharia de
Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Rosemary Aparecida de
Carvalho.
1. Embalagem ativa 2. Filme 3. Gelatina 4. Cúrcuma
5. Bioativo 6. Antioxidante 7. Noz macadâmia. I.

Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, pela força, pela eterna presença em minha vida e por ter colocado no meu caminho todas essas pessoas maravilhosas que, de alguma forma, fazem parte desta caminhada. Deus é uma benção na minha vida.

A minha orientadora, Profa. Dra. Rosemary, pela dedicação, pela paciência, pela amizade, pela confiança, pelas sinceras conversas e, principalmente, por me ajudar a crescer profissionalmente. Muito obrigada!

Aos meus pais, Glória e Manoel, meu porto seguro, meu exemplo, meu amor. E a minha querida irmã Sabrina. Obrigada por estarem ao meu lado sempre, amo vocês.

Ao Matheus, por todo seu amor, pela compreensão, pela amizade e, principalmente, pela paciência.

A Josiane Borges, amiga de todas as horas. Obrigada por compartilhar comigo momentos difíceis e alegres, pelo apoio nas análises, pela sincera torcida e, especialmente, pela amizade.

A Renata Bodini e ao Vitor Garcia, pela amizade, pelas risadas, pela sincera torcida, pelo apoio nas análises e pelas experiências trocadas.

Às minhas amigas e companheiras de república Débora Nascimento, Keliane Bordin, Paola Oliveira e Taíse Toniazzo. Obrigada pela companhia, pelo carinho e pela amizade.

A Gisele Makishi, uma grande amiga. Obrigada pelas conversas, ensinamentos e amizade.

A Flávia Vargas, meus sinceros agradecimentos por sua amizade, pelas experiências trocadas e, pelo apoio nas análises.

A Profa. Dra. Eliana Stesuko Kamimura, por me receber aqui em Pirassununga quando eu fiz estágio em 2010. Muito Obrigada pelos laços de amizade e pelo carinho.

Agradeço ao grande amigo Guilherme Silva, pelo carinho, amizade e disposição.

Aos meus queridos amigos da Pós: Adja Medeiros, Carol Capellini, Daniel Gonçalves, Diane Neeff, Fausto Makishi, Graziane Veiga, Mirelle Dogenski, Paula Okuro, Samira Melo, Talita Comunian, Tiara Oliveira e Volnei Souza, pela amizade e pela sincera torcida.

Aos estagiários do laboratório multiusuário de análise de alimentos, em especial ao André Luis Veneziano, a Larissa Galdini, a Lizandra Paludetti, a Marina Tagliamento e a Renata Rabelo.

A minha querida amiga Kaciane, que me acolheu em Campinas quando precisei ir para a UNICAMP. Muito obrigada, pelo pouso e pelo carinho.

Ao Prof. Dr. Paulo José do Amaral Sobral, por disponibilizar o Laboratório de Tecnologia de Alimentos para realização de algumas análises. E a Ana Mônica Britante, pela sua dedicação e amizade.

*Ao Laboratório de Microbiologia e Micotoxilogia de Alimentos (FZEA/USP), pela doação da bactéria *Staphylococcus aureus*.*

A todos os funcionários do ZEA em especial: Ademilton Rafael David, Carla Monaco, Edinelí Quintero, Keyla Aracava, Marcelo Thomazini e Nilson Ferreira, que sempre foram muito atenciosos.

À secretaria de Pós-Graduação, em especial a Alecsandra Araujo, a Layla Denófrio, e a Stephanie Dias.

Aos membros da banca, pela dedicação e pela disponibilidade.

À CAPES que me concedeu a bolsa de Mestrado.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro deste projeto.

À Fazenda Citra pela doação da noz macadâmia.

Muito Obrigada!!!

“O coração do homem planeja o seu caminho, mas o SENHOR lhe dirige os passos.”

Provérbios 16:9

RESUMO

BITENCOURT, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)**. 2013. 107f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

As embalagens ativas têm ganhado destaque no mercado mundial, pois possibilitam a interação do alimento com o material da embalagem, permitindo a incorporação de compostos ativos. Dentre os compostos ativos, o extrato etanólico de cúrcuma (EEC) tem chamado atenção, devido suas propriedades antioxidante, antimicrobiana, dentre outras. Assim, os objetivos deste trabalho foram desenvolvimento, caracterização e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com EEC. Os filmes foram produzidos pela técnica de *casting* (2 g de gelatina/100 g de solução filmogênica (SF), 30 g de sorbitol/100 g de gelatina) e o EEC foi incorporado na SF, nas concentrações de 0, 5, 50, 100, 150 e 200 g EEC/100 g de gelatina. Os filmes foram caracterizados em relação às propriedades mecânicas, conteúdo de água, matéria solúvel, permeabilidade ao vapor de água, parâmetros de cor, opacidade, brilho, microestrutura, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), barreira UV/Vis, transparência, teor de curcumina, atividade antioxidante e atividade antimicrobiana. O filme com os melhores resultados para as propriedades mecânicas, barreira UV/Vis e atividade antioxidante foi utilizado para embalar noz macadâmia e, as propriedades da noz foram avaliadas em função do tempo de estocagem. A incorporação do EEC melhorou as propriedades mecânicas dos filmes, a tensão de ruptura aumentou de 27,7 MPa (filme controle) para 35,1 MPa (filme com 200 g de EEC/100 g de gelatina) e a elongação na ruptura aumentou de 22,3 % (filme controle) para 36,5 % (filme com 200 g de EEC/100 g de gelatina). O conteúdo de água não foi influenciado pela adição do EEC, porém a matéria solúvel reduziu em relação ao filme controle. A permeabilidade ao vapor de água também reduziu em média 24,1 % para os filmes aditivados. Os parâmetros de cor, opacidade e brilho foram afetados pela incorporação do EEC. As análises de microestrutura indicaram alterações na rugosidade da superfície e um aumento na rugosidade da estrutura interna, em função do aumento da concentração de EEC nos filmes. A análise de FTIR mostrou deslocamentos dos picos associados às amidas A, I e II para os filmes aditivados. Os filmes com EEC apresentaram reduzida transmitância na região UV/Vis e aumento da transparência. O teor de curcumina aumentou linearmente ($y=0,6115x+6,6629$, $R^2=0,9817$) com o aumento da concentração do extrato. A capacidade antioxidante aumentou em função do aumento da concentração do EEC e a atividade antimicrobiana (*Staphylococcus aureus*) foi verificada para concentrações acima de 5 g de EEC/100 g de gelatina. Assim, o filme com concentração de EEC de 200 g de EEC/100 g de gelatina foi utilizado para embalar noz macadâmia. Em relação ao conteúdo de água da noz macadâmia foram observadas diferenças significativas em função do tipo de filme utilizado (com e sem adição de EEC) nos primeiros 30 dias de estocagem. Entretanto, para a atividade de água não foram observadas diferenças. Após 60 dias a dureza da noz macadâmia embalada com o filme aditivado foi superior e as substâncias reativas (ácido tiobarbitúrico) foram inferiores. Pode-se concluir que é possível a utilização desse sistema como embalagem ativa para a noz macadâmia.

Palavras chave: Embalagem ativa, filme, gelatina, cúrcuma, bioativo, antioxidante, noz macadâmia.

ABSTRACT

BITENCOURT, C. M. **Development and application of gelatin-based films added with curcuma ethanol extract (*Curcuma longa* L.)**. 2013. 107f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

Active packaging has been receiving growing attention in the world market because it allows interaction between food and packaging material, thus enabling the incorporation of active compounds. Among active compounds, curcuma ethanol extract (CEE) has been highlighted mainly because its antioxidant and antimicrobial properties. The objectives of this study were the development, characterization and application of gelatin-based films added with CEE. The films were produced by casting technique (2 g gelatin/100 g filmogenic solution (FS), 30 g sorbitol/100 g gelatin) and CEE was added to FS at 6 concentrations (0, 5, 50, 100, 150 and 200 g CEE/100 g gelatin). The films were characterized regarding mechanical properties, water content, soluble matter, water vapor permeability, color parameters, opacity, gloss, microstructure, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), light transmission, transparency, curcumin content, antioxidant activity, and antimicrobial activity. The film with the best results concerning mechanical properties, light transmission and antioxidant activity was selected to package macadamia nut, whose properties were evaluated during the storage time. The addition of CEE improved mechanical properties of the films: tensile strength increased from 27.7 MPa (control film) to 35.1 MPa (film with 200 g CEE/100 g gelatin) and the elongation at break increased from 22.3 % (control film) to 36.5 % (film with 200 g CEE/100 g gelatin). Water content was not affected by the addition of CEE, however soluble matter reduced compared to control film. The water vapor permeability for added films also reduced on average 24.1 %. Color parameters, opacity and gloss were affected by the incorporation of CEE. Microstructure analysis indicated changes in surface roughness and increase in roughness regarding the internal structure due to the growing concentration of CEE in the films. FTIR analysis showed peaks displacements associated to amides A, I and II for the added films. Films added CEE showed reduced transmittance for the UV/Vis region and increased transparency. The curcumin content increased linearly ($y=0.6115x+6.6629$, $R^2=0.9817$) with increasing extract concentration. The antioxidant capacity increased was improved with the increase of extract concentration and antimicrobial activity (*Staphylococcus aureus*) was verified at concentrations above 5g CEE/100g gelatin. Thus, the film with CEE concentration of 200 g CEE/100 g gelatin was used for macadamia nut packaging. Regarding water content in the macadamia nut, significant differences in the first 30 day of storage were found according to the film (with or without CEE). However, no significant difference concerning water activity was found. After 60 days of storage nuts packaged with added film had their hardness increased and lower reactive substances (thiobarbituric acid). It can be concluded that the utilization of this system as active packaging for macadamia nut is possible.

Keywords: Active packaging, film, gelatin, curcuma, bioactive, antioxidant, macadamia nut.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Métodos de incorporação de substâncias ativas no alimento.	25
Figura 2 – <i>Curcuma longa</i> L.: (a) Planta e (b) rizomas.	31
Figura 3 – Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides. (a) Curcumina, (b) Desmetoxicurcumina e (c) Bisdesmetoxicurcumina.	32
Figura 4 – Propriedades funcionais da curcumina.	35
Figura 5 – Fluxograma para a produção dos filmes.	46
Figura 6 – Célula utilizada para análise de permeabilidade ao vapor de água.	49
Figura 7 – Parte externa superior e inferior da noz macadâmia para a determinação dos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*).	58
Figura 8 – Rizoma de <i>Curcuma longa</i> L. em pó obtido após a padronização da granulometria.	61
Figura 9 – Sólido de cor do sistema CIELab.	61
Figura 10 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no teor de curcumina (TC) do extrato etanólico de cúrcuma: T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p<0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.	62

Figura 11 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no rendimento de sólido solúveis (RSS) do extrato etanólico de cúrcuma: T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p<0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2..... 64

Figura 12 – Extrato etanólico de cúrcuma obtido com as condições do tratamento 1 (relação rizoma:solvente = 1:10 (m/v), solvente = etanol 70 % e tempo = 1h)..... 66

Figura 13 – Filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) C_{EEC} = 0 g de EEC/100 g de gelatina; (b) C_{EEC} = 5 g de EEC/100 g de gelatina; (c) C_{EEC} = 50 g de EEC/100 g de gelatina; (d) C_{EEC} = 100 g de EEC/100 g de gelatina; (e) C_{EEC} = 150 g de EEC/100 g de gelatina; (f) C_{EEC} = 200 g de EEC/100 g de gelatina. 67

Figura 14 – Efeito da adição de extratos de plantas na matriz polimérica de filmes à base de gelatina. 69

Figura 15 – Micrografias da superfície (6000x) dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) C_{EEC} = 0 g de EEC/100 g de gelatina; (b) C_{EEC} = 5 g de EEC/100 g de gelatina; (c) 50 g de EEC/100 g de gelatina; (d) C_{EEC} = 100 g de EEC/100 g de gelatina; (e) C_{EEC} = 150 g de EEC/100 g de gelatina; (f) C_{EEC} = 200 g de EEC/100 g de gelatina. 77

- Figura 16** – Micrografias da fratura (6000x) dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g de EEC/100 g de gelatina; (c) 50 g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100 g de gelatina. 78
- Figura 17** – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) nos espectros de infravermelho dos filmes à base de gelatina. (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g EEC/100 g de gelatina; (c) $C_{EEC} = 50$ g EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g EEC/100g de gelatina. 79
- Figura 18** - Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no comprimento de onda de 200 a 800 nm em função da transmitância (T) dos filmes à base de gelatina..... 81
- Figura 19** – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no teor de curcumina (TC) dos filmes à base de gelatina. 84
- Figura 20** - Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na capacidade antioxidante (CA) dos filmes à base de gelatina: (a) pelo método do radical DPPH• e (b) pelo método do radical ABTS•+. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2..... 85
- Figura 21** – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* dos filmes à base de gelatina. (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g

de EEC/100 g de gelatina; (c) $C_{EEC} = 50$ g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100g de gelatina..... 87

Figura 22 – Placa com o controle positivo (amoxilina). 87

Figura 23 – Noz macadâmia embalada com filmes à base de gelatina: (a) filme controle (sem adição de EEC); (b) filme aditivado (adição de EEC na concentração de 200 g de EEC/100 g de gelatina). 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistema de embalagens ativas, de origem sintética, utilizadas em alimentos.	23
Tabela 2 – Exemplos de filmes à base de macromoléculas naturais aditivados com compostos bioativos.	27
Tabela 3 – Aplicações de filmes à base de macromoléculas naturais com adição de compostos bioativos em produtos alimentares.	29
Tabela 4 – Propriedades funcionais da <i>Curcuma longa</i> L.	34
Tabela 5 – Tratamentos avaliados para a obtenção do extrato etanólico de cúrcuma.	43
Tabela 6 – Conteúdo de água (CA), atividade de água (a_w), luminosidade (L^*), croma a^* (a^*) e croma b^* (b^*) dos rizomas de cúrcuma em pó.	60
Tabela 7 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no rendimento de curcumina do extrato etanólico de cúrcuma.....	63
Tabela 8 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) na luminosidade (L^*), no croma a^* (a^*) e no croma b^* (b^*) do extrato etanólico de cúrcuma.	65
Tabela 9 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na espessura, na tensão na ruptura (TR), na elongação na ruptura (E) e no módulo elástico (ME) dos filmes à base de gelatina.	68
Tabela 10 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no conteúdo de água (CA) e na matéria solúvel (MS) dos filmes à base de gelatina.....	70

Tabela 11 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na permeabilidade ao vapor de água (PVA) nos filmes à base de gelatina.	72
Tabela 12 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na luminosidade (L^*), no croma a^* (a^*), no croma b^* (b^*) e na opacidade dos filmes à base de gelatina.	73
Tabela 13 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no brilho (ângulo de 20° e de 60°) dos filmes à base de gelatina.	75
Tabela 14 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC} = g de EEC/100 g de gelatina) no comprimento de onda de 200 a 800 nm em função da transmitância dos filmes à base de gelatina.	81
Tabela 15 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na transparência dos filmes à base de gelatina.	83
Tabela 16 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na atividade antimicrobiana contra <i>Staphylococcus aureus</i> , representada pelo halo de inibição (incluindo o filme com diâmetro de 20 mm), dos filmes à base de gelatina.	88
Tabela 17 – Avaliação do conteúdo de água e da atividade de água da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.	90
Tabela 18 – Avaliação da dureza da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.	91

Tabela 19 – Avaliação da luminosidade (L^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.	92
Tabela 20 – Avaliação do croma a^* (a^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.	93
Tabela 21 – Avaliação do croma b^* (b^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.	94
Tabela 22 – Avaliação do TBARS da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.....	95

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 EMBALAGENS ATIVAS	22
3.1.1 Filmes ativos à base de macromoléculas naturais e compostos ativos	24
3.1.2 Aplicações	28
3.2 <i>Curcuma longa</i> L.	30
3.2.1 Pigmentos curcuminóides	31
3.2.2 Propriedades funcionais da cúrcuma	33
3.2.2.1 Atividade Antioxidante	36
3.2.2.2 Atividade Antimicrobiana	38
4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 MATERIAL	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RIZOMAS DE <i>Curcuma Longa</i> L. EM PÓ	40
4.2.1 Conteúdo de água	41
4.2.2 Atividade de água	41
4.2.3 Parâmetros de cor	42
4.3 PRODUÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA CÚRCUMA	42
4.3.1 Caracterização do extrato	43

4.3.1.1 Teor e rendimento de curcumina.....	43
4.3.1.2 Rendimento de sólidos solúveis	44
4.3.1.3 Parâmetros de cor	44
4.4 PRODUÇÃO DO FILME	45
4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	46
4.5.1 Espessura	47
4.5.2 Propriedades mecânicas.....	47
4.5.3 Conteúdo de água.....	48
4.5.4 Matéria solúvel.....	48
4.5.5 Permeabilidade ao vapor de água.....	49
4.5.6 Parâmetros de cor e opacidade.....	50
4.5.7 Brilho	51
4.5.8 Microestrutura.....	51
4.5.9 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier	51
4.5.10 Barreira UV/Vis e transparência	52
4.5.11 Teor de curcumina.....	52
4.5.12 Atividade antioxidante.....	53
4.5.12.1 Determinação da capacidade antioxidante pelo método de sequestro do radical livre DPPH•	53
4.5.12.2 Determinação da capacidade antioxidante pelo método do sequestro do radical livre ABTS •+	54

4.5.13 Atividade antimicrobiana.....	55
4.6 PROPRIEDADES DA NOZ MACADÂMIA EMBALADA COM FILMES À BASE DE GELATINA.....	56
4.6.1 Caracterização da noz macadâmia	56
4.6.1.1 Conteúdo de água.....	56
4.6.1.2 Atividade de água.....	56
4.6.1.3 Dureza.....	57
4.6.1.4 Parâmetros de cor	57
4.6.1.5 Substâncias reativas com ácido tiobarbitúrico (TBARS)	58
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	60
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DE CÚRCUMA.....	61
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	66
5.3.1 Aspecto visual.....	66
5.3.2 Espessura e propriedades mecânicas	68
5.3.3 Conteúdo de água e matéria solúvel.....	70
5.3.4 Permeabilidade ao vapor de água.....	71
5.3.5 Parâmetros de cor e opacidade.....	73
5.3.6 Brilho	74
5.3.7 Microestrutura.....	75

5.3.8 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier	79
5.3.9 Barreira UV/Vis e transparência	80
5.3.10 Teor de curcumina.....	83
5.3.11 Capacidade antioxidante determinada pelo método de sequestro do radical livre DPPH• e ABTS•+	84
5.3.12 Atividade antimicrobiana.....	86
5.4 PROPRIEDADES DA NOZ MACADÂMIA EMBALADA COM FILMES À BASE DE GELATINA.....	89
5.4.1 Conteúdo de água e atividade de água	89
5.4.2 Dureza.....	91
5.4.3 Parâmetros de cor.....	92
5.4.4 Substâncias reativas com ácido tiobarbitúrico (TBARS)	94
6 CONCLUSÕES.....	96
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1 INTRODUÇÃO

As embalagens vêm sendo alvo de pesquisas e novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para atender a demanda dos consumidores que estão cada vez mais exigentes por qualidade e segurança alimentar. Dentre as inovações, as embalagens ativas têm ganhado destaque no mercado mundial. Segundo Pereira-de-Abreu, Cruz e Losada-Paseira (2012), esse sistema proporciona grandes benefícios para a indústria de alimentos, pois, por meio dele, pode-se obter um maior controle nas condições de armazenamento, podendo contribuir para a melhoria da qualidade e aumento da vida de prateleira do produto, em relação às embalagens tradicionais.

Uma alternativa para o desenvolvimento de embalagens ativas são os filmes produzidos a partir de fontes renováveis, pois, possuem capacidade de carregar compostos ativos e, adicionalmente, minimizam o impacto ambiental causado pela utilização dos polímeros sintéticos.

A adição de compostos ativos no material da embalagem pode tornar-se mais eficiente que outros métodos de conservação dos alimentos, pois pode fornecer maior segurança ao consumidor, já que o composto ativo presente na embalagem está em contato com a superfície do alimento, possibilitando o aumento da proteção na superfície do produto (COMA, 2008), onde o crescimento microbiológico e a oxidação lipídica se iniciam. Além disso, a migração do composto ativo, presente na embalagem, para o produto acontece lentamente (COMA, 2008) e, possibilita a redução da quantidade de conservantes no alimento, em relação aos métodos de incorporação direta do mesmo.

Outro problema relacionado à segurança do consumidor é a utilização de conservantes sintéticos (TYAGI et al., 2012). Devido a isso, a utilização de substâncias antioxidantes e

antimicrobianas, obtidas a partir de fontes naturais, pode ser uma alternativa para a substituição dos compostos sintéticos na conservação de sistemas alimentares.

A incorporação de substâncias bioativas em filmes à base de macromoléculas naturais tem sido explorada em diversos estudos, tais como a incorporação de extrato de orégano e alecrim em filmes à base de gelatina (GÓMEZ-ESTACA et al., 2009a), óleo essencial de orégano em filmes à base de proteína de soro do leite (ZINOVIADOU; KOUTSOUMANIS; BILIADERIS, 2009), extrato de chá verde em filmes à base de quitosana (SIRIPATRAWAN; HARTE, 2010), óleo essencial de frutas cítricas em filmes à base de gelatina (TONGNUANCHAN; BENJAKUL; PRODPRAN, 2012), extrato de chá verde em filmes à base de gelatina e ágar (GIMÉNEZ et al., 2013), óleo essencial de seriguela em filmes à base de carragena (SHOJAEI-ALIABADI et al., 2013), óleos de citronela, coentro, estragão e tomilho em filmes à base de gelatina (PIRES et al., 2013), dentre outros.

Uma planta que tem recebido atenção especial é a *Curcuma longa* L., são os rizomas da cúrcuma que se encontram os pigmentos curcuminóides responsáveis pelas propriedades funcionais da planta (KATZ; TRASK; LUCCHESI, 2009; KOWSALYA; KRISHNAVENI, 2011; WAKTE et al., 2011), tais como, propriedades antioxidante (SINGH et al., 2010), antimicrobiana (ARUTSELVI et al. (2012), anti-inflamatória (MENON; SUDHEER, 2007), anticancerígena (JIANG et al., 2012). Dentre os pigmentos curcuminóides, a curcumina é o principal composto bioativo e o pigmento mais abundante encontrado nos rizomas (PARAMASIVAN et al., 2009).

Porém, estudos relacionados com a produção de filmes à base de gelatina com adição de extrato de cúrcuma não foram reportados na literatura. Assim, tendo em vista o amplo potencial da cúrcuma, os objetivos deste trabalho foram desenvolvimento, caracterização e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma.

2 OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste trabalho foram o desenvolvimento, a caracterização e a aplicação de filmes à base de gelatina com adição de extrato etanólico de cúrcuma.

Para isso, os objetivos específicos foram:

- ✓ Produção e caracterização do extrato etanólico de cúrcuma;
- ✓ Produção e caracterização dos filmes à base de gelatina com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma;
- ✓ Otimização da concentração de extrato etanólico de cúrcuma visando filmes com melhores propriedades (propriedades mecânicas, barreira UV/Vis e atividade antioxidante);
- ✓ Avaliação das propriedades da noz macadâmia embalada com o filme à base de gelatina aditivado com extrato etanólico de cúrcuma otimizado, em função do tempo de armazenamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens constituem uma importante ferramenta para as indústrias alimentícias (RAHMAN, 2007). Os processos físicos e químicos, tais como a utilização de alta temperatura, de alta pressão, de radiação e de conservantes, são responsáveis pela qualidade dos alimentos. No entanto, a utilização da embalagem é indispensável para a conservação desses processos (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998).

De um modo geral, as embalagens fornecem proteção e garantem qualidade ao produto, prolongando sua vida de prateleira, em especial para aqueles alimentos susceptíveis a oxidação e/ou a deterioração microbiana (COMA, 2008).

As embalagens tradicionais devem ser totalmente inertes, isso significa que não deve haver interação entre a embalagem e o alimento (AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000; SUPPAKUL et al., 2003). Ao contrário deste sistema, as embalagens ativas podem facilitar a interação do produto embalado com o meio em que o alimento se encontra ou com compostos ativos incorporados no sistema da embalagem (SUPPAKUL et al., 2003; LEE, 2011; PEREIRA-DE-ABREU; CRUZ; LOSADA-PASEIRA, 2012). Esses compostos, geralmente, estão contidos em um recipiente separado, como por exemplo, em um sachê, mas também podem ser incorporados diretamente no material da embalagem (COOKSEY, 2010).

Na Tabela 1, pode-se observar alguns exemplos de embalagens ativas produzidas com polímeros sintéticos.

Tabela 1 – Sistema de embalagens ativas, de origem sintética, utilizadas em alimentos.

Função	Polímero	Componente ativo	Aplicação	Fonte
Antioxidante	Polietileno de alta densidade, Copolímero Etileno Vinil Álcool (EVOH), Polietileno de baixa densidade	Butilhidroxitolueno (BHT), Butilhidroxianisol (BHA) e α -tocoferol	Leite em pó	Granda-Restrepo et al. (2009)
Absorver oxigênio	PE (Polietileno), PP (Polipropileno) e EVA (Etileno acetato de vinila)	Ferro em pó	Salsicha	Gibis e Rieblinger (2011)
Absorver etileno e umidade	Policloreto de vinila (PVC)	Zeólitos e sílica em gel	Morango	Aday e Caner (2011)
Antimicrobiana	Acetato de polivinila	Acido ascórbico	Queijo	Hauser e Wunderlich (2011)
Antimicrobiana	Nylon e polietileno	Timol, eugenol, óleo essencial de limão e laranja	Salsicha de porco	Mastromatteo et al. (2011)
Antimicrobiana	Polietileno	Nisina	Carne bovina	La-Storia et al. (2012)
Absorver umidade e oxigênio	Polietileno linear de baixa densidade e polietileno de baixa densidade	Ferro em pó e sais	Tortilhas	Antunez et al. (2012)
Antioxidante	Copolímero de etileno e álcool polivinílico (EVOH)	Ácido ascórbico, ácido ferúlico, quercetina e extrato de chá verde	Sardinha	López-de-Dicastillo et al. (2012)

O setor de embalagens alimentícias é predominado por polímeros derivados do petróleo (KANATT et al., 2012) e, a preocupação com os resíduos dessas embalagens, levou os pesquisadores a buscar alternativas para reduzir o impacto ambiental causado pelo uso dos polímeros sintéticos (JAVANMARD, 2008). Uma opção é a utilização de filmes desenvolvidos a partir de fontes renováveis (CARVALHO et al., 2008; JAVANMARD, 2008; SONG; SHIN; SONG, 2012).

As macromoléculas naturais são empregadas em diversas áreas e, a utilização desse material para produção de filmes tem despertado interesse do ponto de vista acadêmico e industrial (MUÑOZ-BONILLA; FERNÁNDEZ-GARCÍA, 2012). As principais macromoléculas utilizadas para produção de filmes são as proteínas e os polissacarídeos (JONGJAREONRAK et al., 2006).

Os filmes desenvolvidos a partir de fontes renováveis possuem capacidade de carregar compostos ativos (KANATT et al., 2012; MUÑOZ-BONILLA; FERNÁNDEZ-GARCÍA, 2012), como por exemplo, substâncias antioxidantes e antimicrobianas e, podem ser utilizados como embalagem ativa para alimentos.

3.1.1 Filmes ativos à base de macromoléculas naturais e compostos ativos

A utilização de compostos ativos é indispensável para as indústrias alimentícias. De um modo geral, os compostos ativos podem melhorar e manter a qualidade dos alimentos, fornecer e/ou aperfeiçoar a funcionalidade aos mesmos e, facilitar o seu processamento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Na Figura 1, podem-se observar algumas formas de incorporação de compostos ativos ao produto (diretamente no alimento, por imersão ou pulverização e no material da embalagem).

Figura 1 – Métodos de incorporação de substâncias ativas no alimento.

Fonte – Coma (2008).

A escolha do método de incorporação do composto no alimento pode depender do produto a ser conservado e da conveniência do processo. A forma mais comum é a adição direta do conservante no alimento, todavia em alguns casos, pode-se aplicar a imersão, como, por exemplo, Lin et al. (2011) realizaram um estudo com camarões imersos em solução com extrato de alga vermelha *Gracilaria tenuistipitata* e, verificaram que as amostras que receberam o tratamento com imersão do extrato apresentaram redução na síndrome da macha branca em relação às amostras que não receberam o tratamento.

Atualmente, os compostos ativos estão cada vez mais sendo adicionados em filmes à base de macromoléculas naturais e, utilizados para embalar diversos produtos, tais como, amendoim (JAVANMARD, 2008), peixe (GÓMEZ-ESTACA et al., 2010), tomate (DAS; DUTTA; MAHANTA, 2013), dentre outros.

De um modo geral, a incorporação de compostos ativos no material da embalagem pode tornar-se mais eficiente que os outros métodos de conservação (diretamente no alimento e imersão ou pulverização), pois podem fornecer maior segurança ao consumidor (COMA, 2008), já que o composto ativo presente na embalagem está em contato com a superfície do alimento, possibilitando o aumento da proteção na superfície do produto (COMA, 2008), onde o crescimento microbiológico e a oxidação lipídica se iniciam. Vale ressaltar que a migração do composto ativo, presente na embalagem, para o produto acontece lentamente (COMA, 2008) o que possibilita a redução da quantidade de conservantes no alimento, em relação aos métodos de incorporação direta do mesmo.

Além disso, quando o agente é incorporado diretamente ao alimento, em determinados produtos, como por exemplo, em produtos cárneos, a substância ativa pode inativar os compostos nutricionais presentes no produto (COMA, 2008).

Os principais conservantes utilizados nas indústrias alimentícias são de origem sintética, como por exemplo, butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA), sais de sulfito, metabissulfito, ácido benzoico, óxido de etileno, nitratos, nitritos, ácido propiônico, óxido de propileno, ácido sórbico, dióxido de enxofre (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Tendo em vista que problemas de saúde podem estar relacionados à ingestão de conservantes sintéticos (TYAGI et al., 2012) é crescente a necessidade de substituição desses compostos por compostos naturais. Em função disso, substâncias antioxidantes e antimicrobianas obtidas a partir de fontes naturais são de grande interesse.

As melhores fontes para a obtenção desses compostos ativos são as plantas (ARUTSELVI et al., 2012) devido à elevada concentração de compostos fenólicos presentes em seus extratos e/ou óleos que favorecem as propriedades antioxidantes e/ou antimicrobianas (KANATT et al., 2012).

Alguns exemplos de utilização de substâncias bioativas incorporadas diretamente em filmes à base de macromoléculas naturais podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplos de filmes à base de macromoléculas naturais aditivados com compostos bioativos.

Macromolécula	Composto ativo	Propriedade	Fonte
Gelatina	Extrato de orégano e alecrim	Antioxidante	Gómez-Estaca et al. (2009a)
Gelatina	Extrato de chá verde	Antioxidante	Wu et al. (2013)
Gelatina e ágar	Extrato de chá verde	Antioxidante	Giménez et al. (2013)
Quitosana	Extrato de chá verde	Antioxidante	Siripatrawan e Harte (2010)
Quitosana	Óleo essencial de <i>Zataria multiflora</i> Boiss e extrato de semente de uva	Antioxidante	Moradi et al. (2012)
Proteína de soro de leite	Óleo essencial de orégano	Antimicrobiana	Zinoviadou, Koutsoumanis e Biliaderis (2009)
Caseinato de sódio	Óleo essencial de <i>Zataria multiflora</i> Boiss	Antimicrobiana	Broumand et al. (2011)
Zeína	Óleo essencial de <i>Zataria multiflora</i> Boiss	Antimicrobiana	Ghasemi et al. (2012)
Quitosana	Óleo de árvore de chá (<i>Metaleuca</i>)	Antimicrobiana	Sánchez-González et al. (2010)
Amaranto, quitosana e amido	Óleo essencial de orégano, canela e erva cidreira	Antimicrobiana	Avila-Sosa et al. (2012)
Gelatina e quitosana	Óleo essencial de cravo	Antimicrobiana	Gómez-Estaca et al. (2010)
Gelatina e metilcelulose	Óleo essencial de orégano e tomilho e extrato de frutas cítricas	Antimicrobiana	Iturriaga, Olabarrieta e Martínez-de-Marañón (2012)
Gelatina	Extrato etanólico de própolis	Antimicrobiana	Bodini et al. (2012)
Hidroximetilcelulose	Extrato de <i>Kiam wood</i> (<i>Cotyleobium lanceotatum</i>)	Antimicrobiana	Chana-Thaworn, Chanthachum e Wittaya (2011)
Carragena	Óleo essencial de seriguela (<i>Satureja hortensis</i>)	Antioxidante e antimicrobiana	Shojaee-Aliabadi et al. (2013)
Gelatina	Óleos de citronela, coentro, estragão e tomilho	Antimicrobiana e antioxidante	Pires et al. (2013)
Quitosana	Óleo de tomilho	Antimicrobiana e antioxidante	Altioek, Altioek e Tihminlioglu (2010)
Quitosana	Óleo essencial de <i>Thymus moroderi</i> e <i>Thymus piperella</i>	Antimicrobiana e antioxidante	Ruiz-Navajas et al. (2013)

3.1.2 Aplicações

Os filmes ativos podem apresentar propriedades funcionais, como capacidade antioxidante e antimicrobiana. Diversas pesquisas vêm sendo realizadas, visando-se avaliar a estabilidade de produtos alimentícios embalados com esses filmes à base de fontes renováveis aditivados com substâncias ativas. Segundo Lee (2011), a liberação de antioxidante para a superfície do alimento pode inibir a oxidação química e/ou reações enzimáticas durante o armazenamento do produto e a liberação de composto antimicrobiano pode reduzir o crescimento microbiano.

Na Tabela 3, pode-se observar algumas aplicações de filmes à base de fonte renovável com adição de um composto ativo natural.

Tabela 3 – Aplicações de filmes à base de macromoléculas naturais com adição de compostos bioativos em produtos alimentares.

Macromolécula	Composto ativo	Alimento	Resultado	Fonte
Proteína de soro do leite	Azeite de oliva	Amendoim	Redução de peróxidos	Javanmard (2008)
Proteína de soja	Óleo de orégano	Carne bovina	Redução de coliformes e de <i>Pseudomonas</i> ; Inibição de bactérias ácido lácticas	Zinoviadou, Koutsoumanis e Biliaderis (2009)
Proteína de soja	Óleos essenciais de orégano e de tomilho	Carne fresca	Redução na contagem de coliformes e de <i>Pseudomonas</i> spp	Emiroğlu et al. (2010)
Gelatina e quitosana	Óleo essencial de cravo	Peixe fresco	Redução de bactérias gram-negativas; conteúdo de bactérias ácido láctico constante	Gómez-Estaca et al. (2010)
Quitosana	Extrato de chá verde	Salsicha de porco	Redução do crescimento microbiano	Siripatrawan e Noipha (2012)
Proteína de farelo de cevada e gelatina	Extrato de semente de uva	Salmão	Redução do crescimento microbiano, do índice de peróxido e da oxidação lipídica	Song, Shin e Song (2012)
Gelatina	Óleo essencial de erva-cidreira	Fatias de robalo	Redução do crescimento microbiano e da oxidação lipídica	Ahamad et al. (2012a)
Amido de arroz	Óleo de coco e extrato de chá (<i>Camellia sinensis</i>)	Tomates	Retardamento do amadurecimento	Das, Dutta e Mahanta (2013)

Dentre os compostos ativos utilizados para produção de filmes à base de fontes renováveis, a cúrcuma tem chamado atenção, devido as suas propriedades funcionais, tais como antioxidante (BRAGA et al., 2003; SINGH et al., 2010; MENON; SUDHEER, 2007) e antimicrobiana (ALY; GUMGUMJEE, 2011; ARUTSELVI et al., 2012), porém, estudos com incorporação de extrato desta planta em filmes à base de gelatina ainda não foram relatados na literatura.

3.2 *Curcuma longa* L.

A *Curcuma longa* L. é uma planta herbácea da família Zingiberaceae, nativa da Índia, onde foi originalmente utilizada na preservação de alimentos e como tempero culinário (UPTON et al., 2011). É o rizoma seco e moído que representa interesse econômico (PEREIRA; STRINGHETA, 1998; CECILIO-FILHO et al., 2000; AGGARWAL et al., 2005; LIN; LEE, 2006, NANDITHA; JENA; PRABHASANKAR, 2009; PARK; LIM; HWANG, 2012).

Tradicionalmente, a cúrcuma é utilizada como corante em alimentos, como no arroz, no iogurte e na carne de frango, sendo também utilizada como tempero culinário. O curry é uma mistura de especiarias e a cúrcuma é um de seus ingredientes principais (TAYYEM et al., 2006).

O gênero cúrcuma tem origem de uma palavra árabe “Kurkum”, que originalmente era chamada de açafrão e, existem cerca de 100 espécies neste gênero (NAHAR; SARKER, 2007). A maioria das espécies cresce em regiões de clima quente e úmido, com características de regiões subtropicais e tropicais (NAHAR; SARKER, 2007). Espécies de cúrcuma são nativas de países do sudeste asiático e são amplamente cultivadas em Bangladesh, Índia, China, Taiwan, Sri Lanka, Indonésia, Peru e Austrália; contudo, a Índia é o seu principal produtor (NAHAR; SARKER, 2007).

A planta pode atingir até um metro de altura (AGGARWAL et al., 2005), suas folhas são longas de cor verde escuro e possui flores brancas (Figura 2a). O ciclo vegetativo varia de sete a nove meses, sua propagação se dá pela divisão das raízes e a colheita é feita quando as folhas tornam-se amarelas (PEREIRA; STRINGHETA, 1998). O rizoma (Figura 2b) mede até 10 cm de comprimento e, quando cortados, mostram uma superfície de cor alaranjada (SILVA-FILHO et al., 2009).

Figura 2 – *Curcuma longa* L.: (a) Planta e (b) rizomas.

Fonte – Pereira e Moreira (2009).

O rizoma da cúrcuma possui 1 a 5 % de óleo essencial, 25 a 50 % de amido, 4 a 10 % de proteínas, 2 a 7 % de fibras e 3 a 7 % de cinzas (PEREIRA; STRINGHETA, 1998), além dos pigmentos curcuminóides.

Os pigmentos curcuminóides são compostos por três substâncias principais, a curcumina, a desmetoxicurcumina e a bisdesmetoxicurcumina (KATZ; TRASK; LUCCHESI, 2009; KOWSALYA; KRISHNAVENI, 2011). Esses compostos são responsáveis pela cor alaranjada característica dos rizomas (SILVA-FILHO et al., 2009; WAKTE et al., 2011).

3.2.1 Pigmentos curcuminóides

Os pigmentos curcuminóides são compostos fenólicos (KATZ; TRASK; LUCCHESI, 2009; KOWSALYA; KRISHNAVENI, 2011; ALY; GUMGUMJEE, 2011) e sua concentração nos rizomas pode variar de 3 a 6 mg/100 g (KOWSALYA; KRISHNAVENI, 2011). O conteúdo desses compostos varia em função do cultivo, local de plantio, práticas

agrícolas, utilização de fertilizantes e maturidade dos rizomas (PEREIRA; STRINGHETA, 1998).

Quanto à composição dos pigmentos curcuminóides, a porção é geralmente de 77 % de curcumina, 17 % de desmetoxicurcumina e 3 % bisdesmetoxicurcumina (ANAND et al., 2008; GOEL; AGGARWAL, 2011). As estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 – Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides. (a) Curcumina, (b) Desmetoxicurcumina e (c) Bisdesmetoxicurcumina.

Fonte – Paramasivan et al. (2009).

A curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina apresentam ponto de fusão de 184, 173 e 224 °C, respectivamente (GOVINDARAJAN, 1980; PEREIRA; STRINGHETA, 1998). Esses pigmentos são estáveis a pH ácido e facilmente se decompõem em pH acima do neutro; são sensíveis a luz, porém altamente estáveis ao calor (SOGI et al., 2010).

O principal composto bioativo e o pigmento mais abundante dos rizomas da cúrcuma é a curcumina (LIN; LEE, 2006; PARAMASIVAN et al., 2009; SCOTTER, 2009; NAZ et al. 2010), que pertence ao grupo diferuloilmetano, é insolúvel em água e pode ser extraído com etanol (AGGARWAL et al., 2005; SCOTTER, 2009).

3.2.2 Propriedades funcionais da cúrcuma

Nas últimas décadas, a *Curcuma longa* L. foi uma das plantas mais pesquisadas devido às suas propriedades funcionais (UPTON et al., 2011). Na Tabela 4, pode-se observar algumas propriedades funcionais da cúrcuma.

Tabela 4 – Propriedades funcionais da *Curcuma longa* L.

Propriedade funcional	Cúrcuma	Referências
Anti-inflamatória	Pigmentos curcuminóides isolados (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina)	Ramsewak, Dewitt e Nair (2000)
Anti-inflamatória	Composto isolado (Curcumina)	Menon e Sudheer (2007)
Anticancerígena	Pigmentos curcuminóides isolados (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina)	Anto et al. (1996); Jiang et al. (2012)
Anticancerígena	Extrato metanólico	Aly e Gumgumjee (2011)
Antiplaquetária	Composto isolado (Curcumina)	Lee (2006)
Antioxidante	Óleo	Braga et al. (2003); Singh et al. (2010)
Antioxidante	Composto isolado (Curcumina)	Menon e Sudheer (2007)
Antimicrobiana	Extrato metanólico	Aly e Gumgumjee (2011)
Antimicrobiana	Extrato metanólico e etanólico	Arutselvi et al. (2012)
Analgésica	Composto isolado (Curcumina)	Aggarwal et al. (2005)
Antidiabética	Extrato etanólico	Kuroda et al. (2005)
Antidiabética	Extrato aquoso	Mohankumar e McFarlane (2011)
Antidiabética	Composto isolado (Bisdesmetoxicurcumina)	Ponnusamy et al. (2012)
Anti-hipertensivo e cardiogênico	Extrato metanólico	Adaramoye et al. (2009)
Anti-hipoglicêmico	Extrato etanólico	Kuroda et al. (2005)
Prevenção ao vírus da gripe A	Pigmentos curcuminóides isolados (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina)	Dao et al. (2012)
Auxilia na cicatrização de feridas	Composto isolado (Curcumina)	Gopinath et al. (2004)

A maioria dos trabalhos descritos na literatura atribui esses efeitos aos pigmentos curcuminóides, especialmente a curcumina. Na Figura 4, pode-se observar algumas propriedades funcionais da curcumina.

Figura 4 – Propriedades funcionais da curcumina.

Fonte – Aggarwal et al. (2005).

Uma das razões para explorar o uso da curcumina na prevenção de doenças é que esta substância ativa é capaz de influenciar em uma variedade de compostos celulares (GOEL; AGGARWAL, 2011), além de ser segura, em doses elevadas, aproximadamente 12 g/dia para seres humanos (ANAND et al., 2007).

Por outro lado, alguns estudos relatam as propriedades funcionais aos outros pigmentos curcuminóides (desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina) além da curcumina.

A bisdesmetoxicurcumina mostrou-se ser mais ativa que a desmetoxicurcumina e a curcumina contra o crescimento de células de câncer de ovário (SYU et al., 1998).

Com relação às células responsáveis pelo câncer de mama, a desmetoxicurcumina mostrou-se mais eficaz na inibição da proliferação dessas células que a bisdesmetoxicurcumina e a curcumina (SIMON et al., 1998).

Kalpana et al. (2007) demonstrou que a bisdesmetoxicurcumina pode ser mais eficaz, que a desmetoxicurcumina e a curcumina, na redução da nicotina produzida pelo estresse oxidativo.

A bisdesmetoxicurcumina pode atuar como inibidor da enzima α -amilase pancreática em humanos, atuando como uma droga terapêutica em pessoas com diabetes tipo 2 (PONNUSAMY et al., 2012).

3.2.2.1 Atividade Antioxidante

Durante o processo de oxidação lipídica, radicais alquila e peróxido podem ser formados. Esses radicais são espécies químicas reativas e produzem hidroperóxidos (ROOH) responsáveis pelas alterações nutricionais e organolépticas dos alimentos (BONDET; BRAND-WILLIAMS; BERSET, 1997). A utilização de antioxidantes pode prevenir ou inibir a ação danosa desses radicais (PARK, LIM, HWANG; 2012).

Os antioxidantes atuam doando um átomo de hidrogênio para os radicais, o que interrompe a reação de oxidação (BONDET; BRAND-WILLIAMS; BERSET, 1997). Os compostos fenólicos apresentam uma estrutura estável e são ótimos antioxidantes (BONDET; BRAND-WILLIAMS; BERSET, 1997; SHANG et al., 2010).

Os pigmentos curcuminóides (curcumina, bisdesmetoxicurcumina e desmetoxicurcumina) podem apresentar capacidade antioxidante maior ou igual a alguns compostos sintéticos (CHATTERJEE; PADWAL-DESAI; THOMAS, 1999; AK; GÜLÇİN, 2008).

Chatterjee, Padwal-Desai e Thomas (1999) verificaram que a curcumina isolada apresentou atividade antioxidante equivalente ao BHA e BHT e, atividade antioxidante maior em relação ao α -tocoferol. Neste mesmo estudo, a bisdesmetoxicurcumina isolada apresentou capacidade antioxidante maior que o α -tocoferol, porém, menor atividade antioxidante que o BHA, o BHT e a curcumina.

De maneira similar, Ak e Gülçin (2008) verificaram que a curcumina isolada apresentou maior capacidade antioxidante em relação aos antioxidantes sintéticos, tais como, trolox, BHT, BHA e α -tocoferol.

Adição de rizoma de cúrcuma em pó ou extrato de cúrcuma pode ser uma opção na sua utilização como conservante, para evitar a oxidação de alguns alimentos substituindo os antioxidantes sintéticos (NANDITHA; JENA; PRABHASANKAR, 2009). Nanditha, Jena e Prabhasankar (2009) desenvolveram biscoitos com adição de extrato de cúrcuma e verificaram que esse extrato apresentou potencial para substituir antioxidantes sintéticos (BHA e TBHQ) na preparação do produto.

Rizoma de cúrcuma em pó, nas concentrações de 0, 2, 4, 6 e 8 %, foi utilizado para substituir a farinha de trigo na produção de pães e verificou-se o aumento na atividade antioxidante do produto, em função do aumento da concentração de teor de curcumina encontrada nos pães (PARK, LIM, HWANG; 2012).

3.2.2.2 Atividade Antimicrobiana

A atividade antimicrobiana das plantas tem relação com a variedade de metabólitos secundários presentes, tais como taninos, terpenóides, flavonóides, fenóis, entre outros (ALY; GUMGUMJEE, 2011). Esses compostos ativos podem atuar rompendo as membranas microbianas (ALY; GUMGUMJEE, 2011). A atividade antimicrobiana da cúrcuma tem sido estudada devido à quantidade de compostos fenólicos presentes no extrato e no óleo da planta.

Extrato etanólico de cúrcuma e óleo de cúrcuma foram eficazes na inibição de *Bacillus subtilis*, *Bacillus macerans*, *Bacillus licheniformis* e *Azotobacter*, entretanto, o extrato e o óleo foram mais eficazes contra a bactéria *Bacillus subtilis* (NAZ et al., 2010).

Um estudo *in vitro*, realizado por Dansai e Krusong (2010), mostrou que extratos etanólicos de cúrcuma, vinagre e a mistura dos dois foram eficazes na redução de *Salmonella Typhimurium*. Esses autores verificaram que após 30 min de contato do microrganismo com o extrato etanólico de cúrcuma (0,016 mg de curcumina/mL), houve 100 % de redução de *Salmonella Typhimurium*. Por outro lado, a mistura do extrato etanólico de cúrcuma (0,05 mg de curcumina/mL) com o vinagre (1,7 % v/v) apresentou 100 % de inibição para o mesmo microrganismo, em um menor tempo (10 min).

Aly e Gumgumjee (2011) verificaram que o extrato metanólico de *Curcuma longa* L. apresentou inibição contra as bactérias *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella dysenteriae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus roseus* e contra os fungos *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Cryptococcus neoformans*, *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporium*, *Aspergillus niger*.

De maneira similar, o extrato metanólico e etanólico da folha e dos rizomas de *Curcuma longa* L. foram eficazes na inibição das bactérias *Serratia marcescens*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes* e *Staphylococcus*

aureus e dos fungos *Candida albicans* e *Aspergillus niger*. Contudo, os rizomas apresentaram maior atividade antimicrobiana em relação às folhas e os extratos etanólicos foram mais eficazes que os extratos metanólicos (ARUTSELVI et al., 2012)

Singh e Jain (2012) estudaram a atividade antimicrobiana dos pigmentos curcuminóides isolados, contra as bactérias *B. subtilis*, *K. pneumonia*, *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus* e *P. Mirabilis*, sendo verificado que todos os compostos apresentaram atividade antimicrobiana para os microrganismos testados; porém, dentre os compostos, a curcumina apresentou melhor capacidade antimicrobiana.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Rizomas de *Curcuma Longa* L. em pó adquiridos da Oficina de Ervas (Ribeirão Preto, Brasil), álcool etílico absoluto (Synth), gelatina do tipo A comercial (Bloom = 260, Mesh = 40) adquirida da empresa GELITA do Brasil Ltda. (São Paulo, Brasil), sorbitol (Cromoline Química Fina Ltda., São Paulo, Brasil). A macadâmia, previamente torrada e salgada, foi doada pela Fazenda Citra (São Paulo, Brasil).

Para análise de teor de curcuminóides utilizou-se curcumina de grau analítico (Merck, Darmstadt, Alemanha). Para as análises de atividade antioxidante utilizou-se os reagentes DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazina, Sigma Aldrich, EUA), ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), Sigma Aldrich, EUA), Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico, Sigma Aldrich, EUA), persulfato de potássio (Synth). Para a análise antimicrobiana utilizou-se peptona bacteriológica (Becton Dickinson, EUA), caldo nutriente líquido (BHI, Becton Dickinson, EUA) e ágar nutriente (Acumedia, Michigan, EUA). Para as análises de substâncias reativas com o ácido tiobarbitúrico (TBARS) utilizou-se ácido 2-tiobarbitúrico (TBA, Merck, Darmstadt, Alemanha), ácido tricloroacético (TCA, Sigma Aldrich, EUA), butilhidroxitolueno (BHT, Synth), 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP, Sigma Aldrich, EUA).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RIZOMAS DE *Curcuma Longa* L. EM PÓ

A granulometria dos rizomas de cúrcuma em pó foi padronizada em peneiras de 48 mesh, em seguida, a matéria prima foi acondicionada na ausência de luz a temperatura ambiente.

4.2.1 Conteúdo de água

O conteúdo de água do rizoma em pó foi determinado segundo o método AOAC (2005), em triplicata. Amostra (2 g) do rizoma foi pesada em um pesa filtro e mantida em estufa (Fanen, 515, São Paulo, Brasil) à 100 °C até peso constante. O conteúdo de água foi determinado de acordo com a eq. (1).

$$CA = \left(\frac{m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}}{m_{\text{inicial}}} \right) 100 \quad (1)$$

Onde: CA = conteúdo de água (g de H₂O/100 g de rizoma); m_{inicial} = massa inicial da amostra (g); m_{final} = massa final da amostra após secagem (g).

4.2.2 Atividade de água

A atividade da água (a_w) do rizoma em pó foi determinada utilizando-se um Aqualab (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA). Para a calibração do aparelho utilizou-se água destilada e obteve-se uma a_w = 1,00 ± 0,03. A análise foi realizada em triplicata.

4.2.3 Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) foram determinados segundo Kim et al. (2006) com modificações, utilizando-se colorímetro HunterLab (Miniscan XE plus, Reston, EUA). Amostra do rizoma em pó (20 g) foi colocada em cubeta de quartzo para determinação dos parâmetros e as análises foram realizadas em triplicata. Para calibração do equipamento foi utilizado como padrões uma placa preta e uma branca.

4.3 PRODUÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DA CÚRCUMA

Visando otimizar o teor de curcumina no extrato etanólico de cúrcuma (EEC) foram estudadas diferentes condições de extração avaliando os seguintes parâmetros: relação rizoma:solvente (1:10 e 1:30 em m/v), a concentração do solvente (etanol 70,0 e 99,9 %) e o tempo de extração (1 e 4 h). O rizoma foi disperso no solvente e a dispersão foi mantida sob agitação mecânica (Fisaton, 713, São Paulo, Brasil) de 100 rpm à 40 °C e ausência de luz. Na Tabela 5 podem-se observar as condições de extração e os tratamentos avaliados.

Tabela 5 – Tratamentos avaliados para a obtenção do extrato etanólico de cúrcuma.

Tratamento (T)	Relação rizoma:solvente (m/v)	Etanol (%)	Tempo (h)
T1	1:10	70,0	1
T2	1:10	70,0	4
T3	1:10	99,9	1
T4	1:10	99,9	4
T5	1:30	70,0	1
T6	1:30	70,0	4
T7	1:30	99,9	1
T8	1:30	99,9	4

Após a extração, o EEC foi mantido sob refrigeração e na ausência de luz por 24 h e, posteriormente, filtrado com papel filtro (whatmam nº 1). Os extratos foram armazenados sob refrigeração (geladeira) e então foram caracterizados quando ao teor de curcumina, rendimento de sólidos solúveis e cor.

4.3.1 Caracterização do extrato

4.3.1.1 Teor e rendimento de curcumina

O teor de curcumina (TC) dos extratos foi determinado utilizando-se o método espectrofotométrico proposto por Kumar et al. (2010). Para construção da curva padrão foi utilizada a curcumina (pureza de 98%), diluída em etanol, nas concentrações de 1,6; 2,4; 3,2; 4,0; 4,8 e 5,6 $\mu\text{g.mL}^{-1}$. A análise foi realizada utilizando um espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, São Paulo, Brasil) no comprimento de onda de 427 nm. Cada amostra do extrato foi solubilizada em etanol e diluída adequadamente para a leitura das amostras no

espectrofotômetro. Os experimentos foram realizados em triplicata. Os valores de TC foram expressos em mg de curcumina/mL de extrato.

O rendimento de curcumina foi determinado em porcentagem de curcumina por 100 g de rizoma de cúrcuma em pó.

4.3.1.2 Rendimento de sólidos solúveis

O rendimento de sólidos solúveis (RSS) dos extratos foi determinado gravimetricamente segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985), em triplicata. Amostras (10 mL) do extrato etanólico de cúrcuma foram colocadas em pesa filtros e, posteriormente levadas à estufa (Fanem, 515, São Paulo, Brasil) à 105 °C por 2 h e 30 min. O RSS foi determinado de acordo com a eq. (2).

$$RSS = \left(\frac{m_{final}}{v_{amostra}} \right) 100 \quad (2)$$

Onde: RSS = rendimento dos sólidos solúveis (g sólidos solúveis/100 mL extrato); m_{final} = massa da amostra após secagem (g); $v_{amostra}$ = volume inicial do extrato (mL).

4.3.1.3 Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) foram determinados segundo Kim et al. (2006) com modificações, utilizando-se um colorímetro HunterLab (Miniscan XE plus, Reston, EUA). O

extrato etanólico de cúrcuma (50 mL) foi colocado na cubeta de quartzo e a leitura foi realizada. A calibração do equipamento foi realizada utilizando placas preta e branca como padrão. As análises foram realizadas em triplicata.

4.4 PRODUÇÃO DO FILME

Os filmes foram produzidos pela técnica de *casting*. Para todas as formulações estudadas as concentrações de gelatina e sorbitol foram mantidas constantes, em 2 g de gelatina/100 g de solução filmogênica e em 30 g/100 g de gelatina, respectivamente.

Na Figura 5 pode-se verificar o fluxograma de produção dos filmes. Inicialmente hidratou-se a gelatina em água destilada (temperatura ambiente, 30 min), em seguida a mesma foi solubilizada à 55 °C (10 min) utilizando-se um banho termostático (Marconi, MA 159, São Paulo, Brasil). Posteriormente, o sorbitol, previamente solubilizado em água, foi adicionado à solução sob agitação magnética. Após esse período a solução foi novamente mantida à 55 °C (10 min). Após esta etapa o EEC foi incorporado à solução filmogênica nas concentrações de 0, 5, 50, 100, 150 e 200g/100 g de gelatina, a solução foi agitada magneticamente (2 min) e, por fim, colocada em banho ultrassônico (Unique, Ultra Cleaner 1400 A, São Paulo, Brasil) por 2 min. A solução filmogênica foi dispersa em placas de acrílico (12 x 12 cm) e submetidas à secagem por 24 h a 30 °C em estufa com circulação de ar (Marconi, MA 037, São Paulo, Brasil). A espessura dos filmes foi mantida constante controlando-se a relação de massa de solução filmogênica/área da placa.

Figura 5 – Fluxograma para a produção dos filmes.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Anteriormente às análises (espessura, propriedades mecânicas, conteúdo de água, matéria solúvel, permeabilidade ao vapor de água, parâmetros de cor, opacidade, brilho, barreira UV/Vis, transparência, teor de curcumina, atividade antioxidante e atividade

antimicrobiana) os filmes foram acondicionados em dessecadores contendo solução salina saturada de NaBr (umidade relativa de 58 %) à temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, por um período de 5 dias. As caracterizações foram realizadas em sala climatizada na temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ e umidade relativa de 50 a 65 %.

Para as análises de microestrutura e espectroscopia de infravermelho com transformada Fourier (FTIR), os filmes foram acondicionados em dessecadores contendo sílica gel durante 10 dias.

4.5.1 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada utilizando-se um micrômetro digital Mitutoyo (Coolant Proof Micrometer, IP-65, Kawasaki, Japão), com precisão de 0,001 mm, através da média aritmética de 10 medidas aleatórias da superfície do filme.

4.5.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes, tensão na ruptura (TR), alongação na ruptura (E) e módulo elástico (ME), foram determinadas através de teste de tração utilizando-se um texturômetro TA.XT plus (*Stable Micro Systems*) segundo método ASTM D882-10 (ASTM, 2010a). Amostras (120 x 25,4 mm) foram fixadas em sonda específica (*tensile grips*), a distância de separação foi fixada em 100 mm e a velocidade do teste em 50 mm/s. A TR e a E, foram obtidas diretamente das curvas de tensão *versus* alongação. O ME corresponde ao

coeficiente angular da parte linear da curva de tensão *versus* alongação. Os testes foram realizados em triplicata.

4.5.3 Conteúdo de água

O conteúdo de água dos filmes foi determinado conforme metodologia descrita por Gontard et al. (1994), em triplicata. Amostras dos filmes (diâmetro = 2 cm) foram pesadas em pesa filtros e submetidas à secagem (105 °C) por 24 h. O conteúdo de água foi calculado de acordo com a eq. (3).

$$CA = \left(\frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \right) 100 \quad (3)$$

Onde: CA = conteúdo de água (g de H₂O/100 g de amostra); m_{inicial} = massa inicial da amostra (g); m_{final} = massa final da amostra após secagem (g).

4.5.4 Matéria solúvel

A matéria solúvel dos filmes foi determinada segundo Gontard et al. (1994). Amostras do filme (diâmetro = 2 cm) foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidas sob agitação mecânica utilizando-se uma câmara incubadora com agitação orbital (Marconi, MA 420, São Paulo, Brasil) por 24 h, à 25 °C e 68 rpm. Após esse período as amostras foram secas

em estufa (Fanem, 515, São Paulo, Brasil) à 105 °C por 24 h. A matéria solúvel foi determinada de acordo com a eq. (4). A análise foi realizada em triplicata.

$$MS = \left(\frac{ms_{inicial} - ms_{final}}{ms_{inicial}} \right) 100 \quad (4)$$

Onde: MS = matéria solúvel em água (g/100 g de filme); $ms_{inicial}$ = massa seca inicial da amostra (g); ms_{final} = massa seca final da amostra (g) após incubação em água destilada.

4.5.5 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada de acordo com o método proposto pela ASTM-E96/E96M (ASTM, 2010b), com modificações. As amostras cortadas em círculos (diâmetro = 5,3 cm) foram fixadas em células de alumínio contendo 50 g de sílica gel através de um anel perfurado (Figura 6).

Figura 6 – Célula utilizada para análise de permeabilidade ao vapor de água.

O sistema (célula+filme) foi colocado em dessecadores contendo água destilada e mantidos em uma estufa BOD (Marconi, MA 415, São Paulo, Brasil) à 25 °C ($\pm 0,2$ °C). O ganho de massa do sistema foi determinado durante o período de 5 dias no intervalo de 12 h. A PVA foi calculada utilizando-se a eq. (5). A análise foi realizada em triplicata.

$$PVA = \frac{G x}{t A_e P_0 (R_1 - R_2)} \quad (5)$$

Onde: PVA = permeabilidade ao vapor de água (g mm/cm² h kPa); x = espessura dos filmes (mm); A_e = área exposta (32,15 cm²); P₀ = pressão de vapor de água na temperatura de 25 °C (3159 kPa); (R₁ – R₂) = diferença de umidade relativa (100); G/t (g/h) = coeficiente angular da regressão linear de reta de ganho de massa do sistema *versus* tempo.

4.5.6 Parâmetros de cor e opacidade

Os parâmetros de cor (L*, a* e b*) dos filmes foram determinados de acordo com Gennadios et al. (1996) utilizando-se um colorímetro (HunterLab, Miniscan XE plus, Reston, EUA) controlado pelo programa *Universal Software*. Para a determinação do L*, a* e b* os filmes foram sobrepostos sobre uma placa branca. A calibração do equipamento foi realizada utilizando placas preta e branca como padrão (L* = 93,9; a* = -0,8 e b* = 1,2).

A opacidade foi determinada de acordo com Sobral (2000) utilizando-se o mesmo aparelho e o mesmo software da determinação dos parâmetros de cor. Para o cálculo da opacidade os filmes foram sobrepostos sobre uma placa branca e sobre uma a placa preta. A opacidade foi calculada de acordo com a eq. (6). Os resultados de cor e de opacidade foram obtidos em triplicata a partir de 10 medidas aleatória das amostras.

$$OPACIDADE \ (%) = \frac{Y_p}{Y_b} \quad (6)$$

Onde: Y_p = opacidade da amostra colocada sobre o padrão preto; Y_b = opacidade da amostra colocada sobre o padrão branco.

4.5.7 Brilho

O brilho dos filmes foi determinado conforme metodologia descrita por Villalobos et al. (2005) utilizando um glossímetro (Rhpoint, Novo-Gloss 20/60°), nos ângulos de 20° e 60°. O brilho foi obtido em triplicata a partir de 10 medidas aleatória da superfície do filme.

4.5.8 Microestrutura

A microestrutura (superficial e interna) dos filmes foi analisada utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura LEO 440i (*Electron Microscopy*, Cambridge, Inglaterra) a 20 kV, de acordo com Carvalho e Grosso (2004) utilizando-se o software *Leo UIF*. Para a análise da microestrutura interna, os filmes foram fraturados com nitrogênio líquido.

4.5.9 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

As análises de espectroscopia de infravermelho com transformada Fourier (FTIR) foram realizadas de acordo com Vicentini et al. (2003) utilizando-se um espectrofotômetro

Spectrum One (Perkin Elmer). Os espectros foram obtidos na faixa espectral de 400 a 4000 cm^{-1} com resolução de 2 cm^{-1} , com sobreposição de 16 varreduras. Os dados foram analisados utilizando-se o programa FTIR *Spectrum Software* (Perkin Elmer).

4.5.10 Barreira UV/Vis e transparência

A propriedade de barreira na região do UV/Vis foi determinada de acordo com Fang et al. (2002) utilizando-se um espectrofotômetro UV/Vis Biochrom (Libra S22, Cambridge, Inglaterra). Amostras dos filmes (10 cm de comprimento e 1,5 cm de largura) foram fixadas no lugar da cubeta, de modo que o feixe de luz passasse pela superfície dos filmes. Foram realizadas medidas da transmitância nos comprimentos de onda entre 200 e 800 nm.

A transparência dos filmes foi calculada pela eq. (7) segundo Han e Floros (1997).

$$TRANSPARÊNCIA (\%) = \frac{ABS_{600}}{x} \quad (7)$$

Onde: ABS_{600} = absorvância do filme em 600 nm; x = espessura do filme (mm).

4.5.11 Teor de curcumina

O teor curcumina (TC) dos filmes foi determinado de acordo com Kumar et al. (2010) conforme com o apresentado no item 4.3.1.1, em triplicata. A análise foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, São Paulo, Brasil) no comprimento de onda de 427 nm. Amostras dos filmes (21, 9, 6, 4 e 3 mg de filme para as concentrações de 5, 50, 100,

150 e 200 g EEC/ 100 g de gelatina, respectivamente) foram solubilizadas em 25 mL de água destilada para a leitura no espectrofotômetro. O TC foi expresso em μg de curcumina/g de filme seco.

4.5.12 Atividade antioxidante

Inicialmente os filmes foram solubilizados (25 mg para 3 mL de água destilada) à 55 °C, utilizando-se um banho termostático (Marconi, MA-420, São Paulo, Brasil). A partir desta solução a atividade antioxidante foi determinada de acordo com o método de sequestro do radical DPPH• e do radical ABTS•+.

4.5.12.1 Determinação da capacidade antioxidante pelo método de sequestro do radical livre DPPH•

A capacidade antioxidante dos filmes pelo método do radical DPPH• foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com modificações. Inicialmente, 1,25 mg de DPPH• foi diluído em 50 mL de etanol e absorvância foi determinada a 517 nm em um espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, São Paulo, Brasil). Em seguida, 0,5 mL do filme solubilizado foram adicionados a 2,5 mL da solução de DPPH• e, a solução foi mantida na ausência de luz por um período de 3 h (tempo em que a absorvância em 517 nm da solução estabilizou-se). Após esse período, determinou-se a absorvância a 517 nm. A capacidade antioxidante dos filmes foi determinada pela

porcentagem de sequestro do radical DPPH• e calculada de acordo com a eq. (8). As análises foram realizadas em triplicata.

$$CA = \left(\frac{ABS_{DPPH} - ABS_{amostra}}{ABS_{DPPH}} \right) 100 \quad (8)$$

Onde: CA = capacidade antioxidante (% de sequestro do radical DPPH•); ABS_{DPPH} = absorbância da solução de DPPH•; $ABS_{amostra}$ = absorbância da amostra.

4.5.12.2 Determinação da capacidade antioxidante pelo método do sequestro do radical livre ABTS •+

A capacidade antioxidante dos filmes pelo método do radical ABTS•+ foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Re et al. (1999), com modificações. Inicialmente, preparou-se uma solução com 7 mM de ABTS e 2,45 mM de persulfato de potássio (1:0,5) diluída em água destilada. A solução foi mantida na ausência de luz durante 16 h. Uma alíquota desta solução foi diluída em etanol, a fim de preparar a solução de trabalho do radical ABTS•+, até obter uma absorbância de $0,70 \pm 0,03$, utilizando um espectrofotômetro Biospectro (SP-22, São Paulo) no comprimento de onda de 734 nm. Em seguida, 60 µL do filme solubilizado foram adicionados a 2940 µL da solução de trabalho do radical ABTS•+. A mistura foi incubada à 37 °C (10 min) na ausência de luz e, posteriormente, centrifugada (5 min, 3000 rpm). Após esse período, determinou-se a absorbância a 734 nm. A capacidade antioxidante dos filmes foi determinada pela porcentagem de sequestro do radical ABTS•+,

de acordo com Gutiérrez et al. (2012), utilizando-se a eq. (9). As análises foram realizadas em triplicata.

$$CA = \left(\frac{ABS_{ABTS} - ABS_{amostra}}{ABS_{ABTS}} \right) 100 \quad (9)$$

Onde: CA = capacidade antioxidante (% de sequestro do radical ABTS•+); ABS_{ABTS} = absorbância da solução de ABTS•+; $ABS_{amostra}$ = absorbância da amostra.

4.5.13 Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana dos filmes foi determinada pela técnica de disco-difusão segundo o *National Committee for Clinical Laboratory Standards* (NCCLS, 2003) utilizando a bactéria *Staphylococcus aureus* isolada de tanque de expansão e gentilmente doada pelo Laboratório de Microbiologia e Micotoxicologia de Alimentos (FZEA/USP). O inóculo foi reativado em caldo nutriente líquido (BHI) por 24 h a 37 °C e, em seguida, cultivado em ágar nutriente. Uma suspensão do microrganismo (0,1 mL) foi espalhada sob ágar nutriente (concentração de 1×10^7 UFC/mL), em seguida, amostras dos filmes (diâmetro = 2,0 cm) foram colocadas nas placas inoculadas. As placas foram incubadas à 37 °C por 24 h utilizando uma incubadora BOD (Marconi, MA 413, São Paulo, Brasil) e o diâmetro de inibição (em milímetros) foi determinado. Amoxicilina foi utilizada como controle positivo e como controle negativo utilizou-se o filme controle (sem adição de EEC). A análise foi realizada em duplicata.

4.6 PROPRIEDADES DA NOZ MACADÂMIA EMBALADA COM FILMES À BASE DE GELATINA

Os filmes foram produzidos e transformado em saches de 121 cm² utilizando-se uma solda térmica (Seladora R. Baião, BSG 320, Ubá, MG). A noz macadâmia (50 g) foi acondicionada nestes sachês e, os mesmos foram termosoldados. O produto embalado foi armazenado a 25 °C, umidade relativa entre 50 – 60 % e com iluminação artificial de 155,0 ± 28,5 lux. Durante um período de 60 dias as amostras de noz macadâmia foram retiradas, em intervalos de 10 dias, para caracterização em relação ao conteúdo de água, atividade de água, dureza, parâmetros de cor e substâncias reativas com o ácido tiobarbitúrico (TBARS).

4.6.1 Caracterização da noz macadâmia

4.6.1.1 Conteúdo de água

O conteúdo de água da noz macadâmia foi determinado pelo método gravimétrico de acordo com a AOAC (2005) a 100 °C, em triplicata. O resultado foi expresso em g de H₂O/100 g de amostra.

4.6.1.2 Atividade de água

A atividade da água (a_w) da noz macadâmia foi realizada conforme metodologia descrita por Borompichaichartkul et al. (2009) utilizando-se um Aqualab (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA), em triplicata. Para a calibração do aparelho utilizou-se água destilada.

4.6.1.3 Dureza

A determinação da dureza da noz de macadâmia foi realizada utilizando-se um texturômetro TA.XT2i (*Stable Micro Systems*). As nozes foram comprimidas em 65 % da altura inicial (35 % da sua deformação) entre duas placas de metal de acordo com a metodologia proposta por Borges e Peleg (1997). A dureza da noz foi considerada como a força máxima obtida da curva força *versus* tempo. A análise foi realizada em triplicata (total de 45 medidas).

4.6.1.4 Parâmetros de cor

A análise de cor da noz macadâmia foi determinada conforme metodologia descrita por Borompichaichartkul et al. (2009) utilizando-se um colorímetro HunterLab (Miniscan XE plus). Foram determinados os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* das superfícies externas (superior e inferior), como pode-se observar na Figura 7, e da superfície interna da noz macadâmia. Para a determinação da cor da superfície interna, a noz foi cortada ao meio. A análise foi realizada em triplicata (total de 45 medidas).

Figura 7 – Parte externa superior e inferior da noz macadâmia para a determinação dos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*).

4.6.1.5 Substâncias reativas com ácido tiobarbitúrico (TBARS)

O valor de TBARS da noz macadâmia foi determinado conforme metodologia proposta por Botsoglou et al. (1994), em triplicata. Amostra da noz (2 g) foi adicionada a 16 mL de uma solução com ácido tricloroacético (TCA) à 5 % e BTH diluído em etanol (1g/100 mL) (625 μ L da solução de BHT para 100 mL da solução de TCA). A mistura foi homogeneizada em ultraturax (IKA, T25, Alemanha) por 15 segundos a 20.000 rpm e, posteriormente, centrifugada com papel filtro (whatmam nº 1). Foi adicionado 2 mL de uma solução 0,8 % de TBA ao sobrenadante (2 mL), em seguida, as amostras foram mantidas em banho termostático (Marconi, MA 159, São Paulo, Brasil) à 70 °C por 30 min. Após este período, a reação foi interrompida com a imersão das amostras em banho de gelo e, a absorbância foi determinada utilizando-se um espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, São Paulo, Brasil) no comprimento de onda de 532 nm.

Para a construção da curva padrão foi utilizado o 1,3,3-tetrametoxipropano (TEP) como padrão e a absorbância foi determinada no comprimento de onda em 532 nm. O resultado do TBARS foi expresso em mg de malonaldeído/kg de amostra e determinado pela equação obtida com a curva padrão.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas, diferença entre as médias, foram realizadas através do teste de Duncan ($p < 0,05$) utilizando-se o programa computacional SAS (SAS, versão 9.2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Os resultados referentes às caracterizações do rizoma de cúrcuma em pó podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Conteúdo de água (CA), atividade de água (a_w), luminosidade (L^*), croma a^* (a^*) e croma b^* (b^*) dos rizomas de cúrcuma em pó.

Análise	Rizomas de cúrcuma em pó
CA (g de H ₂ O/100 g de rizoma)	15,4 ± 0,1
a_w	0,6 ± 0,0
L^*	44,9 ± 0,8
Croma a^*	20,6 ± 0,1
Croma b^*	55,1 ± 0,0

O valor do conteúdo de água do rizoma de cúrcuma em pó (Tabela 6) obtido após a padronização da granulometria foi similar aos valores da literatura. Na literatura foram reportados valores entre 12 g de H₂O g/100 g (CHANG et al., 2006) e 14,8 g de H₂O g/100 g de rizoma (PARK; LIM; HWANG, 2012). O valor do conteúdo de água do rizoma de cúrcuma em pó pode variar dependendo da técnica de secagem e do armazenamento (GOVINDARAJAN, 1980), o que explica as variações observadas para este parâmetro.

Visualmente o rizoma de cúrcuma em pó apresentou uma coloração alaranjada (Figura 8). Observando-se os valores dos parâmetros de cor (Tabela 6) e o sólido de cor (Figura 9) verificou-se que os valores determinados para a Luminosidade (L^*), para o croma a^* (a^*) e para o croma b^* (b^*) apresentam correlação com o observado visualmente.

A coloração observada no rizoma em pó é consequência da presença dos pigmentos curcuminóides que apresentam coloração alaranjada (GOVINDARAJAN, 1980; SILVA-FILHO et al., 2009).

Figura 8 – Rizoma de *Curcuma longa* L. em pó obtido após a padronização da granulometria.

Figura 9 – Sólido de cor do sistema CIELab.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DE CÚRCUMA

Na Figura 10 pode-se observar o efeito das diferentes condições de extração no teor de curcumina dos extratos etanólicos de cúrcuma (EEC).

Figura 10 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no teor de curcumina (TC) do extrato etanólico de cúrcuma: T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Verificou-se que os parâmetros concentração do solvente e o tempo não afetaram significativamente o teor de curcumina no extrato (Figura 10). Por outro lado, observou-se diferença estatisticamente significativa no teor de curcumina em função da relação rizoma:solvente utilizada na extração. O rendimento de curcumina na extração para os tratamentos analisados com diferentes condições de extração podem ser observados na Tabela 7.

Os tratamentos T1, T2, T3 e T4, com a relação rizoma:solvente igual a 1:10 (m/v), apresentaram teor de curcumina médio de $5,6 \pm 0,2$ mg de curcumina/mL de extrato (Figura 10) e rendimento médio de $56 \pm 1,4$ % (Tabela 7). Possivelmente, este resultado está relacionado com a maior concentração do rizoma na solução o que permitiu uma maior extração da curcumina em relação aos tratamentos T5, T6, T7 e T8, que apresentaram teor de curcumina médio de $1,8 \pm 0,1$ mg de curcumina/mL (Figura 10) e rendimento médio de $5,4 \pm 0,4$ % (Tabela 7).

Tabela 7 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no rendimento de curcumina do extrato etanólico de cúrcuma

Tratamento (T)	Rendimento (%)
T1	55,1 ± 1,0 ^a
T2	56,0 ± 2,3 ^a
T3	54,6 ± 4,3 ^a
T4	57,8 ± 1,5 ^a
T5	4,7 ± 0,4 ^b
T6	5,6 ± 0,4 ^b
T7	5,6 ± 0,5 ^b
T8	5,5 ± 0,3 ^b

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2. T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h.

Jang et al. (2007) determinaram o teor de curcumina por HPLC e encontraram valores de 2,03 mg/mL quando a extração foi realizada com acetona, 1,9 mg/mL em extrato metanólico de cúrcuma e quando extraíram com água o teor de curcumina foi de 0,009 mg/mL.

Xia et al. (2007) obtiveram um rendimento de 76 % de curcumina para extrato etanólico de cúrcuma (etanol 95 % e tempo de extração de 48 h).

Texeira (2009) obteve rendimento de 41,8 % de curcumina quando a extração foi realizada utilizando-se micro-ondas e rendimento de 38,6 % para extração realizada por ultrassom, ambos os casos utilizou-se etanol 96 % como solvente.

Assim, pode-se concluir que embora algumas variações tenham sido observadas, o teor de curcumina encontrado para os extratos etanólicos de cúrcuma neste estudo está de acordo com os dados encontrados na literatura.

Em relação ao rendimento de sólidos solúveis (RSS) dos extratos etanólicos de cúrcuma (Figura 11) verificou-se diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos

em função das diferentes condições de extração. De maneira similar ao observado em relação ao teor de curcumina, verificou-se que quanto maior a concentração do rizoma maior o RSS dos extratos.

Entretanto, a concentração de solvente também afetou o RSS, mas, como não foi observada a influência da concentração do solvente no teor de curcumina dos extratos, possivelmente, a utilização do etanol 70 % aumentou a polaridade do sistema possibilitando a extração de outros compostos (KWAPE; CHATURVEDI, 2012), além da curcumina.

Adicionalmente, também observou-se que o tempo de extração afetou a RSS, apenas para a relação 1:10 (rizoma:solvente), possivelmente esse comportamento pode estar associado à extração de outros compostos.

Figura 11 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) no rendimento de sólido solúveis (RSS) do extrato etanólico de cúrcuma: T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Em relação à cor dos extratos etanólicos de cúrcuma (Tabela 8) verificou-se que os parâmetros relação rizoma:solvente e o tempo não afetaram significativamente a cor dos

extratos. Por outro lado, observou-se diferença estatisticamente significativa na cor dos extratos em função do solvente utilizado na extração.

Observando-se os valores dos parâmetros de cor dos extratos etanólicos de cúrcuma (Tabela 8), verificou-se que os extratos obtidos com etanol 70 % apresentaram valores inferiores para a luminosidade e para o croma b^* e, valores superiores para o croma a^* , em relação aos extratos obtidos com etanol 99 %. Considerando o sólido de cores (Figura 9), verificou-se que os extratos apresentaram coloração amarela, porém, a utilização de etanol 70 % resultou em uma coloração amarela mais escura confirmada pelo menor valor de L^* , em relação a extratos obtidos com etanol 99 %.

Tabela 8 – Efeito da relação rizoma:solvente (R:S), do solvente (S) e do tempo (t) na luminosidade (L^*), no croma a^* (a^*) e no croma b^* (b^*) do extrato etanólico de cúrcuma.

Tratamento (T)	L^*	a^*	b^*
T1	$95,4 \pm 0,2^c$	$-2,5 \pm 0,2^b$	$2,6 \pm 0,1^c$
T2	$95,3 \pm 0,1^c$	$-2,0 \pm 0,3^a$	$2,9 \pm 0,5^c$
T3	$99,4 \pm 0,3^b$	$-6,0 \pm 0,3^d$	$9,1 \pm 0,8^b$
T4	$99,4 \pm 0,2^b$	$-5,0 \pm 0,2^c$	$9,2 \pm 0,2^b$
T5	$95,7 \pm 0,3^c$	$-2,2 \pm 0,3^{a,b}$	$3,5 \pm 0,3^c$
T6	$95,5 \pm 0,1^c$	$-2,0 \pm 0,2^{a,b}$	$3,0 \pm 0,5^c$
T7	$100,4 \pm 0,5^a$	$-7,4 \pm 0,3^e$	$11,0 \pm 0,8^a$
T8	$100,2 \pm 0,5^a$	$-8,1 \pm 0,5^f$	$10,2 \pm 0,4^a$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2. T1 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T2 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T3 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T4 - R:S=1:10 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h; T5 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=1 h; T6 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 70 %, t=4 h; T7 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=1 h; T8 - R:S=1:30 (m/v), S=etanol 99,9 %, t=4 h.

Diante dos resultados apresentados, o tratamento 1 (T1) foi o mais viável para dar continuidade a este trabalho, tendo em vista a otimização em relação ao teor de curcumina, além do menor tempo de extração e da utilização de solventes de menor custo.

Na Figura 12, pode-se observar o extrato etanólico de cúrcuma utilizado para produção dos filmes.

Figura 12 – Extrato etanólico de cúrcuma obtido com as condições do tratamento 1 (relação rizoma:solvente = 1:10 (m/v), solvente = etanol 70 % e tempo = 1h).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

5.3.1 Aspecto visual

Os filmes apresentaram ótima aparência, homogeneidade e ausência de partículas insolúveis observadas visualmente.

Avaliando-se o aspecto visual dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC, verificou-se diferenças na coloração amarela dos filmes em função do aumento da concentração de EEC (Figura 13). Esse resultado era esperado em função do aumento dos pigmentos curcuminóides que apresentam cor amarela.

Figura 13 – Filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g de EEC/100 g de gelatina; (c) $C_{EEC} = 50$ g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100 g de gelatina.

5.3.2 Espessura e propriedades mecânicas

A espessura e as propriedades mecânicas (tensão na ruptura, alongação na ruptura e módulo elástico), dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC podem ser observadas na Tabela 9.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa na espessura dos filmes (Tabela 9), esse resultado indica que o controle da espessura em função da relação massa de solução filmogênica/área da placa foi eficiente para todas as formulações estudadas.

Tabela 9 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na espessura, na tensão na ruptura (TR), na alongação na ruptura (E) e no módulo elástico (ME) dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	Espessura (mm)	TR (MPa)	E (%)	ME (MPa)
0	$0,0786 \pm 0,0126^a$	$27,7 \pm 3,1^c$	$22,3 \pm 4,1^c$	$500,5 \pm 36,9^a$
5	$0,0752 \pm 0,0055^a$	$28,8 \pm 1,6^c$	$25,0 \pm 3,3^c$	$448,2 \pm 78,8^{a,b}$
50	$0,0777 \pm 0,0085^a$	$31,0 \pm 1,5^b$	$25,7 \pm 4,0^c$	$472,1 \pm 62,7^{a,b}$
100	$0,0759 \pm 0,0085^a$	$32,9 \pm 3,0^b$	$29,8 \pm 3,2^b$	$472,0 \pm 57,7^{a,b}$
150	$0,0799 \pm 0,0110^a$	$32,9 \pm 1,4^b$	$31,3 \pm 3,0^b$	$449,7 \pm 24,6^{a,b}$
200	$0,0799 \pm 0,0086^a$	$35,1 \pm 2,4^a$	$36,5 \pm 4,2^a$	$440,3 \pm 42,5^b$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Os valores obtidos para a tensão na ruptura (TR) e para a alongação na ruptura (E) apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos analisados. Observou-se um aumento significativo da TR e da E (Tabela 9), dos filmes aditivados em relação ao filme controle, para concentrações acima de 5 g de EEC/100 g de gelatina.

Com relação ao ME (Tabela 9), de um modo geral, verificou-se uma redução significativa em relação ao filme controle, porém, apenas para maior concentração de extrato (200 g de EEC/100 g de gelatina).

Para o filme com a maior concentração de EEC adicionada (200 g de EEC/100 g de gelatina) verificou-se um aumento de 26,7 % para a TR e de 63,7 % para a E em relação ao filme controle. Este comportamento pode estar associado às interações entre os compostos fenólicos presentes no extrato com a matriz polimérica, que pode levar à formação de matrizes mais coesas e flexíveis. Esse comportamento é contrário ao normalmente relatado na literatura, onde normalmente observa-se o aumento da TR e redução da E.

Hoque, Benjakul e Prodpran (2011) para filmes à base de gelatina de pele de chocos (*Sepia pharaonis*) verificaram aumento da TR e redução da E para filmes aditivados com extrato de canela, cravo e estrela de anis e, correlacionaram com possíveis interações entre a matriz polimérica de filmes à base de gelatina com compostos fenólicos presente nos extratos (Figura 14).

Gelatina ($\sim$); plastificante ($\bullet$); compostos fenólicos ($\hexagon$); pontes de H ($\vdots$); interação hidrofóbica ($\equiv$).

Figura 14 – Efeito da adição de extratos de plantas na matriz polimérica de filmes à base de gelatina.

Fonte – Hoque, Benjakul e Prodpran (2011).

Wu et al. (2013), para filmes à base de gelatina de pele de peixe com adição de extrato de chá verde também verificaram aumento da TR, possivelmente associado as interações de grupos hidroxila dos compostos fenólicos com grupos aceptores de hidrogênio da molécula de gelatina através de ligações de hidrogênio.

5.3.3 Conteúdo de água e matéria solúvel

Verificou-se que a incorporação de EEC não afetou significativamente o conteúdo de água dos filmes à base de gelatina em relação ao filme controle (Tabela 10), embora uma pequena redução tenha sido observada em função do aumento da concentração de EEC, possivelmente devido aos compostos hidrofóbicos presentes no extrato.

Tabela 10 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no conteúdo de água (CA) e na matéria solúvel (MS) dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	CA (g de H ₂ O/100 g de filme)	MS (g/100 g de filme)
0	13,0 ± 1,3 ^a	40,0 ± 2,4 ^a
5	12,2 ± 1,6 ^a	38,5 ± 1,9 ^{a,b}
50	12,8 ± 1,2 ^a	38,1 ± 1,5 ^{a,b}
100	12,3 ± 1,2 ^a	37,3 ± 2,0 ^{b,c}
150	12,6 ± 1,4 ^a	35,8 ± 1,9 ^c
200	12,1 ± 1,1 ^a	35,4 ± 2,3 ^c

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Em relação à matéria solúvel dos filmes com incorporação de extrato etanólico de cúrcuma (Tabela 10), verificou-se redução significativa da mesma, quando comparada à do filme controle, para concentrações superiores a 50 g de EEC/100 g de gelatina.

O filme com adição de 200 g de EEC/100 g de gelatina apresentou menor valor para a matéria solúvel em relação aos outros tratamentos e uma redução de 11,5 % em relação ao filme controle. Esses resultados podem estar relacionados com interações da gelatina com compostos fenólicos presente no EEC.

Rattaya, Benjakul e Prodpran (2009) verificaram uma redução da matéria solúvel de filmes à base de gelatina de pele de peixe com adição de extrato de algas marinhas em relação ao filme controle e, relacionaram os resultados observados às interações entre as proteínas e os compostos fenólicos presente no extrato.

De maneira similar, Wu et al. (2013) verificaram que a matéria solúvel diminuiu 13,6 %, com a incorporação de extrato de chá verde em filmes à base de gelatina sugerindo que as interações entre a proteína e os compostos fenólicos foram responsáveis por essa redução.

5.3.4 Permeabilidade ao vapor de água

O efeito da incorporação de diferentes concentrações de EEC na permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes à base de gelatina pode ser observado na Tabela 11.

Verificou-se que o aumento da concentração de EEC provocou redução significativa da permeabilidade ao vapor de água dos filmes aditivados, em relação à permeabilidade do filme controle. Os filmes aditivados com EEC apresentaram uma redução média de $24,1 \pm 4,4$ % da PVA em relação ao filme controle, possivelmente essa redução está relacionada às interações entre os compostos fenólicos presentes no EEC com a molécula de gelatina.

Tabela 11 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na permeabilidade ao vapor de água (PVA) nos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	PVA (10^{-7} g mm/cm ² h kPa)
0	$4,4 \pm 0,5^a$
5	$3,4 \pm 0,6^b$
50	$3,1 \pm 0,3^b$
100	$3,4 \pm 0,4^b$
150	$3,2 \pm 0,6^b$
200	$3,6 \pm 0,2^b$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

De maneira similar, Hoque, Benjakul e Prodpran (2009) verificaram redução na PVA de 16,7, 19,8 e 17,7 % em função da incorporação de extratos de canela, de cravo e de anis, respectivamente, em filmes à base de gelatina de pele de choco (*Sepia pharaonis*) e, associaram esse resultado ao aumento da formação de ligações cruzadas (via ligações de hidrogênio ou interações hidrofóbicas) entre os compostos fenólicos presentes no extrato com a molécula de gelatina, que podem reduzir o volume livre na matriz polimérica, resultando em uma redução da PVA.

Bodini et al. (2012) verificaram que filmes à base de gelatina com adição de extrato etanólico de própolis apresentaram reduzida PVA (28,1 %) em relação ao filme controle, possivelmente, a incorporação de compostos hidrofóbicos presente no extrato alterou as interações entre a água com a matriz polimérica.

Wu et al. (2013) também verificaram uma redução (16,4 %) na PVA de filmes à base de gelatina de pele de peixe com adição de extrato de chá verde, e, relacionaram esta redução com possíveis interações entre os compostos fenólicos com a gelatina.

5.3.5 Parâmetros de cor e opacidade

O efeito do aumento da concentração de EEC nos filmes à base de gelatina nos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e na opacidade pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na luminosidade (L^*), no croma a^* (a^*), no croma b^* (b^*) e na opacidade dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	L^*	a^*	b^*	Opacidade (%)
0	$91,0 \pm 1,1^a$	$-1,1 \pm 0,1^e$	$2,1 \pm 0,3^d$	$0,2 \pm 0,1^d$
5	$88,1 \pm 0,3^b$	$-9,2 \pm 0,4^f$	$45,9 \pm 3,3^c$	$0,7 \pm 0,1^d$
50	$81,2 \pm 0,6^c$	$1,8 \pm 0,2^d$	$113,5 \pm 1,3^b$	$3,4 \pm 0,2^c$
100	$78,8 \pm 1,0^d$	$9,3 \pm 1,0^c$	$115,7 \pm 1,19^{a,b}$	$5,1 \pm 1,0^b$
150	$76,3 \pm 0,9^e$	$14,2 \pm 0,7^b$	$115,8 \pm 1,4^{a,b}$	$5,7 \pm 1,5^b$
200	$75,2 \pm 1,9^e$	$15,4 \pm 1,2^a$	$116,5 \pm 1,1^a$	$7,2 \pm 1,3^a$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

O filme controle apresentou valores de L^* , a^* e b^* similares ao reportado na literatura para filmes à base de gelatina (CARVALHO et al., 2008; SOBRAL; CARVALHO; FÁVARO-TRINTADE, 2011).

Em relação aos filmes aditivados, de modo geral, em função do aumento da concentração de EEC incorporado nos filmes à base de gelatina houve a redução da luminosidade (L^*) e o aumento dos parâmetros croma a^* (a^*) e croma b^* (b^*). Esses resultados já eram esperados considerando o sólido de cores (Figura 9) e corroboram com o observado visualmente (Figura 13). A cor amarela intensa desses filmes é confirmada pelo aumento do parâmetro b^* devido à cor característica dos pigmentos curcuminóides presente no EEC.

Com relação à opacidade (Tabela 12), verificou-se aumento da mesma em função do aumento da concentração de EEC incorporada nos filmes à base de gelatina devido a cor do extrato adicionada.

Resultados semelhantes foram encontrados por Gómez-Estaca et al. (2009b) em relação a opacidade, onde a incorporação de extrato de murta em filmes à base de gelatina provocou aumento na opacidade dos filmes devido a coloração do extrato.

5.3.6 Brilho

Na Tabela 13, encontram-se os valores de brilho (medidas realizadas com o ângulo de 20° e 60°) em função do aumento da concentração de EEC para os filmes à base de gelatina. Tanto para o ângulo de 20° como para o ângulo de 60° pode-se observar que os valores do brilho reduziram com o aumento da concentração de EEC nos filmes à base de gelatina.

O brilho está relacionado à rugosidade da superfície, ou seja, ao grau de polimento da superfície do filme (VILLALOBOS et al., 2005; SILVA et al., 2008), quanto maior a rugosidade do filme, menor o brilho. Dessa forma, a incorporação do EEC provocou o aumento da rugosidade dos filmes em relação ao filme controle. Possivelmente os resultados estão associados à distribuição do extrato na matriz polimérica.

Tabela 13 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no brilho (ângulo de 20° e de 60°) dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	Brilho	
	Ângulo 20°	Ângulo 60°
0	95,0 ± 3,5 ^a	161,7 ± 1,2 ^a
5	82,5 ± 5,0 ^b	156,5 ± 1,8 ^b
50	79,6 ± 5,7 ^b	141,2 ± 3,4 ^c
100	66,2 ± 5,6 ^c	134,9 ± 3,6 ^d
150	65,5 ± 3,9 ^c	133,6 ± 2,5 ^d
200	63,5 ± 5,3 ^c	131,0 ± 1,5 ^e

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Pastor et al. (2013) verificaram redução no valor do brilho dos filmes à base de quitosana e metilcelulose com adição de resveratrol (dissolvido em etanol) em relação ao filme controle e, relacionaram esse resultado, ao aumento da heterogeneidade na superfície dos filmes devido a presença do resveratrol.

Shojaee-Aliabadi et al. (2013) também verificaram que filmes à base de carragena com adição de óleo essencial de seriguela (*Satureja hortensis*) apresentaram redução no valor do brilho em relação ao filme controle e, associaram ao aumento da rugosidade superficial dos filmes aditivados.

5.3.7 Microestrutura

A microestrutura (superficial e interna) dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC pode ser observada nas Figuras 15 e 16.

De um modo geral, para o filme controle (Figura 15a) pode-se observar uma superfície homogênea e lisa. Entretanto, para os filmes aditivados (Figura 15b a 15f) observaram-se

regiões com certa rugosidade, possivelmente, os resultados estão relacionados com a presença do extrato e, corroboram com os resultados obtidos para o valor do brilho (Tabela 13).

Em relação à estrutura interna, verificou-se que o filme controle (Figura 16a) apresentou uma estrutura mais homogênea, por outro lado, os filmes aditivados (Figura 16b a 16f) apresentaram uma estrutura amorfa em função do aumento da concentração de EEC, possivelmente associado à distribuição do EEC nos filmes à base de gelatina.

A incorporação de substâncias ativas pode influenciar na estrutura superficial e interna dos filmes devido a diversos fatores, tais como, tamanho e peso da molécula, as interações com a matriz polimérica, dentre outros. Diante disso, alguns estudos com extratos de diferentes fontes adicionados em filmes à base de gelatina relatam essa influência.

Bodini et al. (2012) verificaram que filmes à base de gelatina apresentaram uma estrutura orientada e compacta. Entretanto, com a adição de extrato etanólico de própolis, os autores verificaram um aumento na porosidade da matriz, provavelmente associada à distribuição do extrato na matriz polimérica.

Filmes à base de gelatina com adição de extrato de algas marinhas apresentaram uma superfície irregular e uma estrutura interna com algumas zonas descontínuas em relação ao filme controle, possivelmente devido à presença do extrato na matriz (RATTAYA; BENJAKUL; PRODPRAN, 2009).

Wu et al. (2013) observaram que a incorporação de extrato de chá verde em filmes à base de gelatina não influenciaram na superfície dos filmes, entretanto, as micrografias internas apresentaram uma estrutura mais compacta em relação ao filme controle, possivelmente, as interações entre os compostos fenólicos presente no extrato com a molécula de gelatina contribuem para a formação de uma estrutura mais compacta.

Figura 15 – Micrografias da superfície (6000x) dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g de EEC/100 g de gelatina; (c) 50 g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100 g de gelatina.

Figura 16 – Micrografias da fratura (6000x) dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}). (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g de EEC/100 g de gelatina; (c) 50 g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100 g de gelatina.

5.3.8 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

Os espectros de infravermelho para os filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC estão apresentados na Figura 17.

Figura 17 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) nos espectros de infravermelho dos filmes à base de gelatina. (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100 g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g EEC/100 g de gelatina; (c) $C_{EEC} = 50$ g EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g EEC/100 g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g EEC/100 g de gelatina.

Os picos observados para os filmes à base de gelatina sem e com adição de extrato (Figura 17) são característicos de filmes de gelatina. Os espectros apresentam bandas de absorção correspondente à amida A (~ 3280 cm^{-1}), amida I (~ 1631 cm^{-1}), amida II (~ 1542 cm^{-1}) e amida III (~ 1236 cm^{-1}) (BERGO; SOBRAL, 2007; HOQUE; BENJAKUL; PRODPAN, 2011; ANDREUCETTI et al., 2012; BODINI et al., 2012; AHMAD et al., 2012b; NÚÑEZ-FLORES et al., 2012).

A amida A representa o estiramento do grupo N—H, a amida I representa o estiramento da ligação C=O e a amida II o estiramento de C—N e a deformação angular da ligação N—H (PRYSTUPA; DONALD, 1994).

A adição de diferentes concentrações de EEC nos filmes de gelatina apresentou alguns deslocamentos nos picos referentes a amida A, amida I e amida II em relação ao filme controle.

A banda em 3281 cm^{-1} (Figura 17) para o filme controle representa a amida A, entretanto, os filmes aditivados apresentaram bandas em torno de 3289 e 3290 cm^{-1} . Além disso, para o filme controle verificou-se a banda em 1631 cm^{-1} (amida I) e, para os filmes aditivados bandas em 1635 cm^{-1} . Para a amida II também observou-se um deslocamento, o filme controle apresentou bandas em 1542 cm^{-1} e os filmes aditivados em 1539 cm^{-1} . Possivelmente, esses deslocamentos das bandas estão associados as interações entre a gelatina e os compostos fenólicos presente no EEC.

Gopinath et al. (2004) avaliaram as interações nos filmes de colágeno aditivado com curcumina (pigmento isolado) e, verificaram que as bandas características das proteínas (amida A, amida I e amida II) também sofreram alguns deslocamentos em relação ao filme controle. Possivelmente, devido as interações entre a curcumina e a matriz polimérica.

5.3.9 Barreira UV/Vis e transparência

Na Figura 18, pode-se observar exemplos dos espectros na região do UV/Vis para filmes à base de gelatina sem e com adição de extrato etanólico de cúrcuma. De um modo geral, na faixa de comprimento avaliado, as transmitâncias obtidas para os filmes aditivados foram inferiores às do filme controle, indicando assim, a propriedade de barreira na região do UV/Vis.

Figura 18 - Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no comprimento de onda de 200 a 800 nm em função da transmitância (T) dos filmes à base de gelatina.

Na Tabela 14, pode-se verificar o efeito da incorporação de diferentes concentrações de EEC em filmes à base de gelatina sobre as propriedades de barreira à radiação na região UV/Vis em função da transmitância.

Tabela 14 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC} = g de EEC/100 g de gelatina) no comprimento de onda de 200 a 800 nm em função da transmitância dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC}	Transmitância (%)							
	Comprimento de onda (nm)							
	200	280	350	400	500	600	700	800
0	0,04±0,01	4,37±1,56	71,60±2,33	76,12±2,04	80,06±1,80	80,99±1,67	81,52±1,80	82,11±1,83
5	0,02±0,02	2,92±0,79	31,92±2,14	26,65±3,34	66,44±1,15	81,76±0,77	82,93±0,74	83,65±0,94
50	0,04±0,01	0,07±0,01	0,16±0,01	0,03±0,00	12,57±0,69	75,84±0,91	80,94±0,94	83,35±1,01
100	0,01±0,01	0,02±0,01	0,02±0,00	0,02±0,01	3,29±0,68	71,11±1,63	77,81±1,50	80,65±1,42
150	0,02±0,01	0,01±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01	1,49±0,94	70,57±1,30	77,94±1,14	80,94±1,19
200	0,01±0,00	0,02±0,01	0,01±0,00	0,02±0,01	0,35±0,21	63,49±5,39	74,13±2,92	78,46±2,15

A redução da transmitância na região do UV/Vis pode ser explicada em função da presença dos compostos fenólicos, os pigmentos curcuminóides, que apresentam ligações

insaturadas, na sua estrutura, responsáveis pela absorção de radiação na região UV/Vis (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

De maneira similar, Gomez-Guillén et al. (2007) verificaram que a incorporação de extrato de murta em filmes à base de gelatina de peixe provocou redução da transmitância em relação ao filme controle na faixa de comprimento de onda entre 200 e 380.

Filmes à base de gelatina com adição de extrato de orégano e de alecrim também apresentaram boa propriedade de barreira a radiação UV apresentando taxa de transmitância de 80-90 % no comprimento de onda de 400 nm. Esses resultados podem ser atribuídos aos compostos fenólicos presentes no extrato responsáveis por absorver radiação na região UV/Vis (GÓMEZ-ESTACA et al., 2009a).

Filmes à base de gelatina aditivados com extrato de chá verde também apresentaram boas propriedades de barreira a radiação UV em comprimentos de onda de 200 a 280 nm (WU et al., 2013).

A transparência dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC, pode ser observado na Tabela 15. Em geral, os filmes à base de gelatina apresentam baixa transparência (GOMEZ-GUILLÉN et al. 2007; GÓMEZ-ESTACA et al., 2009b). Al-Hassan e Norziah (2012) encontraram valor de 1,24 para a transparência de filme à base de gelatina plastificado com sorbitol, resultados semelhantes a este trabalho.

Para os filmes aditivados é claramente observável (Tabela 15) que em função do aumento da concentração de EEC nos filmes à base de gelatina, o valor da transparência aumentou apresentando diferença estatisticamente significativa. Possivelmente, devido à incorporação de pigmentos nos filmes e a coloração amarela resultante (Figura 13).

Tabela 15 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na transparência dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	Transparência (%)
0	$1,2 \pm 0,2^d$
5	$1,2 \pm 0,3^d$
50	$1,8 \pm 0,3^c$
100	$2,1 \pm 0,4^{b,c}$
150	$2,3 \pm 0,4^{a,b}$
200	$2,6 \pm 0,4^a$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Resultado similar foi observado por Gómez-Estaca et al. (2009b) quando foi incorporado extrato de borragem em filmes à base de gelatina de peixe comercial e gelatina de pele de peixe e por Wu et al. (2013) para filmes à base de gelatina de pele de peixe aditivados com extrato de chá verde.

5.3.10 Teor de curcumina

O efeito da incorporação de diferentes concentrações de EEC no teor de curcumina (TC) dos filmes à base de gelatina pode ser observado na Figura 19.

Verificou-se que o TC aumentou linearmente ($y = 0,6104x + 7,1024$, $R_2 = 0,9825$) em função do aumento da concentração de EEC nos filmes. Esse resultado já era previsto, pois o EEC apresenta alto teor de pigmentos curcuminóides.

Os resultados confirmam a presença do composto ativo nos filmes indicando que o processo de produção dos filmes não afetou a estabilidade do mesmo.

Figura 19 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) no teor de curcumina (TC) dos filmes à base de gelatina.

5.3.11 Capacidade antioxidante determinada pelo método de sequestro do radical livre DPPH• e ABTS•+

A atividade antioxidante dos filmes à base de gelatina com adição de diferentes concentrações de EEC pode ser observada na Figura 20a (método do radical DPPH•) e na Figura 20b (método do radical ABTS•+). Para ambos os métodos a capacidade antioxidante aumentou significativamente em função do aumento da concentração de EEC incorporado nos filmes.

Figura 20 - Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na capacidade antioxidante (CA) dos filmes à base de gelatina: (a) pelo método do radical DPPH• e (b) pelo método do radical ABTS•+. Letras minúsculas diferentes, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

Vale ressaltar que o valor encontrado para a porcentagem de sequestro do radical DPPH• foi em torno de 80 %, em relação ao filme com a maior concentração de EEC. Esse mesmo filme também apresentou porcentagem de sequestro do radical ABTS•+ satisfatória, em torno de 60 %.

O filme com a maior concentração de EEC adicionada (200 g de EEC/100 g de gelatina) apresentou maior capacidade antioxidante em relação aos outros tratamentos. O EEC contém curcumina e outros compostos fenólicos, estes, seriam responsáveis pela capacidade antioxidante dos filmes. Esses resultados estão em conformidade com a concentração do composto ativo (curcumina) presente no EEC adicionado nos filmes (Figura 19).

De maneira similar, Siripatrawan e Harte (2010) verificaram que filme à base de quitosana com adição de extrato de chá verde apresentou porcentagem de sequestro do radical DPPH• em torno de 50 % e, relacionaram esse resultado ao teor de compostos fenólicos do filme. Moradi et al. (2012) também verificaram, para filme à base de quitosana aditivado com extrato de semente de uva porcentagem de sequestro do radical DPPH• em torno de 40 % e, Gutiérrez et al. (2013) verificaram que filme à base de carboximetilcelulose e montmorillonita

com adição de extrato de murta apresentou porcentagem de sequestro do radical ABTS•+ em torno de 90 %.

Vale ressaltar que o método do radical DPPH• apresentou maior capacidade antioxidante para os filmes à base de gelatina, aditivados com diferentes concentrações de EEC, em relação ao método do radical ABTS•+. Possivelmente, o radical DPPH• reagiu em maior quantidade com o antioxidante presente no EEC em relação ao radical ABTS•+. Esse resultado pode estar associado ao radical ABTS•+ ser mais eficiente para sistemas lipofílicos e hidrofílicos (RE et al., 1999).

5.3.12 Atividade antimicrobiana

Exemplos das placas utilizadas para avaliação da atividade antioxidante dos filmes à base de gelatina com adição de diferentes concentrações de EEC podem ser observadas na Figura 21 e a placa com o controle positivo (amoxilina) pode ser observado na Figura 22.

Figura 21 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* dos filmes à base de gelatina. (a) $C_{EEC} = 0$ g de EEC/100g de gelatina; (b) $C_{EEC} = 5$ g de EEC/100 g de gelatina; (c) $C_{EEC} = 50$ g de EEC/100 g de gelatina; (d) $C_{EEC} = 100$ g de EEC/100 g de gelatina; (e) $C_{EEC} = 150$ g de EEC/100g de gelatina; (f) $C_{EEC} = 200$ g de EEC/100g de gelatina.

Figura 22 – Placa com o controle positivo (amoxilina).

Verificou-se que o filme sem a adição de extrato (Tabela 16, Figura 21a) não apresentou atividade inibitória contra a bactéria testada, o que indica que a gelatina não apresenta atividade antimicrobiana. Resultados semelhantes já foram reportados por Ahmad et al. (2012b) e Bodini et al. (2012) para filmes à base de gelatina, não sendo observada nenhuma zona de inibição significativa contra *Staphylococcus aureus*.

Tabela 16 – Efeito da incorporação de diferentes concentrações de extrato etanólico de cúrcuma (C_{EEC}) na atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*, representada pelo halo de inibição (incluindo o filme com diâmetro de 20 mm), dos filmes à base de gelatina.

C_{EEC} (g de EEC/100 g de gelatina)	Halo de inibição (mm)
0	0
5	0
50	$22,0 \pm 1,0^b$
100	$23,0 \pm 1,0^b$
150	$24,0 \pm 1,0^{a,b}$
200	$25,0 \pm 2,0^a$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as médias, obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o programa computacional SAS 9.2.

O filme com concentração de 5 g de EEC/100 g (Tabela 16, Figura 21b) não apresentou atividade antimicrobiana devido à baixa concentração de compostos ativos. Por outro lado, para concentrações de EEC superiores a 5 g de EEC/100 g de gelatina foi observada atividade antimicrobiana, sendo que o diâmetro de inibição aumentou em função do aumento da concentração do EEC (Tabela 16). O filme à base de gelatina com concentração de 200 g de EEC/100 g de gelatina (Tabela 16, Figura 21f) apresentou maior diâmetro de inibição contra *Staphylococcus aureus*.

Resultados similares foram encontrados por Chen, Wang e Weng (2010) que verificaram a atividade antimicrobiana de filme à base de gelatina aditivado com extrato liofilizado de aloe vera (*Aloe barbadensis*) contra *Staphylococcus aureus*. A amostra do filme foi avaliada em quadrados (área do filme igual a 1 cm^2) e, a área de inibição foi de $4,32 \text{ cm}^2$.

Bodini et al. (2012) verificaram que filmes à base de gelatina com adição de extrato etanólico de própolis apresentaram atividade antimicrobiana durante 177 dias de armazenamento. Durante este período, o diâmetro de inibição foi de 25,4 a 29,3 mm (incluindo o filme com diâmetro igual a 20 mm) para a concentração de 200 g de extrato etanólico de própolis/100 g de gelatina.

5.4 PROPRIEDADES DA NOZ MACADÂMIA EMBALADA COM FILMES À BASE DE GELATINA

Diante dos resultados obtidos para as propriedades mecânicas, a barreira UV/Vis e a capacidade antioxidante dos filmes à base de gelatina aditivados com diferentes concentrações de EEC, concluiu-se que o filme com adição de 200 g de EEC/100 g de gelatina apresentou melhor flexibilidade, reduzida transmitância de radiação na região UV/Vis e melhor atividade antioxidante, em relação às outras formulações estudadas. Logo, o filme à base de gelatina com adição de 200 g de EEC/100 g de gelatina foi escolhido para os testes de aplicação.

Na Figura 23a, pode-se observar a noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e na Figura 23b, com o filme aditivado (FA).

(a)

(b)

Figura 23 – Noz macadâmia embalada com filmes à base de gelatina: (a) filme controle (sem adição de EEC); (b) filme aditivado (adição de EEC na concentração de 200 g de EEC/100 g de gelatina).

5.4.1 Conteúdo de água e atividade de água

Verificou-se que o conteúdo de água (Tabela 17) aumentou significativamente, tanto para as amostras embaladas com o FC como para as amostras embaladas com o FA, em função do tempo de estocagem.

Por outro lado, em relação ao tipo de filme utilizado, nos primeiros 30 dias de armazenamento, as amostras embaladas com o FA apresentaram reduzido conteúdo de água em relação às amostras embaladas com o FC. Possivelmente, esse resultado está associado à menor permeabilidade ao vapor de água para o FA em relação ao FC.

O valor do conteúdo de água da noz macadâmia foi similar aos valores da literatura. Na literatura foram reportados valores entre 1,91 e 3,53 g de H₂O g/100 g de amostra (BOROMPICHAICHARTKUL et al., 2009).

Tabela 17 – Avaliação do conteúdo de água e da atividade de água da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	Conteúdo de água (g de H ₂ O/100 g de amostra)		Atividade de água	
	FC	FA	FC	FA
0	1,26 ± 0,13 ^{d,A}	1,26 ± 0,13 ^{d,A}	0,411 ± 0,005 ^{c,A}	0,411 ± 0,005 ^{c,d,A}
10	2,22 ± 0,19 ^{c,A}	1,89 ± 0,16 ^{c,B}	0,366 ± 0,008 ^{d,A}	0,388 ± 0,029 ^{d,A}
20	2,32 ± 0,62 ^{c,b,A}	1,89 ± 0,37 ^{c,A}	0,465 ± 0,049 ^{b,A}	0,441 ± 0,004 ^{c,A}
30	2,43 ± 0,05 ^{a,b,c,A}	2,36 ± 0,05 ^{b,B}	0,469 ± 0,008 ^{b,B}	0,485 ± 0,008 ^{b,A}
40	2,76 ± 0,10 ^{a,A}	2,84 ± 0,07 ^{a,A}	0,483 ± 0,010 ^{b,A}	0,514 ± 0,037 ^{b,A}
50	2,63 ± 0,16 ^{a,b,A}	2,72 ± 0,22 ^{a,A}	0,580 ± 0,005 ^{a,A}	0,582 ± 0,018 ^{a,A}
60	2,45 ± 0,21 ^{a,b,c,A}	2,67 ± 0,29 ^{a,A}	0,473 ± 0,005 ^{b,B}	0,513 ± 0,037 ^{b,A}

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

De maneira similar ao observado em relação ao conteúdo de água, a atividade de água da noz macadâmia (Tabela 17) aumentou em função do tempo de estocagem, independente do

filme utilizado. Em relação ao tipo de filme utilizado, de um modo geral, não foram observadas diferenças significativas.

Borompichaichartkul et al. (2009) encontraram valores para a atividade de água da noz macadâmia entre 0,58 e 0,69, valores similares a este trabalho.

5.4.2 Dureza

A dureza da noz macadâmia embalada com o FC e com o FA, pode ser observada na Tabela 18.

Tabela 18 – Avaliação da dureza da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	Dureza (N)	
	FC	FA
0	184,32 ± 16,64 ^{c,A}	184,32 ± 16,64 ^{b,A}
10	213,14 ± 19,52 ^{b,A}	196,59 ± 28,65 ^{a,b,A}
20	221,82 ± 24,52 ^{b,A}	211,39 ± 29,48 ^{a,A}
30	211,39 ± 30,12 ^{b,A}	215,32 ± 20,56 ^{a,A}
40	209,23 ± 31,38 ^{b,A}	212,74 ± 25,08 ^{a,A}
50	224,85 ± 21,58 ^{b,a,A}	219,11 ± 26,10 ^{a,A}
60	221,08 ± 25,68 ^{a,B}	248,22 ± 29,05 ^{a,A}

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

Verificou-se que a dureza da noz macadâmia (Tabela 18) aumentou significativamente durante o tempo de estocagem, tanto para as amostras embaladas com o FC como para as amostras embaladas com o FA.

Por outro lado, verificou-se diferença estatística apenas no tempo de 60 dias para a dureza da noz embalada com o FA em relação às amostras embaladas com o FC. Embora tenha sido observado aumento do conteúdo de água da noz macadâmia, a dureza pode ter sido afetada pela presença do sal na superfície da noz.

5.4.3 Parâmetros de cor

Verificou-se que a luminosidade (L^*) (Tabela 19) reduziu significativamente, tanto para as amostras embaladas com o FC como para as amostras embaladas com o FA, durante o tempo de estocagem. Em relação ao tipo de filme utilizado, de um modo geral, não foram observadas diferenças significativas.

Tabela 19 – Avaliação da luminosidade (L^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	L^*					
	Superior FC	Superior FA	Inferior FC	Inferior FA	Interna FC	Interna FA
0	69,3±1,4 ^{a,A}	69,3±1,4 ^{a,A}	64,9±2,2 ^{a,A}	64,9 ± 2,2 ^{a,A}	68,4±2,6 ^{a,A}	68,4±2,6 ^{a,A}
10	64,2±3,0 ^{c,A}	64,2±4,3 ^{c,A}	61,0±2,1 ^{c,A}	62,2±1,5 ^{b,c,A}	63,9±2,6 ^{b,c,B}	68,4±2,6 ^{a,A}
20	64,6±2,2 ^{c,A}	64,0±2,1 ^{c,A}	61,4±1,9 ^{c,A}	60,4±1,9 ^{d,A}	64,6±2,5 ^{b,c,A}	63,5±2,4 ^{b,c,A}
30	64,1±1,1 ^{c,A}	64,3±1,8 ^{c,A}	61,1±1,8 ^{c,A}	61,0±1,9 ^{c,d,A}	63,3±1,8 ^{b,c,d,A}	62,9±2,0 ^{c,A}
40	67,1±1,6 ^{b,A}	67,5±2,2 ^{b,A}	63,1±2,1 ^{b,A}	63,4±3,0 ^{b,c,A}	65,0±2,6 ^{b,A}	64,9±2,0 ^{b,c,A}
50	63,3±1,7 ^{c,A}	64,2±1,5 ^{c,A}	60,0±1,4 ^{c,A}	60,7±1,8 ^{c,d,A}	62,1±1,8 ^{d,A}	62,6±2,0 ^{c,A}
60	63,3±2,0 ^{c,A}	64,2±1,7 ^{c,A}	60,0±1,9 ^{c,A}	60,8±2,1 ^{c,d,A}	63,1±1,7 ^{c,d,A}	60,8±2,5 ^{d,B}

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC da parte superior, inferior ou interna da noz. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

Em relação coroma a^* (a^*) (Tabela 20), verificou-se que os valores de a^* reduziram significativamente para a noz macadâmia embalada com o FA em função do tempo de estocagem. Por outro lado, para a noz macadâmia embalada com o FC verificou-se um aumento no valor de a^* .

Verificou-se diferença significativa em relação ao tipo de filme utilizado, possivelmente, esse resultado está associado à migração do componente ativo presente no filme aditivado.

Tabela 20 – Avaliação do coroma a^* (a^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	a^*					
	Superior FC	Superior FA	Inferior FC	Inferior FA	Interna FC	Interna FA
0	$-1,6 \pm 0,3^{b,A}$	$-1,6 \pm 0,3^{a,b,A}$	$0,4 \pm 0,2^{c,A}$	$0,4 \pm 0,2^{a,A}$	$-2,2 \pm 0,2^{b,A}$	$-2,2 \pm 0,2^{a,A}$
10	$-1,3 \pm 0,4^{a,A}$	$-2,0 \pm 0,3^{c,B}$	$0,7 \pm 0,3^{b,c,A}$	$-0,5 \pm 0,2^{c,B}$	$-1,9 \pm 0,3^{a,B}$	$-2,3 \pm 0,3^{a,A}$
20	$-1,3 \pm 0,4^{a,b,A}$	$-1,5 \pm 0,2^{a,A}$	$0,8 \pm 0,3^{b,c,A}$	$0,4 \pm 0,1^{a,B}$	$-2,3 \pm 0,4^{b,A}$	$-2,3 \pm 0,3^{a,b,A}$
30	$-1,2 \pm 0,4^{a,A}$	$-1,4 \pm 0,4^{a,A}$	$0,7 \pm 0,4^{b,c,A}$	$0,4 \pm 0,2^{a,A}$	$-2,4 \pm 0,3^{b,A}$	$-2,4 \pm 0,4^{a,b,c,A}$
40	$-1,2 \pm 0,6^{a,A}$	$-1,8 \pm 0,4^{a,b,c,B}$	$1,1 \pm 0,7^{b,a,A}$	$0,4 \pm 0,1^{a,A}$	$-2,4 \pm 0,2^{b,A}$	$-2,5 \pm 0,3^{b,c,A}$
50	$-1,2 \pm 0,4^{a,A}$	$-1,9 \pm 0,3^{b,c,B}$	$1,3 \pm 0,5^{a,A}$	$0,0 \pm 0,2^{b,B}$	$-2,3 \pm 0,3^{b,A}$	$-2,5 \pm 0,3^{b,c,A}$
60	$-1,2 \pm 0,4^{a,A}$	$-1,8 \pm 0,4^{a,b,c,B}$	$1,3 \pm 0,5^{a,A}$	$-0,2 \pm 0,3^{b,B}$	$-2,2 \pm 0,2^{b,A}$	$-2,6 \pm 0,4^{c,B}$

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC da parte superior, inferior ou interna da noz. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

Em relação ao coroma b^* (b^*), na Tabela 21, pode-se observar que os valores de b^* reduziram significativamente tanto para as amostras embaladas com o FC como para as amostras embaladas com o FA, durante o tempo de estocagem.

Em relação ao tipo de filme utilizado, verificou-se que as amostras embaladas com o FA apresentaram valores maiores para o b^* em relação ao FC. Possivelmente, esses resultados

estão relacionados com a migração do composto ativo, presente no FA, em períodos longos de armazenamento.

Tabela 21 – Avaliação do croma b^* (b^*) da parte superior, inferior e interna da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	b^*					
	Superior FC	Superior FA	Inferior FC	Inferior FA	Interna FC	Interna FA
0	16,4±1,4 ^{a,A}	16,4±1,4 ^{a,A}	22,4±2,0 ^{a,A}	22,4±2,0 ^{a,A}	12,9±1,5 ^{a,A}	12,9±1,5 ^{a,A}
10	14,3±0,9 ^{b,c,A}	14,2±1,1 ^{b,A}	20,2±1,9 ^{b,A}	21,2±1,4 ^{a,A}	12,4±1,2 ^{a,b,A}	11,5±0,9 ^{b,B}
20	15,0±1,4 ^{b,A}	15,7±1,4 ^{a,A}	19,9±1,7 ^{b,B}	22,1±1,4 ^{a,A}	12,3±0,9 ^{a,b,A}	13,2±1,2 ^{a,A}
30	14,1±1,3 ^{b,c,B}	16,5±1,4 ^{a,A}	19,8±1,2 ^{b,B}	21,4±1,7 ^{a,A}	12,6±1,0 ^{a,A}	12,9±1,1 ^{a,A}
40	14,2±1,2 ^{b,c,B}	15,8±1,6 ^{a,A}	20,6±1,7 ^{b,A}	21,5±2,3 ^{a,A}	12,0±1,0 ^{a,b,B}	13,1±1,3 ^{a,A}
50	13,3±1,3 ^{c,B}	16,3±1,7 ^{a,A}	20,9±2,1 ^{b,A}	20,9±1,8 ^{a,A}	11,5±0,8 ^{b,A}	12,2±1,0 ^{a,b,A}
60	15,0±1,1 ^{b,A}	15,5±1,9 ^{a,A}	20,2±1,4 ^{b,A}	21,0±1,8 ^{a,A}	11,9±1,1 ^{a,b,A}	12,3±1,3 ^{a,b,A}

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC da parte superior, inferior ou interna da noz. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

5.4.4 Substâncias reativas com ácido tiobarbitúrico (TBARS)

Na Tabela 22, pode-se observar os valores do TBARS da noz macadâmia embalada com o FC e com o FA, em função do tempo de armazenamento.

Verificou-se que para a noz macadâmia embalada com o FC os valores da análise de TBARS aumentaram significativamente em função do tempo de armazenamento. Por outro lado, para as amostras embaladas com o FA verificou-se que não houve diferença significativa durante o período de estocagem.

A noz macadâmia embalada com o FA apresentou valores reduzidos para a análise de TBARS em relação à noz macadâmia embalada com o FC durante todo o período de

estocagem, porém, após 60 dias foi observada diferença significativa. Possivelmente a embalagem aditivada conferiu maior proteção à oxidação lipídica da noz macadâmia em relação ao filme controle.

Tabela 22 – Avaliação do TBARS da noz macadâmia embalada com o filme controle (FC) e com o filme aditivado (FA) em função do tempo de armazenamento.

Tempo (dias)	TBARS (mg de MDA/Kg de noz macadâmia)	
	FC	FA
0	4,10 ± 0,20 ^{b,c,A}	4,10 ± 0,20 ^{a,A}
10	4,49 ± 0,83 ^{a,b,A}	3,98 ± 0,49 ^{a,A}
20	3,78 ± 0,33 ^{c,A}	3,64 ± 0,34 ^{a,A}
30	3,74 ± 0,18 ^{c,A}	3,52 ± 0,09 ^{a,A}
40	4,68 ± 0,48 ^{a,b,A}	4,10 ± 0,49 ^{a,A}
50	4,38 ± 0,77 ^{a,b,A}	4,02 ± 0,82 ^{a,A}
60	4,97 ± 0,53 ^{a,A}	4,16 ± 0,52 ^{a,B}

Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia em função do tempo de armazenamento; letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da noz macadâmia embalada com o FA em relação ao FC. Diferença entre as médias obtidas pelo teste de Duncan, utilizando-se o sistema computacional SAS 9.2.

Trabalho similar foi desenvolvido por Javanmard (2008), onde verificou que amendoins embalados com filmes à base de proteína de soro do leite com adição de azeite de oliva apresentaram redução na peroxidação lipídica em relação aos amendoins embalados com o filme controle.

Entretanto são necessários estudos aprofundados em relação à aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com EEC utilizado para embalar noz macadâmia. Esses resultados sugerem que para trabalhos futuro é necessário avaliar um maior tempo de armazenamento dessas amostras, já que para 60 dias de estocagem verificou-se diferença estatisticamente significativa para as amostras de noz macadâmia embaladas com o FA em relação às amostras embaladas com o FC.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que a incorporação de extrato etanólico de cúrcuma em filmes à base de gelatina atribuiu aos mesmos melhores propriedades mecânicas, redução da matéria solúvel e permeabilidade ao vapor de água, dos filmes em relação ao filme controle, sugerindo interações entre os compostos fenólicos presente no extrato com a gelatina. Os resultados do espectro de infravermelho confirmam a presença dessas interações. Além disso, os filmes aditivados apresentaram reduzida transmitância na região UV/Vis, indicando assim, a propriedade de barreira na região avaliada.

O teor de curcumina aumentou, com o aumento da concentração do extrato, indicando que o composto ativo não foi degradado durante o processo de produção dos filmes. Os filmes apresentaram atividade antioxidante (métodos de sequestro do radical DPPH• e ABTS•+) e, em relação às propriedades antimicrobianas, verificou-se inibição contra *Staphylococcus aureus* para filmes com concentrações superiores a 5 g de EEC/100 g de gelatina.

Durante o período de 60 dias de estocagem da noz macadâmia embalada com filmes à base de gelatina (com e sem adição de extrato), verificou-se aumento no conteúdo de água e na atividade de água em função do tempo de armazenamento. Porém houve diferença entre as amostras embaladas com o filme aditivado e com o filme controle para o conteúdo de água nos primeiros 30 dias de armazenamento. A dureza das amostras aumentou em função do tempo de estocagem e apresentou diferença estatística no tempo de 60 dias entre o tipo de filme utilizado. A noz macadâmia embalada com o filme aditivado apresentou redução nas substâncias reativas com o ácido tiobarbitúrico em relação à embalada com o filme controle apresentando diferença estatística no tempo de 60 dias.

Assim, pode-se concluir que a incorporação de EEC em filmes à base de gelatina, de um modo geral, melhoraram as propriedades dos filmes à base de gelatina, além de fornecer propriedades funcionais aos mesmos. A aplicação deste filme como embalagem ativa para a noz macadâmia mostrou a possível utilização deste sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADARAMOYE, O. A. et al. Hypotensive and endothelium-independent vasorelaxant effects of methanolic extract from *Curcuma longa* L. in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 124, n. 3, p. 457-462, 2009.
- ADAY, M. S.; CANER, C. The Applications of “Active Packaging and Chlorine Dioxide” for Extended Shelf Life of Fresh Strawberries. **Packaging technology and science**, London, v. 24, p. 123-136, 2011.
- AGGARWAL, B. B. et al. Curcumin Derived from Turmeric (*Curcuma longa*): a Spice for All Seasons. In: BAGCHI, D.; PREUSS, H. G. **Phytopharmaceuticals in Cancer Chemoprevention**, Boca Ranton: CRC Press, 2005. Cap. 23.
- AHAMAD, M. et al. Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 155, n. 3, p. 171-178, 2012a.
- AHAMAD, M. et al. Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils, **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 28, p. 189-199, 2012b.
- AK, T.; GÜLÇİN, I. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. **Chemico-Biological Interactions**, Limerick, v. 174, n. 1, p. 27-37, 2008.
- AL-HASSAN, A. A.; NORZIAH, M. H. Starch e gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 26, p. 108-117, 2012.
- ALTIOK, D.; ALTIOK, E.; TIHMINLIOGLU, F. Physical, antibacterial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with thyme oil for potential wound healing applications. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, London, v. 21, p. 2227-2236, 2010.
- ÁLVAREZ, M. F. Revisión: Envasado activo de los alimentos. **Food Science and Technology International**, London, v. 6, n. 2, p. 97-108, 2000.
- ALY, M. M.; GUMGUMJEE, N. M. Antimicrobial efficacy of *Rheum palmatum*, *Curcuma longa* and *Alpinia officinarum* extracts against some pathogenic microorganisms. **African Journal of Biotechnology**, [S.I.], v. 10, n. 56, p. 12058-12063, 2011.
- ANAND, P. et al. Bioavailability of Curcumin: Problems and Promises. **Molecular pharmaceuticals**, Washington, v. 4, n. 6, p. 807-818, 2007.
- ANAND, P. et al. Biological activities of curcumin and its analogues (Congeners) made by man and Mother Nature. **Biochemical Pharmacology**, New York, v. 76, n. 11, p. 1590-1611, 2008.
- ANDREUCCETTI, C. et al. Functional properties of gelatin-based films containing *Yucca schidigera* extract produced via casting, extrusion and blown extrusion processes: A preliminary study. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 113, p. 33-40, 2012.

ANTO, R. J. et al. Antimutagenic and anticarcinogenic activity of natural and synthetic curcuminoids. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 370, p. 127-131, 1996.

ANTUNEZ, P. D. et al. Effect of an Oxygen Scavenger on the Stability of Preservative-Free Flour Tortillas. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, n. 1, 2012.

AOAC, **Official methods of analysis of the Association Analytical chemists**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARUTSELVI, R. et al. Phytochemical screening and comparative study of anti microbial activity of leaves and rhizomes of turmeric varieties. **Asian Journal of Plant Science and Research**, Coden, v. 2, n. 2, p. 212-219, 2012.

ASTM, American society for testing and material. **Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**, International Standard Method D882-10, Philadelphia, 2010a.

ASTM, American society for testing and material. **Standard test methods for water vapor transmission of materials**, International Standard Method E96/96M, Philadelphia, 2010b.

AVILA-SOSA, R. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v.153, p. 66-72, 2012.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 337-341 2000.

BERGO, P.; SOBRAL, P.J.A. Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 21, p. 1285-1289, 2007.

BODINI, R. B. et al. Properties of gelatin-based films with added ethanol-propolis extract. **Food Science and technology**, London, v. 51, n. 1, p. 104-110, 2012.

BONDET, V.; BRAND-WILLIAMS, W.; BERSET, C. Kinetics and Mechanisms of Antioxidant Activity using the DPPH• Free Radical Method. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London, v. 30, p. 609-615, 1997.

BORGES, A.; PELEG, M. Effect of water activity of mechanical properties of selected legumes and nuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.75, p.463-471, 1997.

BOROMPICHAICHARTKUL, C. et al. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 93, n. 3, p. 348-353, 2009.

BOTSOGLOU, N. A. et al. Rapid, Sensitive, and Specific Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Peroxidation in Animal Tissue, Food, and Feedstuff Samples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, p. 1931-1937, 1994.

BRAGA, M. E. M. et al. Comparison of yield, composition, and antioxidante activity o Tumeric (*Curcuma longa* L.) extracts obtained using various techniques. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 6604-6611, 2003.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and technology**, London, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BROUMAND, A. et al. Antimicrobial, water vapour permeability, mechanical and thermal properties of casein based *Zataria multiflora* Boiss. Extract containing film. **Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 10, p. 2316-2323, 2011.

CARVALHO, R. A.; GROSSO, C. R. F. Characterization of gelatin based films modified with transglutaminase, glyoxal and formaldehyde. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 18, p. 717-726, 2004.

CARVALHO, R.A. et al. Development of edible films based on differently processed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) skin gelatin. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 22, p. 1117-1123, 2008.

CECILIO-FILHO, A.B. et al. Cúrcuma: Planta Medicinal, Condimentar e de Outros Usos Potenciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.171-175, 2000.

CHANA-THAWORN, J.; CHANTHACHUM, S.; WITTAYA, T. Properties and antimicrobial activity of edible films incorporated with kiam wood (*Cotyleobium lanceotatum*) extract. **Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 1, p. 284-292, 2011.

CHANG, L. et al. Supercritical carbon dioxide extraction of turmeric oil from *Curcuma longa* Linn and purification of turmerones. **Separation and Purification Technology**, [S.I.], v. 47, p. 119-125, 2006.

CHATTERJEE, S.; PADWAL-DESAI, S. R.; THOMAS, P. Effect of γ -irradiation on the antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) extracts. **Food Research International**, Barking, v. 32, n. 7, p. 487-490, 1999.

CHEN, C.; WANG, B.; WENG, Y. Physiochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, p. 1050-1055, 2010.

COMA, V. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. **Meat Science**, Barking, v. 78, p. 90-103, 2008.

COOKSEY, K. Active Packaging and the Shelf Life of Foods. In: ROBERTSON, G. L. **Food Packaging and Shelf Life: a practical guide**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2010. Cap. 1, p. 1-16.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DANSAL, P. KRUSONG, W. Effect of turmeric extract, fermented vinegar and their mixture on *Salmonella Typhimurium* Reduction *in vitro*. **2nd International Conference on Biotechnology and Food Science**, Singapura, v. 7, p. 81-85, 2011.

DAO, T. T. et al. Curcuminoids from *Curcuma longa* and their inhibitory activities on influenza A neuraminidases. **Food Chemistry**, London, v. 134, p. 21-28, 2012.

DAS, D. K.; DUTTA, H.; MAHANTA, C. L. Development of a rice starch-based coating with antioxidant and microbe-barrier properties and study of its effect on tomatoes stored at room temperature. **Food Science and Technology**, London, n. 50, p. 272-278, 2013.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J., VOILLEY, A. Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review. **Critical Reviews in Food Science**, Boca Raton, v. 38, n. 4, p. 299-313, 1998.

EMIROĞLU, Z. K. et al. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. **Meat Science**, Barking, v. 86, p. 283-288, 2010.

FANG, Y. et al. Tensile and barrier properties of edible films made from whey proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v.67, p.188-193, 2002.

GENNADIOS, A. et al. Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 61, p. 585-589, 1996.

GHASEMI et al., Investigation on Development of Zein Antimicrobial Edible Film and Essential Oil of *Zataria multiflora* Boiss. on *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **Asian Journal of Chemistry**, Udaipur, v. 24, n. 12, p. 5941-5942, 2012.

GIBIS, D.; RIEBLINGER, K. Oxygen scavenging films for food application. **Procedia- Food Science**, [S.I.], v. 1, p. 229-234, 2011.

GIMÉNEZ, B. et al. Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, London, v. 30, n. 1, p. 264-271, 2013.

GOEL, A.; AGGARWAL, B. B. Curcumin, the Golden Spice From Indian Saffron, Is a Chemosensitizer and Radiosensitizer for Tumors and Chemoprotector and Radioprotector for Normal Organs. **Nutrition and Cancer**, London, v. 62, n. 7, p. 919-930, 2011.

GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Antioxidant properties of tuna-skin and bovine-hide gelatin films induced by the addition of oregano and rosemary extracts. **Food Chemistry**, London, v. 112, p. 18-25, 2009a.

GÓMEZ-ESTACA, J. et al Incorporation of antioxidant borage extract into edible films based on sole skin gelatin or a commercial fish gelatin. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 92, p. 78-85, 2009b.

GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, London, v. 27, n. 7, p. 889-896, 2010.

GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. et al. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae Turcz.*). **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 21, p. 1133-1143, 2007.

GONTARD, N. et al. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 29, p. 39-50, 1994.

GOPINATH, D. et al. Dermal wound healing processes with curcumin incorporated collagen films. **Biomaterials**, Surrey, v. 25, p. 1911-1917, 2004.

GOVINDARAJAN, V.S. Turmeric - chemistry, technology and quality. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 12, n. 3, p. 199-301, 1980.

GRANDA-RESTREPO, D. et al. Release of antioxidants from co-extruded active packaging developed for whole milk powder. **International Dairy Journal**, Barking, v. 19, p. 481-488, 2009.

GUTIÉRREZ, M. Q. et al. Carboxymethylcellulose–montmorillonite nanocomposite films activated with murta (*Ugni molinae* Turcz) leaves extract. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 87, p. 1495-1502, 2012.

HAN, J. H., FLOROS, J. D. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial-activity. **Journal Plastic Film Sheeting**, [S.I.], v. 13, p. 287-298. 1997.

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

HOQUE, M. S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin incorporated with cinnamon, clove and star anise extracts. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 25, 1085-1097, 2011.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3th ed.: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, Sao Paulo: IMESP, 1985.

ITURRIAGA, L.; OLABARRIETA, I.; MARTÍNEZ-DE-MARAÑÓN, I. Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 158, p. 58-64, 2012.

JANG, H. D. et al. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three Chinese medicinal plants. **Food Chemistry**, London, v. 103, p. 749–756, 2007.

JAVANMARD, M. Effect of whey protein edible film packaging on the quality and moisture uptake of dried peanuts. **Journal of Food Process Engineering**, [S.I.], v. 31, p. 503-516, 2008.

JIANG, J. L. et al. Identification of antitumor constituents in curcuminoids from *Curcuma longa* L. based on the composition–activity relationship. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, Amsterdam, v. 70, p. 664-670, 2012.

JONGJAREONRAK, A. et al. Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, p. 492–501, 2006.

KALPANA, C. et al. Comparative effects of curcumin and its synthetic analogue on tissue lipid peroxidation and antioxidant status during nicotine-induced toxicity. **Singapore Medical Journal**, Singapore, v. 48, p. 124-130, 2007.

KANATT, S. R. et al. Active chitosan polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 29, p. 290-297, 2012.

KATZ, P. S.; TRASK, A. J.; LUCCHESI, P. A. Curcuminoids: Spicing up sympathovagal tone. **Nutrition**, Philadelphia, v. 25, p. 879-880, 2009.

KIM, J. K. Color improvement by irradiation of Curcuma aromatic extract for industrial application. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 75, p. 449-452, 2006.

KOWSALYA, R.; KRISHNAVENI, M. Extraction and Antibacterial Studies of Curcumin. **Journal of pure and applied microbiology**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 317-321, 2011.

KUMAR, R. S. et al. Simultaneous Spectrophotometric Estimation of Curcuminoids and Gallic Acid in Bulk Drug and Ayurvedic Polyherbal Tablet Dosage Form. **International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance**, [S.I.], v. 2, v. 1, p. 56-59, 2010.

KURODA, M. Hypoglycemic Effects of Turmeric (*Curcuma longa* L. Rhizomes) on Genetically Diabetic KK-Ay Mice. **Biological and pharmaceutical bulletin**, Tokyo, v. 28, n. 5, p. 937-939, 2005.

KWAPE, T.E; CHATURVEDI, P. Anti-oxidant activities of leaf extracts of *Ziziphus mucronat*. **International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences**, Jaipur, v. 2, n. 1, p. 62-69, 2012.

LA-STORIA, A. et al. A combination of modified atmosphere and antimicrobial packaging to extend the shelf-life of beefsteaks stored at chill temperature. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 158, p. 186-194, 2012.

LEE, D. S. Active Packaging. In: SUN, D. W. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. Boca Ranton: CRC Press, 2011. Cap. 37, p. 819-836.

LEE, H. S. Antiplatelet property of *Curcuma longa* L. rhizome-derived ar-turmerone. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, n. 12, p. 1372-1376, 2006.

LIN, L.; LEE, K. H. Structure-activity relationships of curcumin and its analogs with different biological activities. **Studies in Natural Products Chemistry**, [S.I.], v. 33, p. 785-812, 2006.

LIN, Y. et al. An immersion of *Gracilaria tenuistipitata* extract improves the immunity and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* challenged with white spot syndrome virus. **Fish & Shellfish Immunology**, [S.I.], v. 31, p. 1239-1246, 2011.

LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C. et al. Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. **Food Chemistry**, Oxford, v. 131, p. 1376-1384, 2012.

MASTROMATTEO, M. et al. Shelf life of reduced pork back-fat content sausages as affected by antimicrobial compounds and modified atmosphere packaging. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 150, p. 1-7, 2011.

MENON, V. P.; SADHEER, A. R. Antioxidant and Anti-inflammatory properties of curcumin. **Advances in experimental medicine and biology**, New York, v. 595, p. 105-125, 2007.

- MOHANKUMAR, S.; MCFARLANE, J. R. An Aqueous Extract of *Curcuma longa* (Turmeric) Rhizomes Stimulates Insulin Release and Mimics Insulin Action on Tissues Involved in Glucose Homeostasis *In Vitro*. **Phytotherapy Research**, London, v. 25, p. 396-401, 2011.
- MORADI, M. et al. Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract. **Food Science and Technology**, London, v. 46, p 477-484, 2012.
- MUÑOZ-BONILLA, A.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. Polymeric materials with antimicrobial activity. **Progress in Polymer Science**, [S.I], v. 37, n. 2, p. 281-339, 2012.
- NAHAR, L.; SARKER, S. D. Phytochemistry of the Genus *Curcuma*. In: RAVINDRAN, P. N.; BADU, K. N.; SIVARAMAN, K. **Turmeric: the Genus curcuma**. Boca Raton: CRC Press, v. 45, 2007. Cap. 3, p. 71-102.
- NANDITHA, B. R.; JENA, B. S.; PRABHASANKAR, P. Influence of natural antioxidants and their carry-through property in biscuit processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v, 89, p. 288-298, 2009.
- NAZ, S. et al. Antibacterial activity of *Curcuma longa* varieties against different strains of bacteria. **Pakistan Journal of Botany**, [S.I], v. 42, n. 1, p.455-462, 2010.
- NCCLS, National Committee for Clinical Laboratory Standards. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests**, NCCLS document M2-A8. 8th ed. Pennsylvania, 2003.
- NÚÑEZ-FLORES, R. et al. Role of lignosulphonate in properties of fish gelatin films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 60-71, 2012.
- PARAMASIVAM, M. et al. A. High-performance thin layer chromatographic method for quantitative determination of curcuminoids in *Curcuma longa* germplasm. **Food Chemistry**, London, v.113, p. 640-644, 2009.
- PARK, S.H.; LIM, H. S.; HWANG, S. Y. Evaluation of antioxidant, rheological, physical and sensorial properties of wheat flour dough and cake containing turmeric powder. **Food Science and Technology International**, London, v. 18, n. 1, p. 435-443, 2012.
- PASTOR, C. et al. Physical and antioxidant properties of chitosan and methylcellulose based films containing resveratrol. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 30, p. 272-280, 2013.
- PEREIRA, A.S.; STRINGHETA, P.C. Considerações sobre a cultura e processamento do açafrão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 102-105, 1998.
- PEREIRA, R. C. A.; MOREIRA, M. R. **Cultivo de *Curcuma longa* L. (Açafrão da Índia ou Cúrcuma)**. Comunicado técnico EMBRAPA ISSN 1679-6535, Fortaleza, v. 142, 2009.
- PEREIRA-DE-ABREU, D. A.; CRUZ, J. M.; LOSADA-PASEIRA, P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. **Food Reviews International**, New York, v. 28, n. 2, p. 146-187, 2012.

PIRES, C. et al. Hake proteins edible films incorporated with essential oils: Physical, mechanical, antioxidant and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 30, p. 224-231, 2013.

PONNUSAMY, S. et al. Discovering Bisdemethoxycurcumin from *Curcuma longa* rhizome as a potent small molecule inhibitor of human pancreatic α -amylase, a target for type-2 diabetes. **Food Chemistry**, Oxford, v.135, p. 2638-2642, 2012.

PRYSTUPA, D. A.; DONALD, A. M. Infrared study of gelatin conformations in the gel and sol states. **Polymer Gels and Networks**, [S.I.], v. 4, p. 87-110, 1996.

RAHMAN, M. S. Packaging as a preservation technique. In: HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. **Handbook of food engineering**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. Cap. 38, p. 907-915.

RAMSEWAK, R. S.; DEWITT, D. L.; NAIR, M. G. Cytotoxicity, antioxidant and anti-inflammatory activities of curcumins I-III from *Curcuma longa*. **Phytomedicine**, Jena, v. 7, n. 4, p. 303-308, 2000.

RATTAYA, S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 95, p. 151-157, 2009.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

RUIZ-NAVAJAS, Y. et al. In vitro antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with *Thymus moroderi* or *Thymus piperella* essential oils. **Food Control**, Guildford, v. 30, p. 386-392, 2013.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. et al. Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, p. 443-452, 2010.

SCOTTER, M. J. Synthesis and chemical characterisation of curcuminoid colouring principles for their potential use as HPLC standards for the determination of curcumin colour in foods. **Food Science and technology**, London, v. 42, n. 8, p. 1345-1351, 2009.

SHANG, Y. et al. Antioxidant capacity of curcumin-directed analogues: Structure–activity relationship and influence of microenvironment. **Food Chemistry**, Oxford, v. 119, p. 1435-1442, 2010.

SHOJAEI-ALIABADI, S. et al. Characterization of antioxidant-antimicrobial k-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 52, p. 116-124, 2013.

SILVA, G. G. D. et al. Biodegradable Films Based on Blends of Gelatin and Poly (Vinyl Alcohol): Effect of PVA Type or Concentration on Some Physical Properties of Films, **Journal of Polymers and the Environment**, [S.I.], v. 16, p. 276-285, 2008.

SILVA-FILHO, C. R. M. et al. Avaliação da bioatividade dos extratos de cúrcuma (*Curcuma longa* L., Zingiberaceae) em *Artemia salina* e *Biomphalaria glabrata*. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 19, n. 4, p. 919-923, 2009.

SIMON, A. et al. Inhibitory effect of curcuminoids on MCF-7 cell proliferation and structure–activity relationships. **Cancer Letters**, Amsterdam, v. 129, p. 111-116, 1998.

SINGH, G. et al. Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* Linn.). **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 48, n. 4, p. 1026-1031, 2010.

SINGH, R. P.; JAIN, D. A. Evaluation of antimicrobial activity of curcuminoids isolated from turmeric. **International journal of pharmacy & life sciences**, London, v. 3, n. 1, p. 1368-1376, 2012.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 24, p. 770-775, 2010.

SIRIPATRAWAN, U.; NOIPHA, S. Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 27, p. 102-108, 2012.

SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 5, n. 6, p. 1251-1259, 2000.

SOBRAL, P.J.A.; CARVALHO, R.A.; FÁVARO-TRINTADE, C. S. Physical Properties of Edible Gelatin Films Colored with Chlorophyllide. In: Aguilera, J. M. et al. **Food Engineering Interfaces**, Springer: Nova York, 2011, p. 661-678.

SOGI, D. S. et al. Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. **Journal Food Science Technology**, Mysore, v. 47, n. 3, p. 300-304, 2010.

SONG, H. Y.; SHIN, Y. J.; SONG, K. B. Preparation of a barley bran protein-gelatin composite film containing grapefruit seed extract and its application in salmon packaging. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 113, n. 4, p. 541-547, 2012.

SUPPAKUL, P. et al. Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 2, p. 408-420, 2003.

SYU, W. et al. Cytotoxicity of Curcuminoids and Some Novel Compounds from *Curcuma zedoaria*. **Journal of Natural Products**, Cincinnati, v. 61, p. 1531-1534, 1998.

TAYYEM, R.F. et al. Curcumin Content of Turmeric and Curry Powders. **Nutrition and Cancer**, London, v.55, n.2, p.126-131, 2006.

TEXEIRA, C. C. C. **Desenvolvimento tecnológico de fitoterápico a partir de rizomas de *Curcuma longa* L. e avaliação das atividades antioxidantes, anti-inflamatória e antitumoral**. 2009. 164p. Tese (Doutorado) – Faculdade de ciências farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

TOMREN, M. A. et al. Studies on curcumin and curcuminoids XXXI. Symmetric and asymmetric curcuminoids: Stability, activity and complexation with cyclodextrin. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 338, p. 27-34, 2007.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. **Food Chemistry**, Oxford, v. 134, p.1571-1579, 2012.

TYAGI, A. M. et al. Essential oil vapour and negative air ions: A novel tool for food preservation. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 26, n. 2, p. 99-113, 2012.

UPTON, R. et al., **America Herbal Pharmacopeia: Botanical pharmaconosy – Microscop characterization of botanical medicines**. Taylor & Francis Group: New York, 2011. p. 339-341.

VICENTINI, N. M. et al. Prediction of cassava starch edible film properties by chemometric analysis of infrared spectra. **Spectroscopy Letters**, New York, v. 38, n. 6, p. 749-767, 2005.

VILLALOBOS, R. et al. Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.19, p.53-61, 2005.

XIA, X. et al. Behavioral, neurochemical and neuroendocrine effects of the ethanolic extract from *Curcuma longa* L. in the mouse forced swimming test. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 110, p. 356-363, 2007.

WAKTE, P. S. et al. Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. **Separation and Purification Technology**, [S.I], v. 79, p. 50-55, 2011.

WU, J. et al. Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 42-51, 2013.

ZINOVIADOU, K. G. KOUTSOUMANIS, K.P., BILIADERIS, C. G. Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. **Meat Science**, Barking, v. 82, n. 3, p. 338-345, 2009.