Artigo DOI: 10.14295/2238-6416.v69i4.307

PROPRIEDADES DE BARREIRA, MECÂNICAS E ÓPTICAS DE FILMES DE CONCENTRADO PROTEICO DE SORO DE LEITE

Barrier, mechanical and optical properties of whey protein concentrate films

Viviane Machado Azevedo[1], Ana Letícia Rodrigues Costa[2], Katia Lumi Fukushima[1], Soraia Vilela Borges[1]*

RESUMO

O soro de leite é reconhecido como uma valiosa fonte de proteínas de alta qualidade, quando processado como concentrado proteico pode ser utilizado na produção de filmes biodegradáveis. O objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes de concentrado proteico de soro de leite 80% (CPS) nas concentrações de 6, 8, 10 e 12% (m/v) e avaliar a influência deste fator nas propriedades de barreira, mecânicas e ópticas dos filmes. Os tratamentos apresentaram teor de umidade com valor médio de 22,10% ± 0,76 e altos valores de solubilidade entre 56,67% e 62,42%. Logo, observa-se pouca ou nenhuma influência da variação da concentração de CPS nestas propriedades e alto caráter hidrofílico dos filmes. Com o aumento da concentração de CPS eleva-se a permeabilidade ao vapor de água dos filmes ($7{,}42x10^{-13}$ para $3{,}49x10^{-12}$ $g.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}$). O tratamento na concentração de 6% de CPS apresentou maior módulo de elasticidade (287,90 ± 41,79 MPa). A maior rigidez em filmes com maiores concentrações possivelmente se deve ao maior número de ligações entre as moléculas da matriz polimérica. Os filmes apresentaram a mesma resistência à perfuração. O aumento da concentração de CPS favoreceu a resistência à ação de uma força localizada. Os filmes de concentrado proteico de soro de leite nas concentrações avaliadas exibiram transparência e cor ligeiramente amarelada. Concluiu-se que esses filmes podem ser utilizados em embalagens para alimentos

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), Lavras, MG, Brasil
2 Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Departamento de Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", s/n, 13083-862, Campinas, SP, Brasil. E-mail: analeticiarc@yahoo.com
* Autor para correspondência

Recebido / Received: 27/02/2014
Aprovado / Approved: 12/06/2014

que requerem permeabilidade intermediária ao vapor de água, para manter umidade e textura desejadas.

Palavras-chave: filmes biodegradáveis; polímeros; proteínas do soro de leite; *casting*.

ABSTRACT

Whey is recognized as a valuable source of high quality protein and, when processed as protein concentrate, may be used in the production of biodegradable films. The objective of the study was to develop films of whey protein concentrate 80% (WPC) at concentrations of 6, 8, 10 and 12% and evaluate the influence of this factor in the barrier, mechanical and optical properties of the films. Treatments showed moisture content with a mean value of 22.10% ± 0.76and high solubility values between 56.67 to 62.42%. Thus, there is little or no influence of varying the concentration of WPC in these properties and high hydrophilicity of the films. With increasing concentration of WPC, increases the water vapor permeability of the films (7.42×10^{-13} to 3.49×10^{-12} $g.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}$). The treatment at the concentration of 6% of WPC showed a higher modulus of elasticity (287.90 ± 41.79 MPa). The greater rigidity in films with higher concentrations is possibly due to the greater number of bonds between molecules of the polymeric matrix. The films have the same puncture resistance. The increased concentration of WPC promotes resistance to the action of a localized force. In general, films of whey protein concentrate in the tested concentrations exhibited slightly yellowish color and transparency, and can be used in food packaging that requiring intermediate permeability to water vapor, to keep moisture and texture desired.

Keywords: biodegradable films; polymer, whey protein; *casting*.

INTRODUÇÃO

A última década é marcada pelo esforço conjunto das indústrias de alimentos e de embalagens para reduzir a quantidade de resíduos associados ao consumo de alimentos (RAMOS et al., 2012a), sejam estes obtidos no processamento ou gerados após o consumo. Milhões de toneladas de soro de leite são produzidas anualmente como um subproduto da fabricação de queijos (RAMOS et al., 2012b). A identificação de alternativas para o aproveitamento adequado do soro de leite é de fundamental importância em função de sua qualidade nutricional, do volume produzido e de seu poder poluente (GIROTO; PAWLOWSKY, 2001). Obrigatoriamente o soro de leite deixou de ser encarado como um resíduo industrial que acarreta graves problemas ambientais associados ao seu alto teor de matéria orgânica e passou a ser visto como uma potencial matéria-prima, reconhecida como uma valiosa fonte de proteínas de alta qualidade.

O soro de leite, processado como concentrado ou isolado proteico é um excelente aditivo utilizado na fabricação de vários alimentos industrializados (YOSHIDA; ANTUNES, 2009) devido à sua capacidade de emulsificação, geleificação e formação de espuma (FOEGEDING et al., 2002).

Um aspecto interessante e atual é a utilização das proteínas de soro de leite na produção de filmes biodegradáveis, ou seja, filmes obtidos de fontes renováveis, visto que, a maioria dos filmes de polímeros utilizados em todo o mundo é de origem petroquímica, um dos principais responsáveis pela poluição e causa de impactos ambientais (PORTA et al., 2011).

Durante o período de estocagem, transporte e comercialização, a embalagem deve preservar as características físicas, sensoriais, nutricionais e sanitárias dos alimentos (YOSHIDA; ANTUNES, 2009). A aplicação de filmes proteicos de soro de leite como embalagens de alimentos depende fortemente de alguns critérios que se aplicam as embalagens convencionais de alimentos (RAMOS et al., 2012a).

Em embalagens poliméricas, esses critérios estão relacionados com as forças de coesão, que são interações entre as moléculas do polímero formador do filme (KHWALDIA et al., 2004). O grau de coesão afeta as propriedades de barreira, mecânicas e ópticas dos filmes (WEBER et al., 2002) e estão diretamente relacionados com a natureza dos componentes, composição e estrutura da matriz (KHWALDIA et al., 2004).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes de concentrado proteico de soro de leite a 80% (CPS) em diferentes concentrações e avaliar a influência deste fator nas propriedades de barreira, mecânicas e ópticas dos filmes.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Concentrado proteico de soro de leite (CPS), com 80% de proteína, foi obtido na *Alibra Ingredientes* (Alibra, Campinas, Brasil) e o glicerol na S*igma Aldrich* (Brasil).

Elaboração dos filmes

Concentrado proteico de soro de leite a 80% (CPS) nas concentrações de 6, 8, 10, 12% (m/v) foi disperso em água destilada, e submetido à agitação magnética por 30 minutos até completa solubilização (YOSHIDA; ANTUNES, 2009). Após a solubilização, adicionou-se o plastificante glicerol (30 g/100 g de CPS), concentração definida em ensaios preliminares, e manteve-se agitação constante por 10 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, o pH foi ajustado para 7,0 com hidróxido de sódio 0,1 mol.L^{-1}. A solução filmogênica foi aquecida à temperatura de 90 °C/30 minutos em banho-maria, com o objetivo de desnaturar a proteína. Após aquecimento, a solução foi resfriada à temperatura ambiente e vertida em placas de vidro. O controle de espessura foi efetuado por volume aplicado no suporte, correspondendo a 145 mL. Os filmes com dimensões 18 × 30 cm foram secos em temperatura ambiente durante 48 h garantindo evaporação lenta do solvente e formação do filme.

Condicionamento dos filmes e espessura

Os filmes foram condicionados em temperatura controlada de 23 ± 2 °C e umidade relativa de 50 ± 5% UR por 48 h antes das análises, conforme método D618-00 (ASTM, 2000). A espessura média dos filmes foi obtida por meio da leitura em dez pontos distintos, tomados aleatoriamente em cada corpo de prova, utilizando micrômetro digital Mitutoyo (precisão 0,01 mm; Mitutoyo Sul Americana, Suzano, SP, Brasil).

Umidade dos filmes

O teor de umidade dos filmes de CPS foi determinado após secagem em estufa a 105 °C, sob circulação forçada até peso constante. Pedaços de filmes (0,200 ± 0,05 g)

foram colocados em placas de petri e pesados antes e após secagem em estufa conforme método D644-94 (ASTM, 1994). Os valores de umidade foram determinados de acordo com a equação 1.

$$Umidade\ (\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} x\ 100 \quad (1)$$

Sendo:
P_i : peso inicial dos filmes;
P_f : peso final dos filmes.

Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes foi determinada de acordo com o método de Rhim et al. (2005). As amostras (3 x 5 cm) foram pesadas (P_1) e colocadas em béqueres contendo 30 mL de água deionizada. Os béqueres foram cobertos com Parafilm e armazenados a 25,0 ± 0,5 °C por 24 h. Após este período, pedaços dos filmes não dissolvidos foram recuperados usando papel de filtro. O material filtrado foi seco a 105 ºC por 24 horas e posteriormente pesados (P_2). A solubilidade em água foi determinada a partir da matéria seca não dissolvida e calculada pela equação 2.

$$Solubilidade\ em\ água\ (\%) = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} x\ 100 \quad (2)$$

Permeabilidade ao vapor de água – (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foi determinada por meio do método acumulante, conforme a ASTM E398-03 (ASTM, 2003), com equipamento *Permatran* W 1/50 G (*Minneapolis*, MN, USA). O equipamento foi calibrado com filme de referência fornecido pelo fabricante e a pressão do gás de nitrogênio utilizada foi 200-300 kPa durante os testes. Os testes foram realizados em três repetições e a PVA (g. m^{-1}. s^{-1}. Pa^{-1}) foi calculada conforme equação 3.

$$PVA = \frac{TVPA.\ \delta}{\Delta P} \quad (3)$$

Sendo:
δ: espessura dos filmes;
TVPA: taxa de transmissão ao vapor de água;
ΔP: diferença de pressão de vapor entre as faces do filme, onde $\Delta P = S(R1\text{-}R2)$; é a pressão de vapor saturado na temperatura do teste (6,5537 kPa), é a umidade relativa (UR) no lado úmido da cápsula (50%) e é a UR no lado seco da cápsula (10%).

Propriedades mecânicas

Os filmes foram submetidos a testes mecânicos de tração e punctura, utilizando um analisador de textura (*Stable Microsystems*, modelo TATX2i, Inglaterra). As propriedades de tração avaliadas foram módulo de elasticidade (ME), tração na ruptura (TR) e elongação na ruptura (ER), conforme método D882–02 (ASTM, 2002). Os filmes foram cortados em tiras de 100 x 10 mm e fixados nas garras. A distância inicial entre as garras foi de 50 mm com velocidade constante de separação de 50 mm/min.

As propriedades de punctura avaliadas foram força na ruptura (FR) e deformação na ruptura (DR), conforme o método D5748-95 (ASTM, 2007). Os filmes foram cortados em quadrados de 3 x 3 cm e fixados em um suporte com orifício central (2,1 cm de diâmetro). Uma sonda esférica de 5,0 mm de diâmetro (sonda A/TG) foi deslocada perpendicularmente à superfície da película a uma velocidade constante de 0,8 $mm.seg^{-1}$ até a sonda passar através do filme (CHEN; LAI, 2008). A resistência à punctura/ espessura ($N.mm^{-1}$) foi calculada dividindo o valor da força no ponto de ruptura pela espessura do filme, para eliminar o efeito da variação

da espessura (PARK; ZHAO, 2004), e a deformação (mm) dos filmes foi determinada no ponto de ruptura. Foram testados seis corpos de prova para cada filme em três repetições.

Propriedades Ópticas

A opacidade dos filmes foi determinada conforme Giménez et al. (2009) utilizando espectrofotômetro Cary 50 UV – Visible. Os filmes foram cortados (3 x 3 cm) e colocados no compartimento da amostra do espectrofotômetro. Um compartimento vazio foi utilizado como referência nas medições. Os espectros de absorbância dos filmes foram registrados em 600 nm. A opacidade dos filmes foi calculada pela equação 4.

$$\text{Opacidade} = \frac{\text{Abs600}}{\text{X}} \quad (4)$$

Sendo que:
Abs600: absorvância a 600 nm;
X: espessura do filme (mm).

Os parâmetros de cor CIE – L* (luminosidade), a* (verde-vermelho), b* (azul-amarelo) foram obtidos usando iluminante D65 e observador 10° em equipamento Konica Minolta CM 700D. A diferença total de cor (ΔE) foi calculada em relação ao filme na concentração de 6% de CPS conforme Equação 5.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

Análises Estatísticas

Os resultados foram analisados com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000) empregando-se a Análise Estatística Univariada (ANOVA) e regressão para o ajuste de modelos aos dados experimentais considerando 5% como nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aparência dos filmes

Todos os filmes de concentrado proteico de soro de leite apresentaram-se flexíveis, homogêneos, com superfícies lisas, sem poros ou fissuras. Os dois lados dos filmes possuíam aparência diferente, o lado do filme voltado para a placa de vidro apresentou-se com aspecto brilhante, enquanto que o outro lado era opaco. Ramos et al. (2012a) sugerem que essa diferença na aparência é, provavelmente, ligada a alguma separação de fases que ocorre na solução durante a secagem.

Umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água

Em filmes biodegradáveis, a solubilidade, a umidade e a permeabilidade ao vapor de água são propriedades importantes e estão relacionadas com a estabilidade frente à aplicação dos filmes em determinados tipos de alimentos e condições de estocagem.

Observou-se que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos para os valores de umidade (22,10% ± 0,76). Os filmes nas diferentes concentrações de CPS apresentaram teor de umidade intermediária, concluiu-se que não houve influência da variação da concentração de CPS nesta propriedade. Yoshida; Antunes (2009) avaliaram a eficiência da aplicação de filmes à base de proteínas de soro de leite em um sistema de embalagem que consistia em um pote plástico utilizando-se filmes de proteínas de soro de leite como fechamento superior. Estes autores reportaram que os filmes apresentaram uma barreira moderada à umidade.

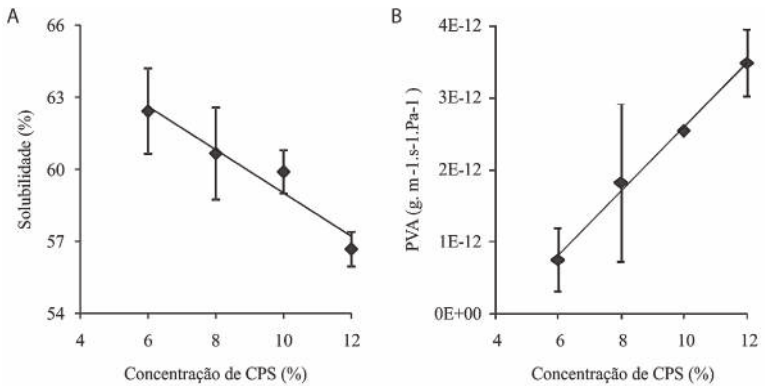
Na Tabela 1 são mostrados os resultados dos parâmetros do modelo linear ajustado para as propriedades de solubilidade e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%.

Os filmes diferiram significativamente entre si ($p<0,05$) nos valores de solubilidade, houve um decréscimo linear da solubilidade com o aumento da concentração de CPS nos filmes (Figura 1A). Foram encontrados altos valores de solubilidade, logo, confirmou-se o alto caráter hidrofílico dos filmes obtidos a partir do CPS. Filmes com alta solubilidade podem ser interessantes para embalagens de alimentos desidratados que devam sofrer uma hidratação (MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000).

A barreira do filme à umidade é medida como a permeabilidade ao vapor de água (PVA). Os fatores que afetam a permeabilidade ao vapor de água dos filmes são de natureza química e estrutural. Filmes obtidos a partir de CPS são polares e apresentam altos graus de ligações de hidrogênio, resultando em filmes com pobres barreiras à umidade (MCHUGH; KROCHTA, 1994). Nos tratamentos avaliados houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os valores de PVA. Ao aumentar a concentração de CPS eleva-se a afinidade da matriz polimérica por moléculas de água e, consequentemente, aumenta-se linearmente a permeabilidade ao

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros do modelo ajustado para as propriedades de solubilidade e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%

Propriedade	Equação	Parâmetro		R^2
		a	*b*	
Solubilidade (%)	$Y=aX+b$	-0,899	68,00	0,935*
PVA (g. m^{-1}. s^{-1}. Pa^{-1})		$4x10^{-13}$	$2x10^{-12}$	0,994*



Y: propriedade avaliada; *X* concentração de CPS (%); *a*,*b* : parâmetros do modelo; R^2: coeficiente de determinação;
* Significativo a 5% de significância.

Figura 1 – Dados médios experimentais e ajuste do modelo para: A) solubilidade e B) permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%

vapor de água através da matriz (Figura 1B). Constata-se que filmes obtidos a partir do CPS são materiais permeáveis e desejáveis também como embalagens de produtos vegetais frescos (SOBRAL, 2000).

Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis estão associadas com o seu comportamento durante o manuseio e estocagem dos alimentos. Os parâmetros analisados neste trabalho são úteis para especificar e avaliar a qualidade desses materiais.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados dos parâmetros do modelo polinomial de segunda ordem ajustado para as propriedades de espessura, módulo de elasticidade (ME), elongação na ruptura (ER) e deformação na ruptura (DR) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%.

Os filmes não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) quanto à propriedade de tração na ruptura (31,75 MPa ± 10,36), ou seja, a força necessária para o rompimento do filme é, aproximadamente, a mesma para todos os tratamentos. Quanto ao módulo de elasticidade, houve uma diminuição dessa propriedade com o aumento da concentração de CPS nos filmes, o que indica que o filme comporta-se de forma mais elástica em menor concentração de CPS (Figura 2A). Essa maior rigidez em maiores concentrações, possivelmente, se deve ao maior número de ligações entre as moléculas da matriz polimérica. Isso explica o fato de que filmes com maiores concentrações de CPS tendem a se alongar mais até a ruptura em relação aos filmes com menores concentrações (Figura 2B).

Quanto às propriedades mecânicas de punctura, não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos para o parâmetro força na ruptura (8,53 N ± 1,80). Logo, os filmes de CPS possuem a mesma resistência à perfuração, isto é, igual capacidade de absorver a energia aplicada até a ruptura. Os filmes diferiram significativamente entre si ($p<0,05$) quanto à deformação na ruptura (Figura 2C). Observou-se que com o aumento da concentração de CPS nos filmes houve um aumento na resistência dos filmes à ação de uma força localizada (Tabela 2).

Existem poucos estudos avaliando diferentes concentrações de concentrado proteico de soro de leite. Filmes de concentrado proteico de soro de leite incorporados com lipídeos apresentaram baixa resistência à tração na ruptura, indicando filmes fracos e não homogêneos (YOSHIDA; ANTUNES, 2004). Ramos et al. (2013) estudaram filmes de isolado proteico de soro de leite (IPS) e filmes de concentrado proteico de soro de

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros do modelo ajustado para as propriedades de espessura, módulo de elasticidade (ME), elongação na ruptura (ER) e deformação na ruptura (DR) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%

Propriedade	Equação	Parâmetro			R^2
		a	*b*	*c*	
Espessura (mm)	$Y=aX^2+bX+c$	-0,005	0,118	-0,397	0,998*
ME (MPa)		2,817	- 65,3	574,9	0,955*
ER (%)		-0,560	21,34	-73,80	0,967*
DR (mm)		-0,070	1,541	3,294	0,993*

Y: propriedade avaliada; *X*: concentração de CPS (%); *a,b,c*: parâmetros do modelo; R^2: coeficiente de determinação; * Significativo a 5% de significância.

leite (CPS), com várias concentrações de glicerol. Estes autores reportam que filmes de IPS apresentaram valores significativamente mais elevados ($p<0,05$) de resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade do que aqueles para os filmes de CPS com o mesmo conteúdo de glicerol.

Propriedades ópticas

O aspecto visual está relacionado com a cor e transparência dos filmes, atributos importantes que influenciam na aceitabilidade do consumidor pelo produto. Na Tabela 3 são mostrados os resultados dos parâmetros dos modelos ajustados para os parâmetros de cor (L* e a*) e opacidade dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%.

Observa-se na Figura 3A que a opacidade dos filmes decresce linearmente com o aumento da concentração de CPS ($p<0,05$). A luminosidade (L*) reflete quanto claro é a amostra. Neste estudo, com o aumento da proporção de CPS no filme, ocorreu uma diminuição no valor de L* (Figura 3B). Porém, visualmente, são suficientemente claros para serem utilizados como embalagens para alimentos.

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) quanto ao parâmetro b* (5,2325 ± 0,3425). Em geral, os filmes exibiram uma cor ligeiramente amarelada, provavelmente causada pela presença

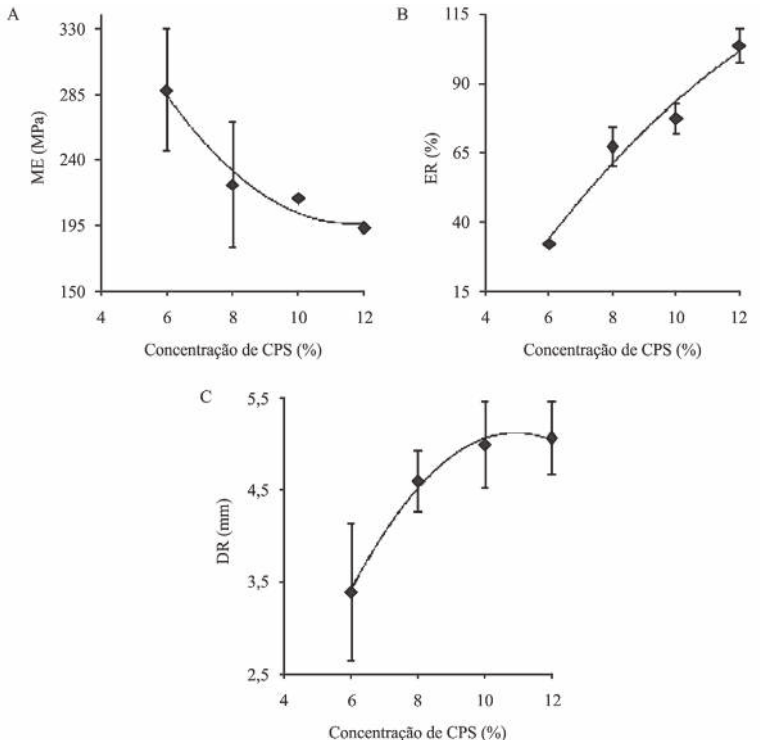


Figura 2 – Dados médios experimentais e ajuste do modelo para: A) módulo de elasticidade (ME), B) elongação na ruptura (ER) e C) deformação na ruptura (DR) dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%.

de lactose, lipídios e minerais. Este fato pode ser atribuído à presença de gordura e fosfolipídios (LORENZEN; SCHRADER, 2006; RAMOS et al., 2013). Yoshida; Antunes (2009) estudaram filmes de concentrado proteico de soro de leite com adição de lipídios e obtiveram um aumento na opacidade e no parâmetro b*, e uma redução na luminosidade e no parâmetro a*. Ozdemir; Floros (2008) observaram um aumento na opacidade de

Tabela 3 - Resultados dos parâmetros dos modelos ajustados para os parâmetros de cor (L* e a*) e opacidade dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%

Propriedade	Equação	Parâmetro			R^2
		a	b	c	
L*	$Y=aX^2+bX+c$	-0,276	4,206	17,50	0,820*
a*		-0,026	0,424	2,099	0,987*
Opacidade	$Y=aX+b$	-0,748	9,742	-	0,975*

Y: propriedade avaliada; *X* concentração de CPS (%); *a,b,c*: parâmetros do modelo; R^2: coeficiente de determinação; * Significativo a 5% de significância.

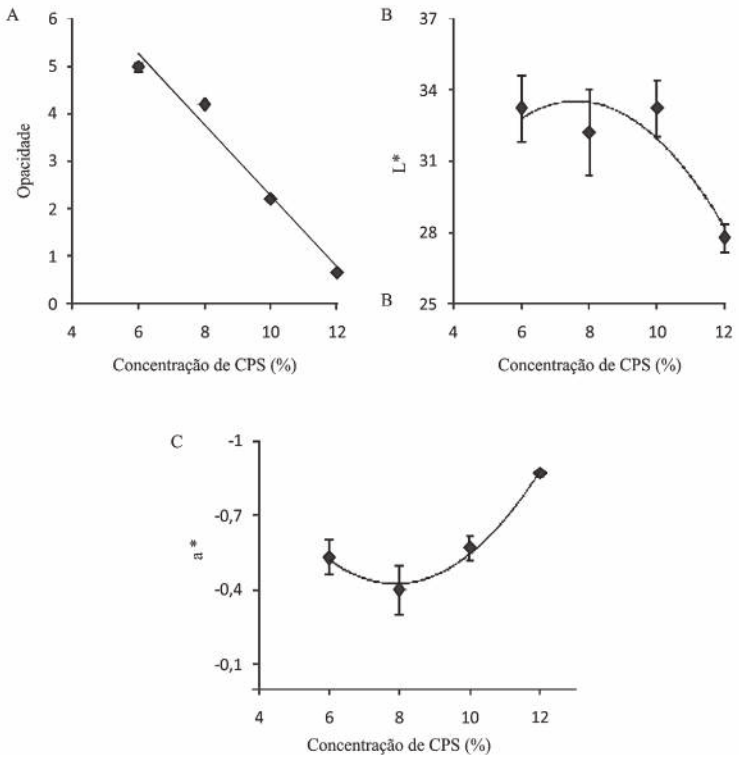


Figura 3 – Dados médios experimentais e ajuste dos modelos para: A) opacidade, B) parâmetro L* e C) parâmetro a* dos filmes à base de CPS nas concentrações de 6, 8, 10 e 12%

filmes proteicos de soro de leite com adição de cera de abelha.

CONCLUSÕES

A variação na concentração de CPS não altera a propriedade mecânica de tração na ruptura, mas influencia significativemente a elasticidade e a porcentagem de elongação dos filmes, sendo que filmes com menores concentrações possuem maior elasticidade e menor capacidade de se alongar. Os filmes de CPS possuem a mesma resistência à perfuração, mas o aumento da concentração de CPS favorece a resistência dos filmes à ação de uma força localizada. Em geral, filmes com maiores concentrações de CPS possuem transparência com coloração levemente amarelada.

Conclui-se o alto caráter hidrofílico dos filmes obtidos em todas as concentrações de CPS, a partir dos altos valores encontrados para solubilidade. Os filmes podem atuar como uma barreira semipermeável ao vapor de água. Ao elevar a concentração de CPS aumenta-se a permeabilidade ao vapor de água através da matriz polimérica. Os resultados no presente trabalho sugerem a utilização destes filmes em alimentos que requerem permeabilidade intermediária ao vapor de água, para manter a umidade e textura desejadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D5748-95:** Standard Test Method for Protruion Ouncture Resistance of Stretch Wrap Film. Philadelphia, 2007.

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

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D644-94:** Standard test methods for moisture content of paper and paperboard by oven drying. Philadelphia, 1994.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D882-02:** Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Philadelphia, 2002.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM E398-03:** Standard test method for water vapor transmission rate of sheet materials using dynamic relative humidity measurement. Philadelphia, 2003.

CHEN, C. H.; LAI, L. S. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/ decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 8, p. 1584-1595, 2008.

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

FOEGEDING, E. A. et al. Advances in modifying and understanding whey protein functionality. **Trends in Food Science and Technology,** v. 13, n. 5, p. 151-159, 2002.

GIMÉNEZ, B. et al. Physico-chemical and film forming properties of giant squid (Dosidicus gigas) gelatin. **Food Hydrocolloids,** v. 23, n. 3, p. 585-592, 2009.

GIROTO, J. M.; PAWLOWSKY, U. O soro de leite e as alternativas para o seu

beneficiamento. **Brasil Alimentos,** v. 2, n. 5, p. 43-46, 2001.

KHWALDIA, K. et al. Milk proteins for edible films and coatings. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 44, n. 4, p. 239-251, 2004.

LORENZEN, P. C., SCHRADER, K. A comparative study of the gelation properties of whey protein concentrate and whey protein isolate. **Le Lait,** v. 86, n. 4, p. 259-271, 2006.

MCHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Sorbitol-vs glycerol-plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 42, n. 4, p. 841-845, 1994.

MONTERREY-QUINTERO, E. S.; SOBRAL, P. J. D. A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-nilo para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 35, n. 1, p. 179-189, 2000.

OZDEMIR, M.; FLOROS, J. D. Optimization of edible whey proteins. Films containing preservatives for water vapour permeability, water solubility and sensory characteristics. **Journal of Food Engineering,** v. 86, n. 2, p. 215-224, 2008.

PARK, S. I.; ZHAO, Y. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 52, n. 7, p. 1933-1939, 2004.

PORTA, R. et al. Transglutaminase crosslinked pectinand chitosan-based edible films: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 51, n. 3, p. 223-238, 2011.

RAMOS, O. L. et al. Edible Films and Coatings from Whey Proteins: A Review on Formulation, and on Mechanical and Bioactive Properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 52, n. 6, p. 533-552, 2012a.

RAMOS, O. L. et al. Effect of composition of commercial whey protein preparations upon gelation at various pH values. **Food Research International,** v. 48, n. 2, p. 681-689, 2012b.

RAMOS, O. L. et al. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. **Food Hydrocolloids,** v. 30, n. 1, p. 110-122, 2013.

RHIM, J. W. et al. Mechanical and water barrier properties of soy protein and Clay mineral composite films. **Food Science Biotechnology,** v. 14, n. 1, p. 112-116, 2005.

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

WEBER, C. J. et al. Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. **Food Additives and Contaminants,** v. 19, n. Supplement 1, p. 172-177, 2002.

YOSHIDA, C. M. P.; ANTUNES, A. J. Aplicação de filmes proteicos à base de soro de leite. **Food Science and Technology,** v. 29, n. 2, p. 420-430, 2009.

YOSHIDA, C. M. P.; ANTUNES, A. J. Characterization of whey protein emulsion films. **Brazilian Journal of Chemical Engineering,** v. 21, n. 2, p. 247-252, 2004.