

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

Rheologic behavior, physico-chemical parameters and freezing dynamics of passion fruit pulp added with sucrose and pectin

Autores | Authors

Tatiana Nunes FERNANDES
Fernanda Costa Reno RIBEIRO

Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Departamento de Ciência de Alimentos
(DCA)
e-mail: tatiananunes@caramuru.com
fernanda.costareno@hotmail.com

✉ **Fernando Silveira LEMOS**

Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Departamento de Ciência de Alimentos
(DCA)
Caixa Postal: 3037
CEP: 37200-000
Lavras/MG - Brasil
e-mail: ferslemos@gmail.com

Mônica Elisabeth Torres PRADO
Jaime Vilela de RESENDE
Natália Cristina BELCHIOR

Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Departamento de Ciência de Alimentos
(DCA)
e-mail: mônica@ufla.br
jvresende@ufla.br
natbelchior@gmail.com

Resumo

Neste trabalho foram estudados os efeitos do congelamento e da adição de pectina e sacarose no comportamento reológico, teor de sólidos solúveis e atividade de água da polpa de maracujá antes do congelamento e após o descongelamento. A velocidade de movimento da frente de crescimento dos cristais de gelo durante o congelamento foi analisada em diversas concentrações. A polpa foi submetida a três métodos de congelamento: ar estático, banho termostático e ar forçado (todos a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para a avaliação da dinâmica do congelamento da polpa foi utilizado um *cold stage* de Peltier com temperatura controlada acoplado a um microscópio com sistema de videocaptura. Os aditivos, sacarose e pectina foram testados nas concentrações de 0, 10 e 20% e 0, 0,5 e 1,0%, respectivamente. As análises reológicas foram conduzidas em viscosímetro a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e as leituras foram transformadas em medidas reológicas pela metodologia de Mitschka e ajustadas pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência). O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado por leitura direta no refratômetro a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a atividade de água da polpa usando-se termo-higrômetro de ponto de orvalho. Polpas com aditivos apresentaram o comportamento de um fluido pseudoplástico. A adição de sacarose e pectina aumentou os teores de sólidos solúveis, diminuiu a atividade de água, aumentou a viscosidade e teve influência significativa na cor e velocidade de aumento da área congelada, sendo este aumento mais notável para concentrações em torno de 0,6 a 1% de pectina e inferiores a 8% de sacarose. O método de congelamento não apresentou efeito significativo sobre os parâmetros reológicos, sólidos solúveis e atividade de água.

Palavras-chave: Polpas de frutas congeladas; Aditivos; Congelamento; Reologia; Microestrutura.

■ Summary

In this work the effect of the freezing and the addition of pectin and sucrose in the rheological behavior, soluble solid contents and water activity of the passion fruit pulps before the freezing and after the thawing had been studied. The velocity of the ice crystals growth moving during the freezing was analyzed to the diverse concentrations. The pulp was submitted to three methods of freezing: static air, thermostatic bath and air blast (all at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). For the evaluation of the freezing dynamics of the pulps was used one Peltier cold stage equipment with controlled temperature connected to microscope with video capture system. The additives, sucrose and pectin were tested in the concentrations of 0, 10 and 20% and 0, 0.5 and 1.0%, respectively. The rheological measures were made with viscometer at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the readings were transformed to rheological measures by the Mitschka methodology and adjusted by the Ostwald-de-Waelle model (Law of the Power). The soluble solid contents of the samples was determined by direct reading in refratometer at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the pulp water activity using dew point thermohygrometer. Pulps with additives had presented the pseudoplastic fluid behavior. The sucrose and pectin addition increased the soluble solid contents, reduced the water activity of water, increased the viscosity and it had significant influence in the color and velocity of the frozen area growth, being this increase more notable for concentrations around 0.6 to 1% of pectin and lower to 8% of sucrose. The freezing method did not present significant effect on the rheological parameters, soluble solid contents and water activity.

Keywords: *Frozen fruit pulp; Additives; Freezing; Rheology; Microstructure.*

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

1 Introdução

No Brasil, a maior parte da produção de alimentos, principalmente a de origem vegetal, é sazonal e o desenvolvimento de métodos essenciais que prolonguem o período de armazenamento se faz necessário. O Brasil é um dos maiores produtores em vários mercados de frutas, sendo notável a grande variedade destes itens no mercado.

O Estado de Minas Gerais apresenta microclimas característicos com grande produção e potencial para a exploração de frutíferas tropicais e subtropicais. Nos últimos anos houve grande expansão aumentando de maneira significativa a influência desta atividade na economia do estado e principalmente na renda familiar de pequenos agricultores. Grande parte desta produção é comercializada *in natura* impedindo qualquer processo de aumento da produção. O grande desafio é tornar pequenas agroindústrias aptas a diversos processamentos, agregando valores e produzindo produtos de qualidade (RAMOS e MENDONÇA, 2002).

A conservação na forma de sucos, polpas e outros produtos foi desenvolvida para aumentar o oferecimento das frutas e para utilização dos excedentes de produção. A polpa de fruta congelada é o produto obtido da parte comestível após trituração e/ou despulpamento e preservação por congelamento. Sua utilização é quase sempre como matéria-prima para processamento de outros produtos como néctares, sucos, geleias, sorvetes e doces. O suco de maracujá pode ser obtido em dois níveis de concentração: com 14 °Brix (pronto para beber) ou com 50 °Brix na sua forma concentrada (TEIXEIRA, 2005).

Certas substâncias podem ser usadas como crioprotetores em alimentos, reduzindo a formação de gelo pela redução do conteúdo de água congelável, prevenindo deste modo o dano às membranas celulares, minimizando a atividade enzimática e a deterioração texturométrica (CARNEIRO, 2001).

Quando a fruta é congelada na forma de polpa, o efeito do processo de congelamento é verificado pela alteração na consistência da polpa e através de mudanças em suas composições causadas por reações químicas durante o armazenamento posterior. A consistência da polpa e a aparência global são mais bem mantidas quando a polpa é congelada rapidamente (WANG e CHANG, 1994).

Polpas de frutas com adição de pectina e sacarose têm sido usadas como matéria-prima em diversos processos tais como na fabricação de geleias, doces, sorvetes e picolés. O uso destes aditivos afeta o comportamento reológico da polpa de fruta alterando a concentração de componentes em relação à polpa original e conseqüentemente as características físico-

químicas e microestruturais dos produtos obtidos nas etapas posteriores do processamento como no congelamento e descongelamento (FERNANDES, 2008).

O processo de congelamento é extremamente dependente das propriedades relacionadas ao produto. O conhecimento dos fatores que interferem na mudança de estado da polpa é substancial para o monitoramento e controle do cristal de gelo e da qualidade do produto congelado (GEORGE, 1993). A incorporação de aditivos em diferentes concentrações na polpa é capaz de modificar o comportamento dinâmico do congelamento e a disposição das moléculas de água no estado cristalino.

Em diferentes sistemas essas substâncias promovem estruturas específicas (hexagonal, arbórea ou esférica) de grande relevância porque caracteriza as interações nos sistemas polpa-cristal de gelo (CARNEIRO, 2001). Também influenciam no número e tamanho dos cristais de gelo durante o congelamento e velocidade de escoamento.

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (FERREIRA et al., 2002).

O comportamento reológico dos sucos de frutas, em geral, não pode ser descrito por uma equação newtoniana. O modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) é uma das equações mais utilizadas para descrever o comportamento não-newtoniano de fluidos (Equação 1).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

onde: τ - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); K – índice de consistência (Pa. s^n); n- índice de comportamento do fluido (adimensional).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do congelamento e da adição de sacarose e pectina no comportamento reológico, no teor de sólidos solúveis e na atividade de água das polpas de maracujá; e estabelecer uma correlação entre a concentração de aditivos, comportamento reológico e a velocidade de congelamento em microcongelador.

2 Material e métodos

2.1 Preparo das amostras

O fruto do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa) utilizado neste trabalho foi obtido em proprie-

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

dades da região do município de Lavras – MG no mês de março de 2007.

Para a obtenção das polpas, as frutas foram higienizadas, processadas com a utilização de micro-processador (Braun AG 4243) e refinadas em peneira Granutest com abertura de 1,2 mm (correspondente a Tyler = 14, 14 malhas por polegada e ABNT = 16) para o maracujá.

As polpas foram adicionadas de sacarose e pectina cítrica, cujas concentrações estão relacionadas na seção 2.7 (delineamento experimental), e homogeneizadas com o auxílio do misturador Turratex TE-102.

2.2 Caracterização físico-química

As análises foram realizadas com as polpas de maracujá sem aditivos e com adição de sacarose e pectina, antes do congelamento e depois do descongelamento. O descongelamento foi feito em temperatura ambiente controlada de 19 °C, conforme método 974.12 (a) (AOAC, 1990).

2.2.1 Determinação de sólidos solúveis

A determinação de sólidos solúveis foi feita por refratometria segundo o método 932.12 da AOAC (1990) com o uso do refratômetro digital da marca ATAGO PR-100. Os resultados foram expressos em °Brix.

2.2.2 Determinação da atividade de água

A atividade de água (A_w) das amostras foi obtida por leitura direta no termo-higrômetro AQUA-LAB digital, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., EUA) com temperatura controlada de $25,0 \pm 0,5$ °C.

2.3 Determinação de cor

A coloração das polpas foi mensurada com colorímetro eletrônico Minolta Chroma Meter CR 2000 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan) a 25 °C. Neste sistema de representação de cor, os valores L^* , a^* e b^* descrevem a uniformidade da cor no espaço tridimensional, em que o valor L^* corresponde a quão claro e quão escuro é o produto analisado (0: preto; 100: branco). Os valores de (a^*) correspondem à escala do verde ao vermelho (a^* negativo, verde; a^* positivo, vermelho) e os valores de (b^*) correspondem à escala do azul ao amarelo (b^* negativo, azul; b^* positivo, amarelo).

A tonalidade (a^*/b^*) e a saturação ($a^{*2} + b^{*2}$) foram calculadas. O cálculo do índice colorimétrico diferença de cor (ΔE^*) foi obtido pela equação (2).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (2)$$

onde: ΔE^* - valor para diferença de cor; ΔL^* - diferença entre a leitura L^* da amostra antes de congelar e a leitura

L^* da amostra descongelada; Δa^* - diferença entre a leitura a^* da amostra antes de congelar e a leitura a^* da amostra descongelada; Δb^* diferença entre a leitura b^* da amostra antes de congelar e a leitura b^* da amostra descongelada

2.4 Congelamento

Para verificar os efeitos do meio e da taxa de congelamento sobre o comportamento reológico, polpas de maracujá foram embaladas em potes de polietileno (1 L) e congeladas em ar estático, por imersão em banho ultratermostático (Nova Ética, modelo 521/3DE) e em túnel de congelamento com ar forçado, todos a -20 °C.

2.5 Comportamento reológico

A caracterização do comportamento reológico dos sistemas constituídos de polpas de maracujá adicionados de sacarose e pectina antes e após congelamento/descongelamento foi feita através de leituras em unidades de torque utilizando o viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, com precisão de leituras de $\pm 1,0\%$ e faixa de medição de 100 mPa.s a 8.000 Pa.s, a 25 °C.

Foram utilizadas as velocidades de 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 20; 50 e 100 rpm, a partir de um volume de 500 mL de amostra em béquer de 600 mL. Para as polpas de maracujá foram utilizados os *spindles* 2, 3 e 4 de acordo com o limite de leitura na velocidade máxima.

Foi utilizada a metodologia de Mitschka (BRIGGS e STEFFE, 1997) para a transformação das leituras em medidas reológicas (tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente).

2.6 Análises microestruturais

Os estudos da microestrutura de cristais de gelo nas polpas foram feitos através da visualização das amostras durante o congelamento por microscopia fotônica em um microscópio (MEIJI, ML 5000) dotado de sistema de *Cold Stage* de Peltier com temperatura controlada, com filtro de luz polarizada e acoplada a um sistema de vídeo captura. Fotomicrografias foram obtidas em intervalos de 1 s após o início do movimento da frente de congelamento.

O aumento da área congelada em função do tempo foi analisado para as polpas de maracujá através de um *software* analisador de imagens (Sigma Scan-Pro 5.0).

2.7 Delineamento experimental

Para experimentos com polpas de maracujá foi montado um planejamento seguindo uma estrutura fatorial 3^3 em um delineamento de blocos casualizados (repetições no tempo). Os fatores foram concentrações de sacarose, concentrações de pectina e método de

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

congelamento. Os níveis foram 0, 10 e 20%; 0, 0,5 e 1,0%; e ar estático, banho ultratermostático e câmara com ar forçado, respectivamente. As amostras foram analisadas antes de congelar e depois de descongeladas, ambas a 25 °C, em triplicata. O descongelamento foi realizado à temperatura ambiente.

A regressão não-linear foi adotada para ajustar os dados da análise do comportamento reológico dos tratamentos ajustados pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), e avaliada quanto ao parâmetro estatístico coeficiente de determinação (R^2). Estas análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os softwares R[®] versão 2.4.1 (R, 2006) e Statistica versão 6.0 (Statsoft[®]).

Os dados aplicados à metodologia de superfícies de resposta foram analisados utilizando softwares Statistica versão 6.0 (Statsoft[®]) para as variáveis respostas teor de sólidos solúveis totais, atividade de água e cor e Minitab 14 para a variável área ocupada pelos cristais de gelo.

3 Resultados e discussão

3.1 Sólidos solúveis totais e atividade de água

A Figura 1 mostra a variação do teor de sólidos solúveis em relação à adição de sacarose e pectina nos tratamentos não submetidos ao congelamento. Neste caso a adição destes compostos aumenta o teor de sólidos solúveis da polpa de maracujá.

As superfícies das amostras que sofreram congelamento tiveram comportamento semelhante ao mostrado na superfície das amostras antes do congelamento, sendo

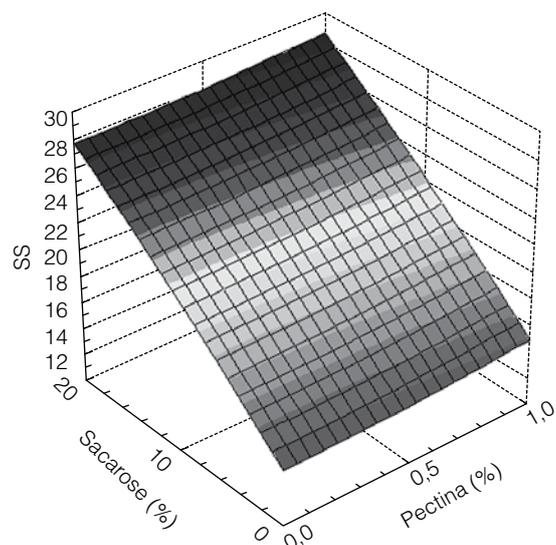


Figura 1. Superfície de resposta do teor de sólidos solúveis - relação entre as porcentagens de adição de sacarose e de pectina para polpa de maracujá antes do congelamento.

a variação deste parâmetro estatisticamente não significativa para o processo de congelamento.

A Figura 2 mostra a variação da atividade de água em relação à adição de sacarose e pectina. A adição destes componentes diminuiu a atividade de água da polpa de maracujá. A ligação entre a sacarose e a pectina com a água diminuiu a disponibilidade de água livre no meio, diminuindo a atividade de água das amostras mais concentradas.

Pelos intervalos de confiança com probabilidade de 5% para as médias dos valores preditos de sólidos solúveis e atividade de água, a variável "método de congelamento" não foi significativa.

3.2 Efeito do método de congelamento sobre o comportamento reológico de polpas de maracujá adicionadas de sacarose e pectina

Na Figura 3 são mostrados os pontos experimentais (médias das triplicatas) e as curvas de ajuste ao modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para os tratamentos antes de congelar (a) e depois de descongelados que sofreram congelamento pelos métodos: ar estático - freezer (b), câmara de ar forçado (c) e banho termostático (d).

Segundo Steffe (1996), os modelos das curvas dos ajustes de todos os tratamentos mostraram que as polpas se comportam como fluidos pseudoplásticos.

A Tabela 1 mostra os parâmetros do modelo utilizado para os ajustes dos dados experimentais (K: coeficiente de consistência, n: índice de comportamento do fluxo) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2). Os valores de "n" estão abaixo da unidade, comprovando

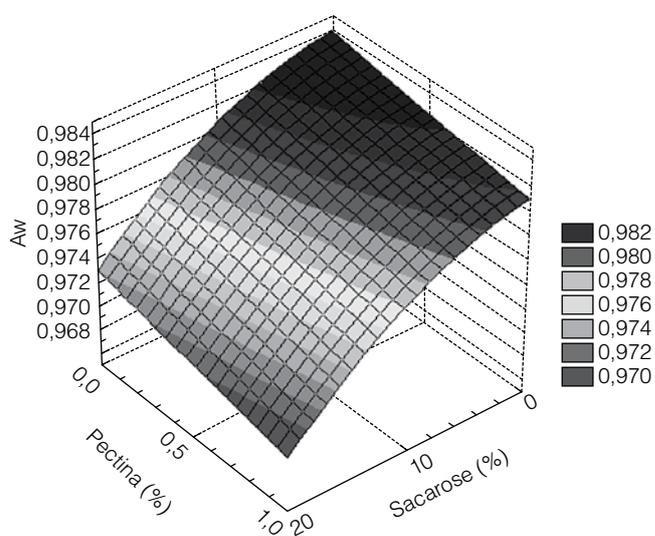


Figura 2. Superfície de resposta da atividade de água - relação entre as porcentagens de adição de sacarose e de pectina para polpa de maracujá antes do congelamento.

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

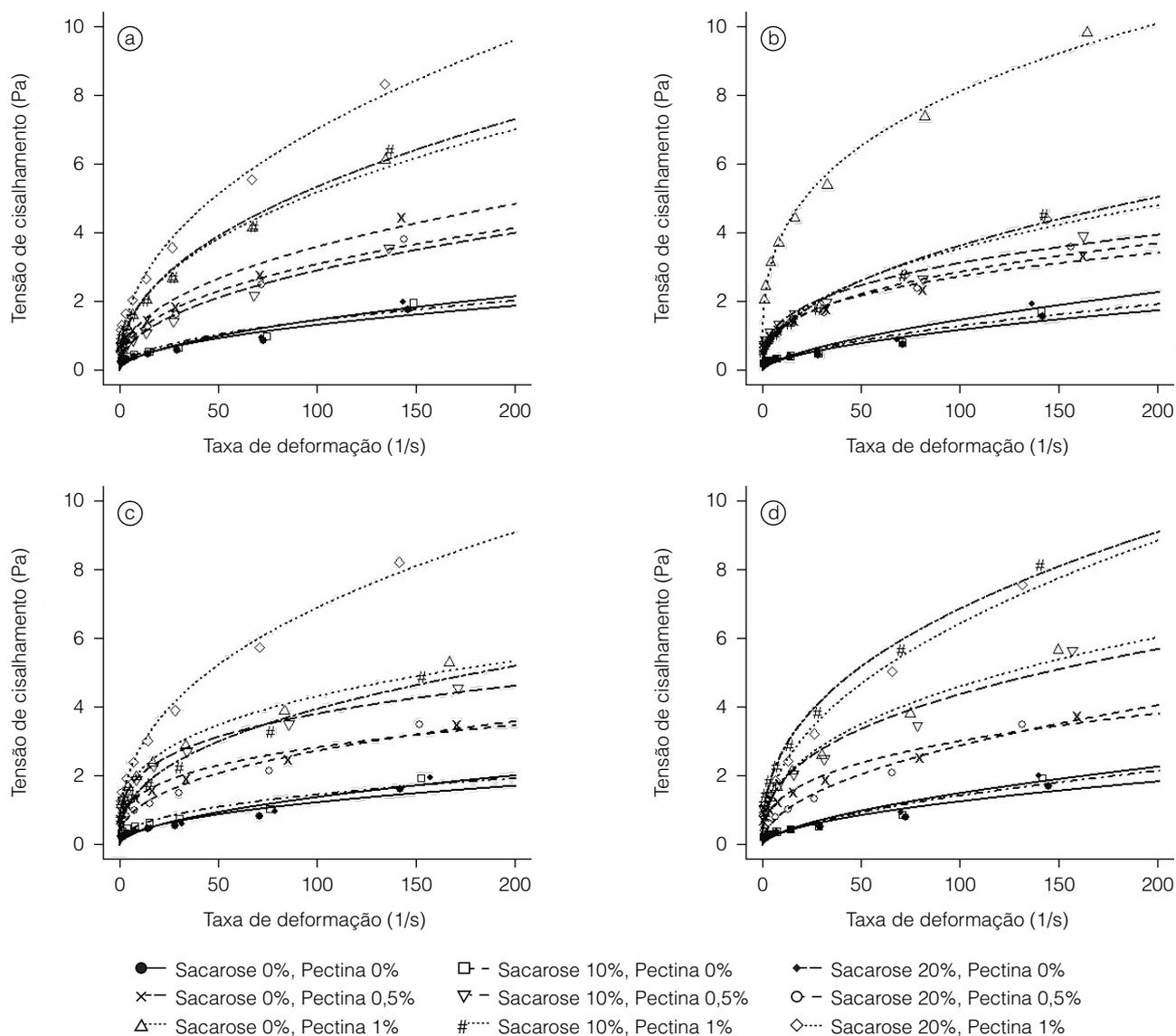


Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (1/s) para polpa de maracujá antes do congelamento (a) e depois de descongelado pelo respectivo método (Freezer - b, câmara de Ar forçado - c e banho termostático - d).

o caráter pseudoplástico segundo Steffe (1996). Este comportamento foi encontrado também por Ferreira et al. (2002) em polpa de goiaba e por Cabral et al. (2002) em polpa de cupuaçu. Os valores de R^2 encontrados mostram o bom ajuste do modelo estudado.

Na Figura 3 observa-se que as disposições das curvas demonstram viscosidades distintas entre os tratamentos.

Na Figura 3a que mostra o comportamento das polpas antes de congelar, observa-se a divisão de três grupos: as 3 curvas inferiores (menores valores de tensão de cisalhamento) correspondem aos tratamentos sem adição de pectina; as 3 medianas, aos tratamentos com 0,5% de pectina; e as 3 superiores, aos tratamentos com 1,0% de pectina. Como a tensão de cisalhamento é uma medida diretamente proporcional à viscosidade (PATIL e

MAGDUM, 2006), observa-se que existe um aumento de viscosidade com o aumento da concentração de pectina na amostra.

Os tratamentos sem pectina nos três níveis de sacarose nas amostras descongeladas (b, c e d) apresentaram comportamentos semelhantes aos das amostras sem congelar (a).

Na Figura 4 observa-se que as curvas de viscosidade aparente em relação à taxa de deformação nos tratamentos congelados no freezer e descongelados descrevem comportamento pseudoplástico confirmando as análises anteriores. Este tipo de fluido não-Newtoniano diminui a viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. Este comportamento foi semelhante nos outros métodos de congelamento e nas amostras antes de congelar.

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros do modelo Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) para polpa de maracujá.

	Sacarose (%)	Pectina (%)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	R ² (%)
Antes do congelamento	0	0,0	0,133	0,500	0,952
		0,5	0,502	0,428	0,983
		1,0	0,698	0,435	0,993
	10	0,0	0,165	0,474	0,951
		0,5	0,354	0,458	0,985
		1,0	0,673	0,450	0,991
	20	0,0	0,117	0,551	0,950
		0,5	0,446	0,421	0,987
		1,0	0,875	0,452	0,993
Freezer	0	0,0	0,087	0,567	0,954
		0,5	0,615	0,324	0,992
		1,0	1,920	0,313	0,995
	10	0,0	0,094	0,570	0,953
		0,5	0,670	0,335	0,988
		1,0	0,413	0,473	0,987
	20	0,0	0,083	0,626	0,959
		0,5	0,533	0,365	0,986
		1,0	0,476	0,437	0,985
Câmara de ar forçado	0	0,0	0,143	0,470	0,955
		0,5	0,738	0,293	0,989
		1,0	1,049	0,308	0,992
	10	0,0	0,234	0,400	0,953
		0,5	1,060	0,278	0,997
		1,0	0,646	0,394	0,990
	20	0,0	0,118	0,537	0,959
		0,5	0,452	0,391	0,976
		1,0	1,114	0,396	0,994
Banho termostático	0	0,0	0,107	0,538	0,952
		0,5	0,638	0,338	0,988
		1,0	0,770	0,389	0,991
	10	0,0	0,099	0,583	0,951
		0,5	0,779	0,375	0,975
		1,0	1,068	0,404	0,995
	20	0,0	0,101	0,589	0,957
		0,5	0,305	0,489	0,987
		1,0	0,785	0,457	0,994

3.3 Efeito da adição de sacarose e pectina na cor da polpa de maracujá congelada

No espaço de cores L* a* b*, a diferença de cor pode ser expressa com um único valor, ΔE^* . Pelos dados encontrados a partir da análise de variância dos parâmetros de cor observou-se que o ΔE^* teve como fonte de variação significativa (ao nível de 5% de probabilidade) a adição de pectina. A Equação 3 representa o modelo ajustado para este parâmetro, com coeficiente de determinação (R²) de 75,9%.

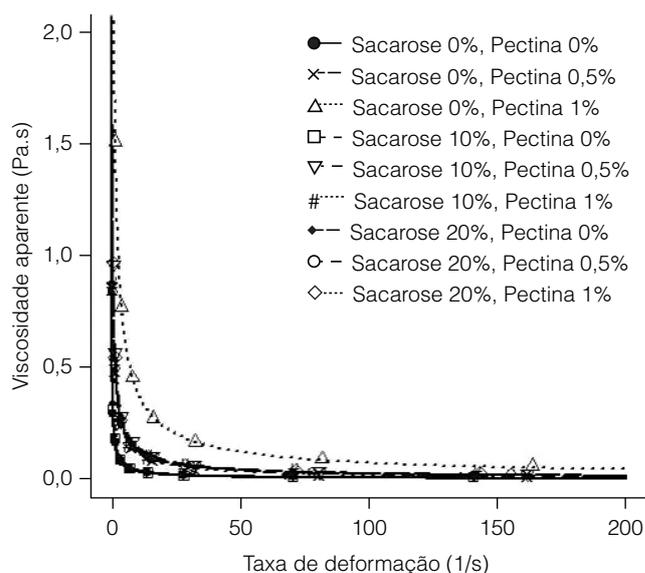


Figura 4. Relação entre viscosidade aparente (Pa.s) e taxa de deformação (1/s) para polpa de maracujá depois de descongelada (freezer).

$$\Delta E^* = 8,01041 + 0,01885 \text{ Sacarose} - 6,22058 \text{ Pectina} - 0,00417 \text{ Sacarose}^2 + 2,34849 \text{ Pectina}^2 + 0,06951 \text{ Sacarose} \cdot \text{Pectina} \quad (3)$$

A Figura 5 mostra a adição de pectina como determinante para a variação da diferença de cor entre as amostras antes e depois do congelamento. Pode-se observar que as amostras com menores níveis de adição de sacarose e pectina tiveram maior variação de cor (em torno de 8). No ponto de adição máxima, a diferença de cor foi 1,55 vez menor que na polpa sem adição de sacarose e pectina.

O parâmetro b* teve como fonte de variação significativa (ao nível de 5% de probabilidade) a pectina nos tratamentos antes de congelar e não teve fonte significativa nas amostras descongeladas. As Equações 4 e 5 representam os modelos ajustados para o parâmetro b*, com coeficientes de determinação de 79,1 e 81,3% para as amostras antes do congelamento e depois de descongeladas.

$$b^* = 32,8774 - 0,0641 \text{ Sacarose} + 9,6835 \text{ Pectina} - 0,0145 \text{ Sacarose}^2 - 7,2569 \text{ Pectina}^2 + 0,0147 \text{ Sacarose} \cdot \text{Pectina} \quad (4)$$

$$b^* = 31,0829 - 0,3756 \text{ Sacarose} + 5,6687 \text{ Pectina} - 0,0016 \text{ Sacarose}^2 - 3,4364 \text{ Pectina}^2 + 0,0455 \text{ Sacarose} \cdot \text{Pectina} \quad (5)$$

A pectina é um colóide hidrófilo natural, polissacarídeo, que consiste numa cadeia linear de moléculas ligadas com ácido galacturônico. As suas ramificações

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

se ligam à água em redor indisponibilizando-a (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

A sacarose e principalmente a pectina, por diminuir a atividade de água no meio, provavelmente diminuíram o processo de degradação dos carotenoides, principalmente β -carotenos, por retardarem a ação de

enzimas como a peroxidase (BOBBIO e BOBBIO, 2001). O β -caroteno, segundo Silva e Mercadante (2002), é o carotenoide majoritário podendo atingir cerca de 74% do total de carotenoides em maracujás, dando a cor amarela à polpa.

Em estudo sobre o efeito da luz, temperatura e oxidação na degradação de carotenoides, foi verificado que a intensificação destes fatores aumenta a velocidade de degradação dos carotenoides (UENOJO et al., 2007). As polpas de maracujá, enquanto congeladas, têm pequenas perdas destes compostos por estarem a baixas temperaturas. As polpas descongeladas não sofreram influência significativa da temperatura porque em condições ambientes as perdas de carotenoides ainda são baixas (UENOJO et al., 2007).

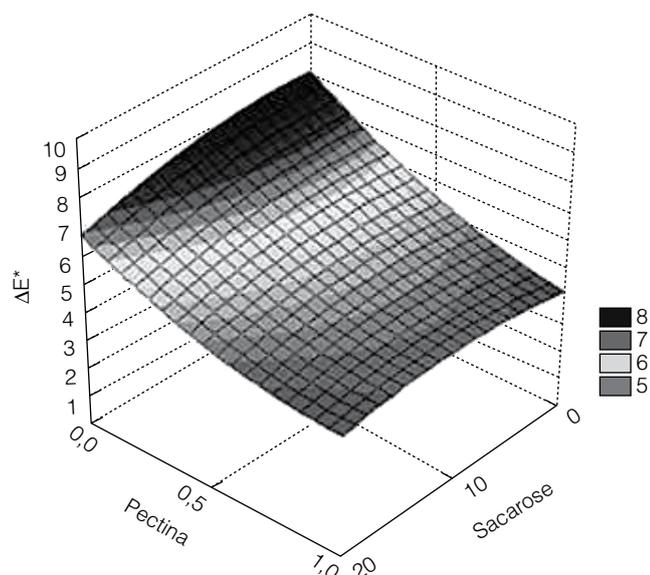


Figura 5. Superfície de resposta da diferença de cor (ΔE^*) - relação entre as porcentagens de adição de sacarose e de pectina para polpa de maracujá submetida a congelamento em câmara de ar forçado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.4 Influência dos aditivos sobre a dinâmica de congelamento de polpas de maracujá

Em uma tentativa de correlacionar e verificar os efeitos do comportamento reológico dos sistemas de polpas de maracujá adicionadas de sacarose e pectina com a dinâmica e microestruturação dos cristais de gelo durante o congelamento, foram obtidas fotomicrografias em microcongelador e o desenvolvimento da frente de congelamento e a morfologia dos cristais foram analisados nestes sistemas.

A Figura 6 mostra fotomicrografias selecionadas em intervalos de tempo de 0, 2, 6, 8 e 10 s após o início

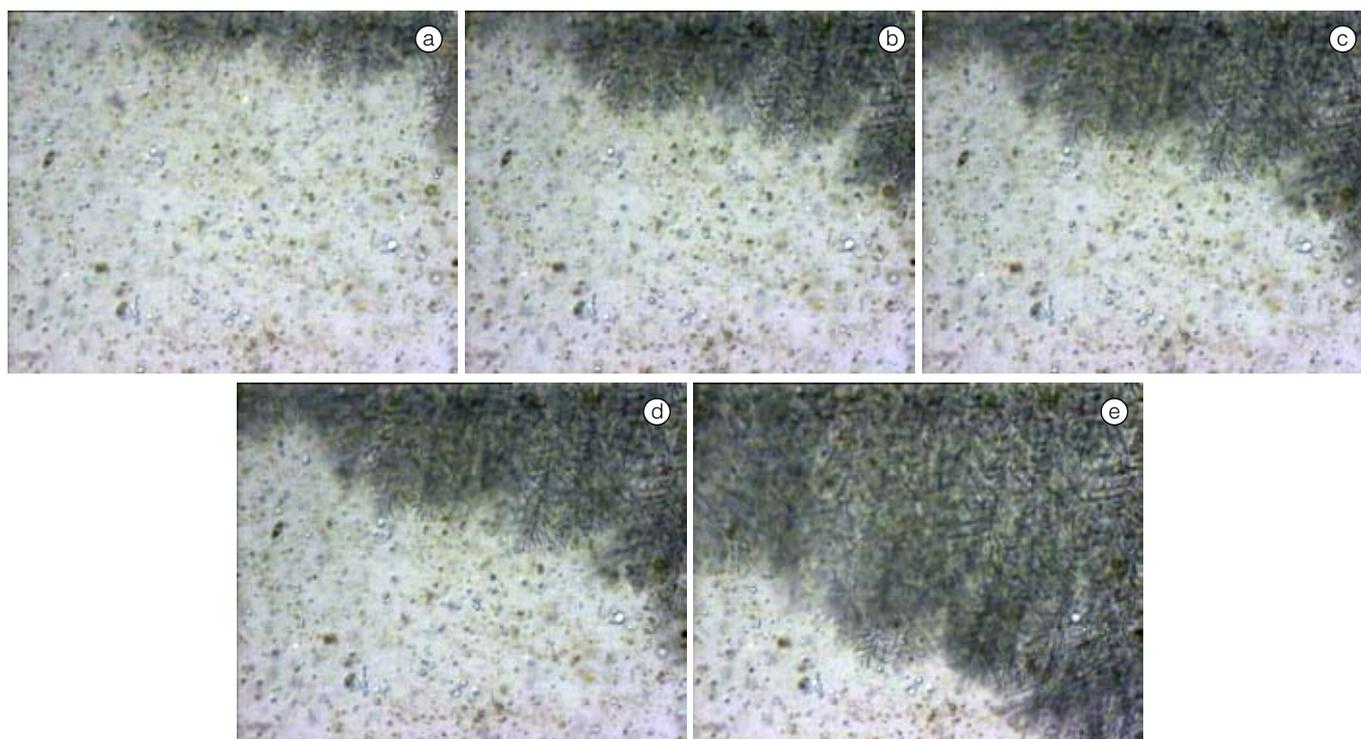


Figura 6. Fotomicrografias das polpas de maracujá com adição de 17,1% de sacarose e 0,85% de pectina nos tempos 2 (a), 4 (b), 6 (c), 8 (d) e 10 (e) s durante a cristalização.

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

do congelamento de sistemas constituídos de polpas de maracujá com adição de 17,1% de sacarose e 0,85% de pectina.

A Figura 7 mostra a variação da área ocupada pelos cristais de gelo em função das concentrações de pectina e sacarose nos tempos de 0, 2, 6, 8 e 10 s, quantificada usando o *software* analisador de imagens.

Observa-se nas Figuras 6 e 7 que o movimento da frente de congelamento ocorre com maior velocidade seguindo uma relação inversa em tratamentos em que altas concentrações de sacarose estão associadas a baixas concentrações de pectina, concentrações intermediárias

de sacarose e pectina e altas concentrações de pectina estão associadas a baixas concentrações de sacarose.

Em termos do comportamento reológico e dos resultados apresentados, a Figura 7 mostra que existe um efeito interativo entre os fatores sacarose e pectina sobre a viscosidade aparente dos sistemas que pode interferir na velocidade da frente de congelamento, indicando que possa existir uma combinação de concentrações de sacarose e pectina ótima em que a interação sinérgica entre os componentes da polpa e aditivos disponibilize maior quantidade de água livre no meio favorecendo a mobilidade da frente de congelamento.

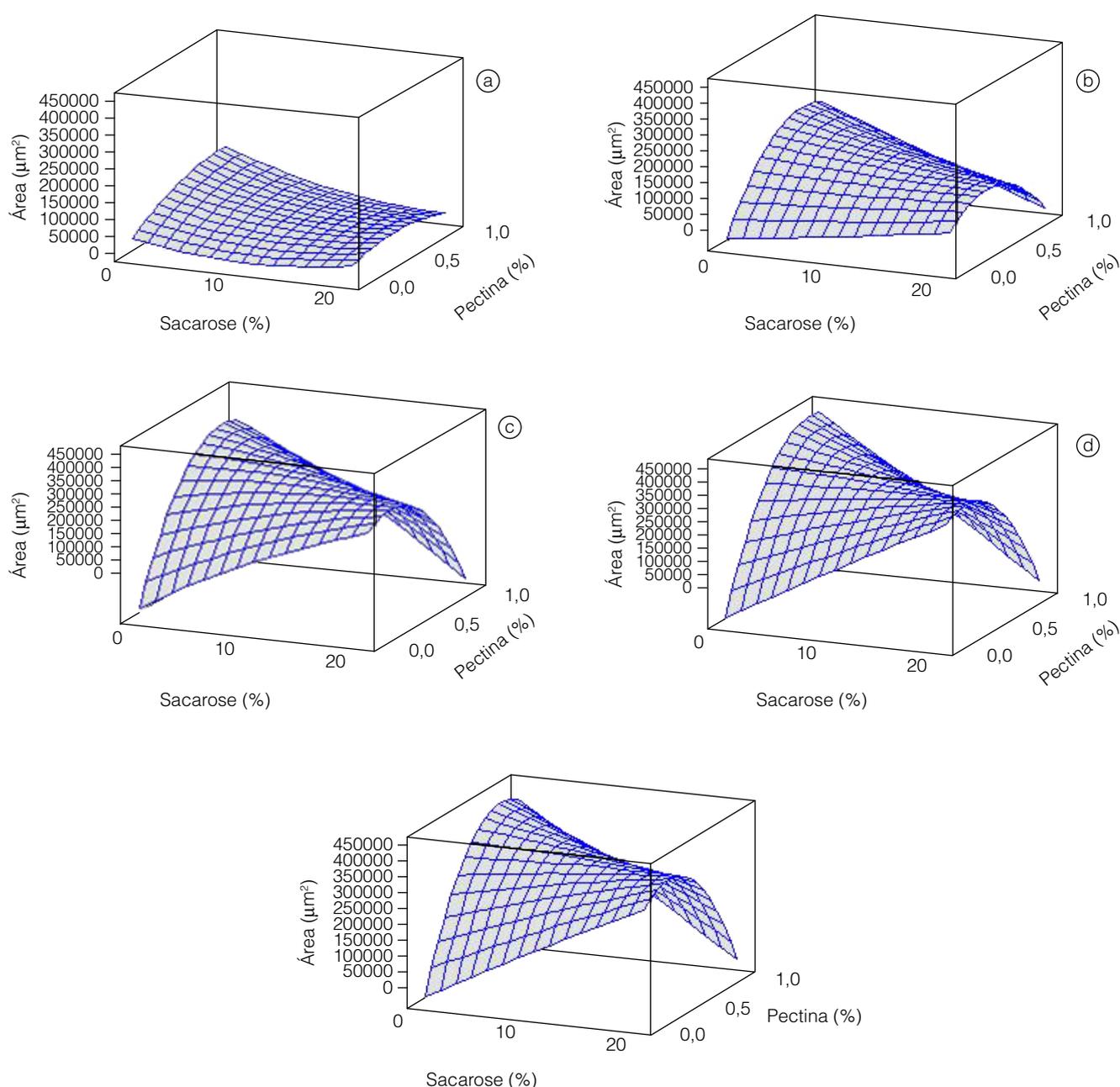


Figura 7. Variação da área ocupada pelos cristais de gelo no congelamento de polpas de maracujá em função das concentrações de pectina e sacarose nos tempos de (a) 2, (b) 4, (c) 6, (d) 8 e (e) 10 s após início do congelamento.

Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina

FERNANDES, T. N. et al.

Os resultados das Figuras 6 e 7 mostram que a adição de pectina teve influência significativa na velocidade de aumento da área congelada sendo este aumento mais notável para concentrações em torno de 0,6 a 1% de pectina e inferiores a 8% de sacarose.

4 Conclusões

As polpas de maracujá adicionadas de 0, 10 e 20% de sacarose e 0, 0,5 e 1,0% de pectina (em todas as combinações) antes de congelar e depois de descongeladas (submetidas aos métodos de congelamento ar estático - freezer, câmara de ar forçado e banho termostático a -20 °C) apresentaram comportamento pseudoplástico.

A equação de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) resultou em bons ajustes aos dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os sistemas constituídos de polpas de maracujá adicionadas de pectina e sacarose.

A diferença de cor (ΔE^*) entre as amostras de polpa de maracujá, submetidas ou não ao congelamento, foi maior nas amostras sem adição de sacarose e pectina.

As condições de temperatura das amostras e a atividade de água das polpas mais concentradas favoreceram a preservação da cor nas polpas de maracujá.

Em polpas de maracujá, o movimento da frente de congelamento ocorre com maior velocidade seguindo uma relação inversa em tratamentos: altas concentrações de sacarose estão associadas a baixas concentrações de pectina, concentrações intermediárias de sacarose e pectina e altas concentrações de pectina estão associadas a baixas concentrações de sacarose.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro à pesquisa e à FAPEMIG pela concessão de bolsas de estudo.

Referências

- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 143 p.
- BRIGGS, J. L.; STEFFE, J. F. Using Brookfield data and the Mitschka method to evaluate Power Law foods. **Journal of Texture Studies**, Oxford, v. 28, n. 5, p. 517-522, 1997.
- CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 37-40, 2002.
- CARNEIRO, C. S. **Estruturação de cristais de gelo e sua influência no dano celular**. 2001. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CUNNIF, P. **Official methods of analysis**. 15 ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists - AOAC, 1990. 1298 p.
- FERNANDES, T. N. **Relação entre a adição de sacarose e pectina, comportamentos reológicos e dinâmicas do congelamento e descongelamento de polpas de morango e abacaxi**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; CONCEIÇÃO, R. S.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002.
- GEORGE, R. M. Freezing Processes Used in the Food Industry. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 4, n. 5, p. 134-138, 1993.
- PATIL, S. S.; MAGDUM, C. S. **Rheology and methods of analysis**, 2006. Disponível em: <http://www.pharmainfo.net/exclusive/reviews/rheology_and_methods_of_analysis/>. Acesso em: 12 de Fevereiro de 2007.
- RAMOS, J. D.; MENDONÇA, V. Situação da fruticultura no município de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, Edição especial, p. 1594-1598, 2002.
- SILVA, S. R.; MERCADANTE, A. Z. Composição de carotenóides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa) in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 254-258, 2002.
- STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 418 p.
- TEIXEIRA, S. T. Mercado exportador: a análise para cultura do maracujá, 2005. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>>. Acesso em: 14 de Maio de 2007.
- UENOJO, M.; MARÓSTICA Jr., M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.
- WANG, C. C. H.; CHANG, K. C. Beet pulp and isolated pectin physicochemical properties as related to freezing. **Journal of Food Science**, Oxford, v. 59, n. 6, p. 113-1154, 1994.