



## Predição da massa específica da polpa de acerola a partir de modelos matemáticos

### Prediction of acerola pulp specific mass from mathematical models

Helena Cristina Dantas<sup>1</sup>; João Carlos Soares de Melo<sup>1</sup>; Relyson Gabriel Medeiros de Oliveira<sup>2</sup>; Adair Divino Silva Badaró<sup>3</sup> & Ênio Rafael de Medeiros Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pós-graduandos em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN, e-mail: helenacrisdantas@gmail.com; jcarlosmequi@hotmail.com;

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, e-mail:relysonrn@gmail.com;

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Têxtil, Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN, e-mail:adair.badaro@ifrn.edu.br;

<sup>4</sup> Professor D.Sc. em Engenharia Química, Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN, e-mail: enio.medeiros@ifrn.edu.br.

**RESUMO-** Os modelos matemáticos para predição das propriedades termofísicas evoluíram e representam uma oportunidade significativa de melhorar a eficiência de tratamentos térmicos no processamento de alimentos, se tornaram uma alternativa viável na substituição da determinação experimental. Diante disso, foram propostas equações polinomiais para descrever o comportamento da massa específica da polpa de acerola em função da temperatura (10 a 50 °C) e concentração (8,2, 7,2 e 6,2 °Brix). A massa específica foi determinada usando picnômetros, enquanto a concentração de sólidos solúveis (°Brix) da polpa foi realizada através de leitura direta com auxílio de um refratômetro portátil modelo RT-30ATC. Foram utilizadas equações polinomiais de dois, três e quatro termos com a massa específica da polpa de acerola em função da temperatura e uma equação de quatro termos com massa específica dependente da temperatura e concentração. A massa específica da polpa de acerola tendeu a diminuir com o aumento da temperatura e aumentar com o aumento da concentração de sólidos solúveis (°Brix). O modelo polinomial que melhor se ajustou aos dados experimentais, nas três concentrações (8,2, 7,2 e 6,2 °Brix), foi o de quatro termos, pois seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram maiores que 0,99. Enquanto o modelo matemático de quatro termos em função da temperatura e concentração apresentou ajuste satisfatório, com  $R^2 > 0,97$ .

**Palavras-chave:** Densidade. Polpa de fruta. *Malpighia emarginata*. Temperatura.

**ABSTRACT-** The mathematical models for the prediction of thermophysical properties have evolved and represent a significant opportunity to improve the efficiency of thermal treatments in food processing. Thus, these models became viable alternative in the substitution of experimental determination. Therefore, polynomial equations were proposed to describe the behavior of the specific mass of the acerola pulp as a function of temperature (10 to 50°C) and concentration (8.2, 7.2 and 6.2 °Brix). The specific mass was determined using pycnometers, while the soluble solids concentration (°Brix) of the pulp was performed by direct reading using a portable refractometer model RT-30ATC. Two -, three - and four - term polynomial equations were used with the specific mass of the acerola pulp as a function of temperature and a four - temperature equation with a specific mass dependent on temperature and concentration. The specific mass of the acerola pulp tended to decrease with increasing temperature and increase with increasing soluble solids concentration (°Brix). The polynomial model that best fit the experimental data, in the three concentrations (8.2, 7.2 and 6.2 °Brix), was the four terms, since their coefficients of determination ( $R^2$ ) were higher than 0.99. While the mathematical model of four terms as a function of temperature and concentration presented a satisfactory fit, with  $R^2 > 0.97$ .

**Keywords:** Density. Fruit pulp. *Malpighia emarginata*. Concentration; Temperature.

## INTRODUÇÃO

O aumento no consumo e comercialização de polpa de frutas vem crescendo significativamente a cada ano já que as pessoas estão buscando produtos mais saudáveis e com maior praticidade. Além disso, as polpas de fruta surgem como uma alternativa de conservação das frutas produzidas nos períodos de safra, já que as frutas são altamente perecíveis chegando a deteriorar-se com facilidade. Dessa forma, pode-se ter matéria prima com facilidade e preço mais acessível nos períodos mais favoráveis e podem ser comercializadas de acordo com a demanda do mercado consumidor (COSTA; CARDOSO; SILVA, 2013).

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é um fruto tropical de grande valor econômico e nutricional. Apresenta um bom rendimento de polpa, tornando-se um grande potencial para industrialização, podendo ser utilizada na forma de compotas, geleias, enriquecimento de sucos e de alimentos dietéticos, barras nutritivas e iogurte (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; MERCALI et al., 2012).

No processamento das polpas de frutas ocorre a aplicação de processos térmicos que envolvem transferência de calor como: aquecimento, resfriamento e congelamento. A otimização dos processos e o dimensionamento adequado dos equipamentos representam um grande ganho energético e econômico, tanto para a indústria processadora, quanto para amenizar o problema de geração de energia. Para tal otimização, faz-se necessário o conhecimento do comportamento da massa específica nas condições de processamento uma vez que a transferência de calor e massa durante o processamento do alimento altera esta propriedade. Por esta razão, torna-se necessário o conhecimento dos seus valores, em função da temperatura de processamento e da concentração de sólidos solúveis (BOLZAN; SOUZA, 2007).

Vários pesquisadores vêm estudando o comportamento das polpas de frutas em função da temperatura, sólidos solúveis e sólidos totais como: Pereira, Queiroz e Figueirêdo (2002) Araújo, Queiroz e Figueirêdo (2002), Cavalcanti Mata, Duarte e Zanini (2005), Dantas Júnior Queiroz e Figueirêdo (2007), Mattos e Medeiros (2008), que estudaram, respectivamente, a massa específica da polpa de açaí, cupuaçu sob diferentes temperaturas, cajá com diferentes concentrações de sólidos solúveis, manga espada e frutas tropicais (maracujá, tangerina poncã, graviola, caju e acerola). A variação da massa específica em função da temperatura pode ser

Os cálculos da massa específicas foram realizados de acordo com a equação 1.

$$\rho = m/v \quad (1)$$

Sendo:

$\rho$  - Massa específica do produto ( $\text{kg.m}^{-3}$ );

$v$  - Volume do picnômetro ( $\text{m}^3$ );

$m$  - Massa do produto (kg).

A determinação da concentração de sólidos solúveis (°Brix) da polpa de acerola foi realizada através de leitura direta com auxílio de um refratômetro portátil modelo RT-30ATC, com escala de 0 a 32 °Brix, devidamente calibrado e ajustado a 20°C com água destilada, e os resultados expressos em °Brix.

Na modelagem matemática da massa específica da polpa foram utilizados os modelos polinomiais com dois

verificada ao analisar a contração ou expansão da polpa durante o seu resfriamento ou aquecimento, respectivamente.

Os modelos matemáticos para predição das propriedades termofísicas evoluíram e representam uma oportunidade significativa de melhorar a eficiência de tratamentos térmicos no processamento de alimentos, além de apresentar um grande potencial para tornar-se uma alternativa viável na substituição da determinação experimental destes parâmetros, o qual pode ser muito dispendioso (EGEA; REIS; DANESI, 2015). Alguns pesquisadores já aplicaram modelos matemáticos para prever o comportamento da massa específica da polpa de fruta, como: Dantas Júnior Queiroz e Figueirêdo (2007) e Alves et al. (2016) ao utilizar as equações lineares e quadráticas para predição da massa específica da polpa da manga espada e suco de laranja, respectivamente. Egea, Reis e Danesi (2015) ao proporem a modelagem matemática com o intuito de estimar a massa específica do palmito pupunha, observaram que esta pode ser uma forma eficiente, já que simula condições reais de processamento a fim de prever o seu comportamento.

Dessa forma, pretende-se nesse trabalho determinar experimentalmente a massa específica da polpa de acerola em diferentes temperaturas e concentrações e estabelecer uma correlação entre a massa específica da polpa de acerola com os parâmetros temperatura e concentração (°Brix), a partir da aplicação de modelos matemáticos polinomiais para predição desta propriedade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As acerolas foram adquiridas no comércio da cidade de Caicó-RN, as quais foram processadas e analisadas no laboratório de química do campus IFRN/CA. As acerolas foram lavadas em água corrente e depois imersas em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 p.p.m., durante 15 minutos; em seguida, foram enxaguadas e despolpadas utilizando um multiprocessador. Logo após, as polpas foram envasadas e armazenadas em um refrigerador.

As análises da massa específica das polpas de frutas foram realizadas em triplicata, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C e nas concentrações de 6,2, 7,2, e 8,2°Brix. Os picnômetros foram previamente calibrados com água destilada em cada temperatura do experimento e as temperaturas foram controladas através do banho termostato e por meio dos termômetros presentes nos próprios picnômetros.

termos (2), com três termos (3) e com quatro termos (4) descritos abaixo.

$$\rho = a + bT \quad (2)$$

$$\rho = a + bT + dT^2 \quad (3)$$

$$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3 \quad (4)$$

$$\rho = a + bC + dT + eC^2 \quad (5)$$

Onde: T – temperatura (°C); C -concentração (°Brix); a, b, d e e - constantes.

O ajuste dos modelos foi realizado pelo programa Statistica 5.0, usando o método Quasi-Newton por meio de análises de regressão não linear. O grau de ajuste de cada modelo foi considerado pela magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os dados da polpa de acerola foram analisados estatisticamente através do programa computacional Assistat, versão 7.7 Beta (SILVA E AZEVEDO, 2009).

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Têm-se na Tabela 1 os valores experimentais da massa específica da polpa de acerola nas temperaturas de 10 a 50 °C e concentrações de 6,2, 7,2 e 8,2 °Brix, em que

o aumento da temperatura, em todas as concentrações, tendeu a diminuir estatisticamente a massa específica da polpa de acerola de acordo com teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. O mesmo comportamento foi observado por Zainal et al. (2000) que ao estudarem o comportamento da densidade do suco de goiaba observaram que a massa específica do suco diminuiu com o aumento da temperatura. Segundo Mercali et al. (2011), a diminuição da densidade com a temperatura está relacionada ao fenômeno de expansão do volume, devido à energia fornecida ao sistema aumentar a velocidade de vibração das moléculas do fluido, aumentando a distância entre elas.

**Tabela 1:** Valores médios da massa específica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) da polpa de acerola em função da temperatura (°C).

TEMPERATURA (°C)	CONCENTRAÇÕES (°Brix)		
	6,2	7,2	8,2
10	1021,61 Ac	1027,64 aB	1035,49 Aa
20	1019,06 bC	1023,75 bB	1029,70 Ba
30	1015,82 cB	1021,48 bA	1023,41 Ca
40	1010,57 dB	1015,62 cA	1017,58 dA
50	1000,49 eB	1010,94 dA	1009,10 Ea

DMS LINHA = 2,0256; DMS COLUNA = 2,3923; MG = 1018,82  $\text{kg.m}^{-3}$ ; CV = 0,10%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. Enquanto as médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Nota-se também na Tabela 1 que a massa específica da polpa de acerola apresentou tendência de aumento com o aumento da concentração de sólidos solúveis (°Brix) presente na polpa em diferentes temperaturas, assim como foi observado por Lima, Queiroz e Figueirêdo (2003) ao analisar a massa específica da polpa de umbu-cajá nas concentrações de 10, 20 e 30 °Brix. Segundo Chin et al. (2008), o aumento da massa específica com o aumento dos sólidos solúveis deve-se a remoção de água deixando constituintes (proteínas, carboidratos e sólidos solúveis totais) da polpa mais concentrado.

Na Tabela 2 encontram-se três modelos de equações polinomiais que foram utilizadas para descrever o efeito da temperatura na massa específica da polpa de acerola e seus respectivos coeficientes de determinações nas concentrações de 8,2, 7,2 e 6,2 °Brix. Observa-se que o modelo polinomial que melhor se ajustou aos dados experimentais, nas três concentrações (8,2, 7,2 e 6,2 °Brix), foi o de quatro termos, pois seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram, respectivamente, iguais a

0,9997, 0,9945 e 0,9998, representando ótimos ajustes para os dados experimentais. Araújo, Queiroz e Figueirêdo (2002) estudando o comportamento da massa específica da polpa de cupuaçu na concentração de 9 °Brix e nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C, observaram que o modelo polinomial que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de quatro termos com o coeficiente de determinação igual a 0,999.

Verificam-se ainda na Tabela 2 que os modelos polinomiais de dois termos e de três termos também apresentaram valores de coeficientes de determinações ( $R^2$ ) satisfatórios, com os valores superiores a 0,96 e 0,99, respectivamente. Lima, Queiroz e Figueirêdo (2003) estudando a massa específica da polpa de umbu nas concentrações de 10, 20 e 30 °Brix e nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, propuseram equações lineares e de três termos para descrever a influência da temperatura na massa específica do umbu, os mesmos obtiveram valores de coeficientes de determinações maiores que 0,966, para os modelos lineares, e 0,967 para os modelos de três termos.

**Tabela 2** – Equações propostas para o cálculo da massa específica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) da polpa da acerola em função da temperatura (°C).

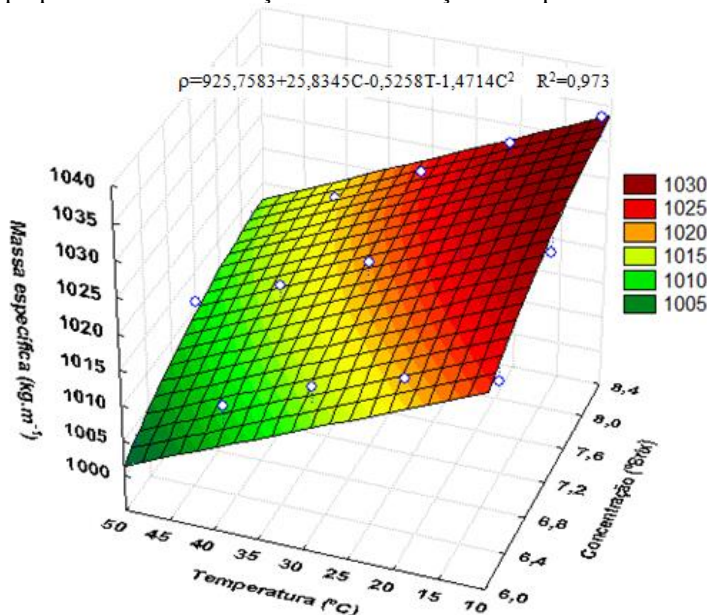
Concentração (°Brix)	Equação	a	b	d	e	$R^2$
8,2	$\rho=a+Bt$	1042,78	-0,6629	-	-	0,9963
	$\rho=a+bT+dT^2$	1039,86	-0,4134	0,0042	-	0,9991
	$\rho=a+bT+dT^2+eT^3$	1043,19	-0,8803	0,0136	-0,0002	0,9997
7,2	$\rho=a+Bt$	1032,02	-0,4101	-	-	0,9888
	$\rho=a+bT+dT^2$	1029,73	-0,0033	-0,0033	-	0,9931
	$\rho=a+bT+dT^2+eT^3$	1032,73	0,6354	0,0128	-0,0002	0,9945
6,2	$\rho=a+bT$	1028,73	-0,5044	-	-	0,9647
	$\rho=a+bT+dT^2$	1020,74	-0,1803	-0,0114	-	0,9987
	$\rho=a+bT+dT^2+eT^3$	1024,19	-0,3048	0,0071	-0,0002	0,9998

$\rho$  - Massa específica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ); T – Temperatura (°C); a, b, d, e – constantes

Tem-se na Figura 1 a superfície de resposta para o modelo matemático de quatro termos (equação 5) que descreve o comportamento da massa específica da polpa de acerola diminuindo em função do aumento da temperatura e o decréscimo da concentração. Percebe-se que o

comportamento da massa específica da polpa foi influenciado tanto pela temperatura como pela concentração, tendo o modelo proposto apresentado um ajuste satisfatório, com  $R^2=0,97$ .

**Figura 1** - Massa específica da polpa de acerola em função da concentração e temperatura.



Tendo em vista o comportamento da massa específica da polpa de acerola descrita na Figura 1, outros autores observaram o mesmo comportamento utilizando o modelo aplicado, como, Ramos e Ibarz (1997) estudando a densidade do suco de pêssgo em função da temperatura e da concentração (10 a 60 °Brix), concluíram que o modelo polinomial que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de quatro termos, pois obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,999. Guedes, Ramos e Diniz (2010) também aplicaram um modelo polinomial de quatro termos aos dados experimentais da massa específica da polpa de melancia, e observaram que este modelo foi o que apresentou melhor ajuste, no qual a massa específica variou de forma linear com a temperatura e de forma polinomial com a concentração. Sani, Hedayati e Arianfar (2014) também propuseram um modelo polinomial de quatro termos para prever o efeito da combinação da concentração e temperatura na massa específica do suco de melão e obtiveram coeficiente de determinação de 0,999.

## CONCLUSÕES

A massa específica da polpa de acerola tendeu a diminuir com o aumento da temperatura e aumentar com o aumento da concentração de sólidos solúveis (°Brix). O modelo polinomial que melhor se ajustou aos dados experimentais, nas três concentrações (8,2, 7,2 e 6,2 °Brix), foi o de quatro termos, pois seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram, respectivamente, igual a 0,9997, 0,9945 e 0,9998, embora os demais modelos polinomiais de dois termos e de três termos tenham obtido resultados satisfatórios quanto aos seus coeficientes de determinações ( $R^2$ ); valores esses superiores a 0,96 e 0,99, respectivamente. Enquanto o modelo matemático de quatro

termos em função da temperatura e concentração apresentou um bom ajuste, com  $R^2>0,97$ .

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Caicó e ao Campus Currais Novos pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.N.M.; SANTOS, D.A.; MELO, J.C.S.; COSTA, C.H.C.; FEITOSA, R.M. Efeito da temperatura na massa específica do suco da laranja. In: Congresso Brasileiro De Química, 56., Belém. **Anais eletrônicos...** Belém: ABQ, 2016. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/10/9153-17673.html>>. Acesso em: 01 de ago. 2017.
- ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum schum.*) sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 127-134, 2002.
- AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI D. C.; EL-AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 4, p. 413-417, 2005.
- BOLZAN, T. G.; SOUZA, D. Estudo do comportamento da massa específica de suco de laranja em função da temperatura e da concentração. In: Salão de iniciação científica, 19., 2007, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: UFRGS, 2007. P. 227.

- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; PRETE, C. E. C.; GONZALEZ, M. G. N.; POPPER, I. O. Novas cultivares de acerola (*malpighia emarginata* DC) EUL3- Dominga, UEL4- Lígia e UEL5- Natália. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 124-126, 2002.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ZANINI, H. L. H. T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*spondias lutea* L.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 2, p. 488-498, 2005.
- CHIN, N. L.; CHAN, S. M.; YUSOF, Y. A.; CHUAH, T. G.; TALIB, R. A. Prediction of Physico chemical Properties of Pummelo Juice Concentrates as a Function of Temperature and Concentration. *Int. J. Food Eng*, v. 4, p. 1-13, 2008.
- COSTA, D. O.; CARDOSO, G. R.; SILVA, G. M. V. A evolução do setor produtivo e comercialização de polpa de fruta no brejo paraibano: estudo de caso na COAPRODES. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33; 2013, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: ABEPRO, 2013. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_tn\\_stp\\_177\\_007\\_22751.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_stp_177_007_22751.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- DANTAS JÚNIOR, E. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Determinação e elaboração de modelos de predição da massa específica da manga espada. **Revista Educação Agrícola Superior - ABEAS**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 39-42, 2007.
- EGEA, M. B.; REIS, M. H. M.; DANESI, E. D. G. Aplicação de modelos matemáticos preditivos para o cálculo das propriedades termofísicas do palmito pupunha. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 179-187, 2015.
- GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.
- LIMA, I. J. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. especial, n. 1, p. 31-42, 2003.
- MATTOS, J. S.; MEDEROS, B. J. T. Densidade de polpas de frutas tropicais: banco de dados e determinação experimental. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 109-118, 2008.
- MERCALI, G. D.; SARKIS, J. R.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of Food Engineering**, London, v. 106, n. 4, p. 283-289, 2011.
- PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.
- RAMOS, A. M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, London, v. 35, n. 1, p. 57-63, 1998.
- SANI, A. M.; HEDAYATI, G.; ARIANFAR, A. Effect of temperature and concentration on density and rheological properties of melon (*Cucumis melo* L. var. *Inodorus*) juice. **Nutrition & Food Science**, Cork, v. 44, n. 2, p. 168-178, 2014.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software Assstat-Statistical attendance. In: World Congress on computers in Agriculture, 7., 2009, Reno. Anais... Reno: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. 1 CD Rom.
- ZAINAL, B. S.; RAHMAN, R. A.; ARIFF, A. B.; SAARI, B. N.; ASBI, B. A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations, **Journal of Food Engineering**, London, v. 43, n. 1, p. 55-59, 2000.