

**Correlação matemática da massa específica da polpa de seriguela em diferentes
temperaturas e estádios de maturação**

**Mathematical correlation of the specific mass of seriguela pulp at different temperatures
and maturation stages**

**Correlación matemática de la masa específica de pulpa de seriguela a diferentes
temperaturas y etapas de maduración**

Recebido: 12/06/2020 | Revisado: 25/06/2020 | Aceito: 09/07/2020 | Publicado: 24/07/2020

Tamires dos Santos Pereira

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2627-036X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: tsantosp16@gmail.com

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: virginia.mirtes2015@gmail.com

Lucas Rodolfo Inácio da Silva

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3684-3117>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: rodolfo_i@hotmail.com

Márcia Ramos Luiz

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3999-3719>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: marciarluiz@yahoo.com.br

Newton Carlos Santos

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@gmail.com

Raphael Lucas Jacinto Almeida

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: raphaelqindustrial@gmail.com

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6286-5403>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: victor_herbert@hotmail.com

Cecília Elisa de Sousa Muniz

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7402-9354>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: ceciliamuniz.qi@gmail.com

Raphael da Silva Eduardo

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5968-7578>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: raphael_leahpar17@hotmail.com

Rebeca de Almeida Silva

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4116-5050>

Centro Universitário Mauricio de Nassau, Brasil

E-mail: rebeaalmeidasilva@gmail.com

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi determinar a massa específica teórica da polpa de seriguela em diferentes temperaturas e estádios de maturação e ajustar aos dados obtidos funções polinomiais avaliando assim suas correlações matemáticas. As seriguelas foram classificadas em cinco diferentes estádio de maturação, o despulpamento aconteceu de forma manual, sendo utilizado nos experimentos o conjunto casca e polpa. A massa específica teórica foi calculada e os modelos matemáticos polinomiais foram ajustados aos dados da massa específica da polpa de seriguela em função da temperatura (25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C) para cada um dos 5 estádios de maturação. Para o estádio de maturação I, a polpa apresentou aumento de 1035,88 para 1044,29 kg/m³; II de 1046,99 a 1055,50 kg/m³; III de 1053,95 a 1062,36 kg/m³; IV de 1062,94 a 1071,35 kg/m³; V de 1072,30 a 1080,71 kg/m³ em decorrência da diminuição da temperatura. A massa específica apresentou correlação positiva em relação ao avanço no estádio de maturação da polpa da seriguela e o inverso em relação a temperatura, sendo justificado pelo aumento da concentração no teor de sólidos solúveis totais. Os resultados foram representados por modelos matemáticos e o ajuste das funções polinomiais mostrou uma adequação satisfatória, no entanto o modelo com quatro termos apresentou o melhor ajuste com R² igual a 1 para todos os estádios de maturação.

Palavras-chave: Modelo empírico; Função polinomial; *Spondias purpúrea*; Sólidos solúveis.

Abstract

The objective of the present work was to determine the theoretical specific mass of buttermilk pulp at different temperatures and maturation stages and to adjust to the data obtained polynomial functions, thus evaluating their mathematical correlations. The seriguelas were classified in five different maturation stages, the pulping happened manually, being used in the experiments the peel and pulp set. The theoretical specified mass was calculated and the polynomial mathematical models were adjusted to the specific mass data of the buttermilk pulp as a function of temperature (25, 30, 35, 40, 45 and 50 °C) for each of the 5 maturation stages. For maturity stage I, there was an increase from 1035.88 to 1044.29 kg/m³; II from 1046.99 to 1055.50 kg/m³; III from 1053.95 to 1062.36 kg/m³; IV from 1062.94 to 1071.35 kg/m³; V from 1072.30 to 1080.71 kg/m³ due to the decrease in temperature. The specific mass shows a positive correlation in relation to the advance in the maturation stage of the serigraphed pulp, or the inverse in the temperature relation, being justified by the increase in the concentration in the content of soluble particles. The adjustment of the polynomial functions showed a satisfactory adequacy, however, the model with four terms shows the best adjustment with R² equal to 1 for all levels of maturation.

Keywords: Empirical model; Polynomial function; *Spondias purpurea*; Soluble solids.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la masa específica teórica de la pulpa de suero de leche a diferentes temperaturas y etapas de maduración y ajustar a los datos obtenidos funciones polinómicas, evaluando así sus correlaciones matemáticas. Las seriguelas se clasificaron en cinco etapas de maduración diferentes, la producción de pulpa se realizó de forma manual, utilizándose en los experimentos el conjunto de exfoliación y pulp. Se calculó una masa teórica especificada y los modelos matemáticos polinómicos se ajustaron a los datos de masa específicos de la pulpa de suero de leche en función de la temperatura (25, 30, 35, 40, 45 y 50 °C) para cada una de las 5 etapas de maduración. Para la etapa de maduración I, hubo un aumento de 1035.88 a 1044.29 kg/m³; II de 1046.99 a 1055.50 kg/m³; III de 1053.95 a 1062.36 kg/m³; IV de 1062.94 a 1071.35 kg/m³; V de 1072.30 a 1080.71 kg/m³ debido a la disminución de la temperatura. La masa específica muestra una correlación positiva en relación con el avance en la etapa de maduración de la pulpa serigrafiada, o la inversa en la relación de temperatura, justificada por el aumento de la concentración en el contenido de

partículas solubles. El ajuste de las funciones polinómicas mostró una adecuación satisfactoria, sin embargo, el modelo con cuatro términos muestra el mejor ajuste con R^2 igual a 1 para todos los niveles de maduración.

Palabras clave: Modelo empírico; Función polinómica; *Spondias purpúrea*; Sólidos solubles.

1. Introdução

O Brasil, em virtude da sua larga extensão territorial e ampla mudança climática, ostenta uma das maiores variedades de espécies de frutas do mundo, destacando as regiões Nordeste e Norte que oferecem condições climáticas apropriadas para cultivar muitas frutas tropicais (Filho, 2007; Neris et al., 2017). A seriguela (*Spondias purpurea* L.) produz a seriguela, também chamada de ceriguela, siriguela, ciriguela, é uma das espécies mais cultivada do gênero *Spondias*, e a espécie deste gênero que produz frutos de melhor qualidade (Lima, 2009) a mesma apresenta-se como uma excelente opção econômica para inúmeros produtores, graças à qualidade dos frutos e de sua grande utilização para o processamento de polpa concentrada.

A planta raramente ultrapassa 7 m de altura, onde a árvore possui ramos que se desenvolvem rente ao solo, suas folhas são pinadas e possuem flores discretas que formam frutos isolados ou em cachos. Esses frutos possuem uma película fina, verde, amarela ou vermelha, dependendo do estágio de maturação e polpa de pequena espessura ao redor de um grande caroço (Lorenzi et al., 2006).

Segundo Saucedo-Veloz et al. (2004), seus frutos são altamente perecíveis durante o manejo pós-colheita, exibindo rápido amolecimento, susceptibilidade ao apodrecimento e mudanças no sabor. Por esse motivo, as indústrias vêm investindo crescentemente em novas técnicas que visam prolongar a vida útil de frutas sazonais como a seriguela. A polpa da seriguela representa uma boa fonte de vitamina C com baixa quantidade de proteínas e lipídeos e valores significativos de minerais (TACO, 2006).

A fruta possui atrativa coloração e excelente sabor, possui um elevado rendimento de polpa, cerca de 50%. A polpa é a parte mais consumida do fruto, por ser doce e com aroma agradável; o endocarpo e semente são as partes descartadas por não apresentarem potencial de aplicação (Kwiatkowski et al., 2019).

No processamento das polpas de frutas ocorre a aplicação de processos térmicos que envolvem transferência de calor como: aquecimento, resfriamento e congelamento. O conhecimento das propriedades termofísicas, como massa específica, se torna fundamental

para o dimensionamento dos equipamentos utilizados nos processos que envolvam transferência de calor, a fim de estimar o tempo de processamento e a quantidade de energia envolvida durante os processos térmicos (Pereira, 2013).

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 et al., 2015). O objetivo do presente trabalho foi determinar a massa específica teórica da polpa de seriguela em diferentes temperaturas e estádios de maturação e ajustar aos dados obtidos funções polinomiais avaliando assim suas correlações matemáticas.

2. Metodologia

Os frutos da seriguelas (*Spondias purpúrea* L.) foram adquiridas na cidade de Campina Grande – PB, acondicionados e transportados para o laboratório em caixas térmicas, sendo descartados os frutos com danos físicos.

Posteriormente, as amostras foram higienizadas e sanitizadas em água clorada a 2,5% e, enxaguadas com água corrente da rede de abastecimento. E classificados de acordo com seu estágio de maturação (I – totalmente verde; II – início de pigmentação amarela; III – amarelo predominante; IV – vermelho predominante; V – vermelho escuro). O despulpamento aconteceu de forma manual, sendo utilizado nos experimentos a casca e polpa e o caroço foi descartado.

A massa específica teórica foi calculada através da Equação 1, proposta por Alvarado e Romero (1989) em função da temperatura e da concentração de sólidos solúveis totais, que apresentou os seguintes teores (I – 11,03 °Brix; II – 13,44 °Brix; III- 14,95 °Brix; IV – 16,90 °Brix; V – 18,93 °Brix).

$$\rho = 1002 + 4,16A - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3} T^2 - 9,175 \times 10^{-5} T^3 \quad (1)$$

Onde: ρ é a massa específica (kg/m³); A é o teor de sólidos solúveis totais (°Brix); T é a temperatura (°C).

Modelos matemáticos polinomiais (Equação 2, 3 e 4) foram ajustados aos dados da massa específica da polpa de seriguela em função da temperatura (25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C) para cada estágio de maturação.

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

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

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

Onde: ρ é a massa específica do suco (kg/m³); T é temperatura (°C); a, b, d, e são os parâmetros dos modelos polinomiais.

O ajuste dos modelos polinomiais aos dados foi realizado utilizando-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, com o programa computacional STATISTICA 7.7[®]. O grau de ajuste de cada modelo foi considerado pela magnitude do coeficiente de determinação (R²).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da massa específica da polpa de seriguela nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C nos seus diferentes estágios de maturação. Esses valores foram calculados através de uma correlação teórica proposta por Alvarado e Romero (1989).

Tabela 1 – Massa específica teórica da polpa de seriguela em diferentes estádios de maturação nas temperaturas de 25 a 50 °C.

Estádio de maturação	Massa específica teórica (kg/m ³)					
	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
I	1044,29	1042,87	1041,39	1039,78	1037,96	1035,88
II	1055,50	1053,98	1052,50	1050,89	1049,07	1046,99
III	1062,36	1060,94	1059,46	1057,85	1056,04	1053,95
IV	1071,35	1069,93	1068,45	1066,84	1065,03	1062,94
V	1080,71	1079,29	1077,81	1076,20	1074,38	1072,30

Nota: I – totalmente verde; II – início de pigmentação amarela; III – amarelo predominante; IV – vermelho predominante; V – vermelho escuro.
Fonte: Própria (2020).

Observa-se que os valores de massa específica teórica apresentaram tendência de aumento com o avanço do estágio de maturação dos frutos. Esse aumento é justificado pelo aumento da concentração no teor de sólidos solúveis totais das polpas entre os estádios I a V. No entanto, quando analisados os mesmos estádios nas suas diferentes temperaturas nota-se uma redução nos valores da massa específica. Para o estágio de maturação I a polpa apresentou valores de 1044,29 para 1035,88 kg/m³ quando a temperatura variou de 25 a 50 °C.

Araújo et al. (2002) ao determinarem a massa específica da polpa de cupuaçu integral nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, obtiveram valores que variaram de 1034,3 a 1,015,3 kg/m³. Pereira et al. (2002) obtiveram para polpa do açaí com 9,7 °Brix, com massa específica variando de 1022,33 a 1007,17 kg/m³ para as temperaturas de 10, 20, 30, 40, e 50°C.

Na Tabela 2 têm-se os valores obtidos para cada parâmetro dos modelos polinomiais e do coeficiente de determinação (R²) ajustados aos valores de massa específica teórica da polpa de seriguela em função da temperatura nos seus diferentes estádios de maturação.

Tabela 2 - Ajuste dos modelos matemáticos para o cálculo da massa específica teórica da polpa de seriguela em função da temperatura nos seus diferentes estádios de maturação.

Estádio de maturação I					
Equação	Parâmetros				
	a	b	d	e	R²
$\rho = a + bT$ (1)	1052,87	-0,3336	-	-	0,9972
$\rho = a + bT + dT^2$ (2)	1048,36	-0,0840	-0,00332	-	0,9991
$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3$ (3)	1052,84	-0,4599	0,00700	-0,000092	1,000
Estádio de maturação II					
Equação	Parâmetros				
	a	b	d	e	R²
$\rho = a + bT$ (1)	1063,98	-0,3336	-	-	0,9972
$\rho = a + bT + dT^2$ (2)	1058,64	-0,0395	-0,00386	-	0,9998
$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3$ (3)	1060,38	-0,1881	0,00022	-0,000036	1,000
Estádio de maturação III					
Equação	Parâmetros				
	a	b	d	e	R²
$\rho = a + bT$ (1)	1070,94	-0,3334	-	-	0,9973
$\rho = a + bT + dT^2$ (2)	1066,49	-0,0834	-0,00333	-	0,9999
$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3$ (3)	1071,15	-0,4804	0,007581	-0,000097	1,000
Estádio de maturação IV					
Equação	Parâmetros				

	a	b	d	e	R²
$\rho = a + bT$ (1)	1079,41	-0,3226	-	-	0,9941
$\rho = a + bT + dT^2$ (2)	1075,48	-0,0833	-0,00333	-	0,9995
$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3$ (3)	1080,14	-0,4843	0,00758	-0,000097	1,000

Estádio de maturação V

Equação	Parâmetros				
	a	b	d	e	R²
$\rho = a + bT$ (1)	1089,29	-0,3336	-	-	0,9971
$\rho = a + bT + dT^2$ (2)	1084,85	-0,0841	-0,00332	-	0,9998
$\rho = a + bT + dT^2 + eT^3$ (3)	1089,26	-0,4599	0,00700	-0,000092	1,000

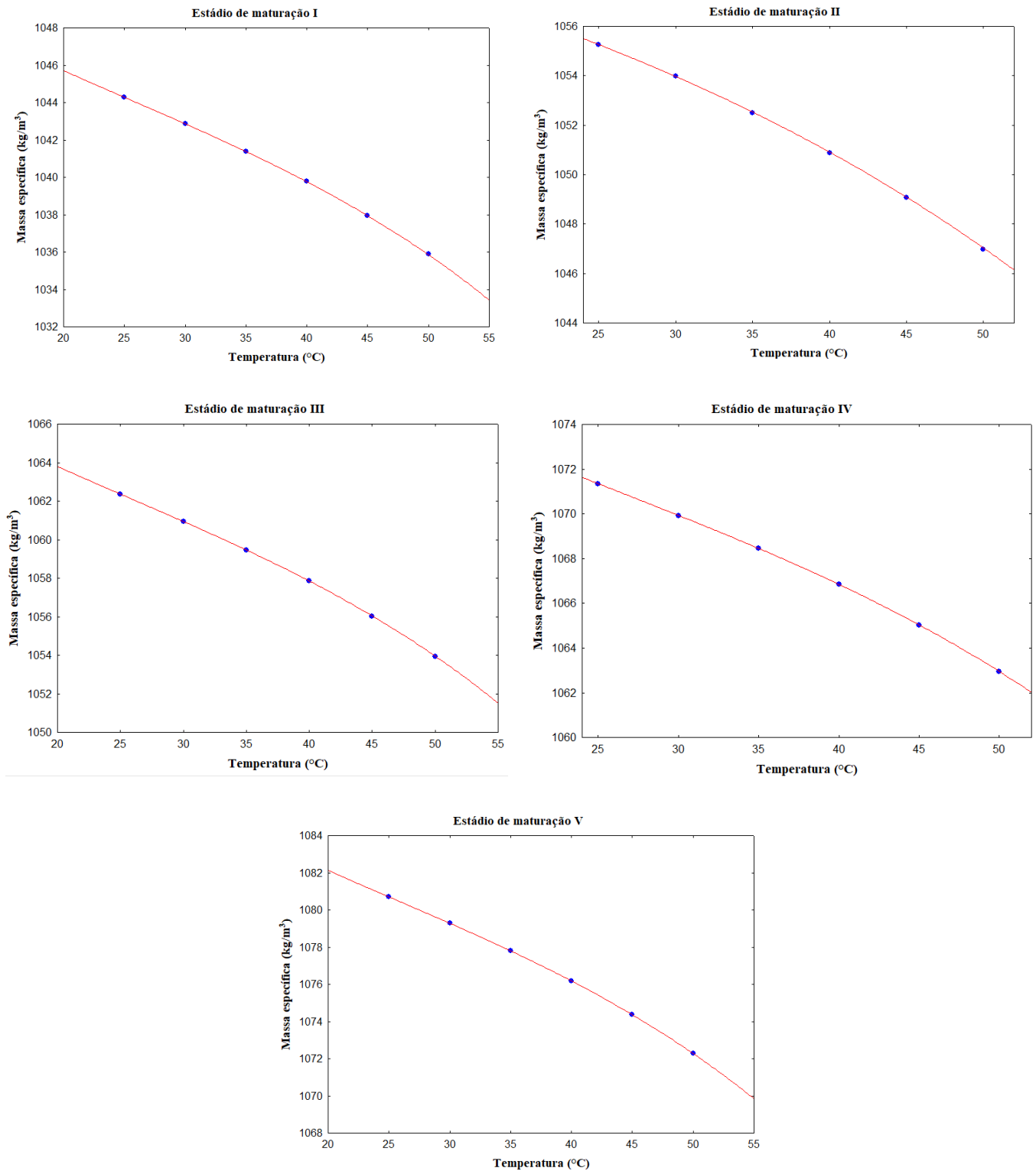
Nota: (1) dois termos; (2) três termos; (3) quatro termos; a, b, d, e – parâmetros dos modelos; R² é o coeficiente de determinação. Fonte: Própria (2020).

Observa-se que, os três modelos polinomiais ajustados aos dados de massa específica, apresentam coeficientes de determinação (R²) maior que 0,99. No entanto, o modelo com quatro termos apresenta-se como o de melhor ajuste com maior valor dos coeficientes de determinação (R²) 1,000.

Dantas et al. (2020) ao também analisarem o ajuste de modelos polinomiais na predição da massa específica da polpa de acerola em função da concentração de sólidos solúveis e da temperatura, concluíram que o modelo de quatro termos também melhor se ajustou. Oliveira et al. (2020) afirmaram que o modelo polinomial de quatro termos também apresentou ajuste satisfatório aos dados da massa específica da polpa de caju (R² = 0,9927).

Dessa forma na Figura 1, pode-se visualizar o ajuste do modelo matemático polinomial com quatro termos aos valores de massa específica da polpa de seriguela em seus diferentes estádios de maturação.

Figura 1 - Ajuste do modelo matemático polinomial com quatro termos aos dados de massa específica da polpa de seriguela nos seus diferentes estádios de maturação.



Fonte: Própria (2020)

Para os cinco estádios de maturação estudados a temperatura promoveu redução nos valores da massa específica. Segundo Diniz et al. (2014) os valores de massa específica diminuíram com o aumento da temperatura provavelmente devido à expansão volumétrica do fluido causada pela redução da ligação da força intermolecular.

4. Considerações Finais

A massa específica apresentou correlação positiva em relação ao avanço no estágio de maturação da polpa da seriguela, e o inverso em relação a temperatura, sendo justificado pelo aumento da concentração no teor de sólidos solúveis totais. O ajuste das funções polinomiais mostrou uma adequação satisfatória, no entanto o modelo com quatro termos apresentou o melhor ajuste com R^2 igual a 1 para todos os estádios de maturação. Como sugestão para trabalho futuros, determinar a massa específica de forma experimental através da instrumento picnômetro e comparar com os valores obtidos de forma teórica.

Referências

Alvarado, J. D., & Romero, C. H. (1989). Physical properties of fruits: I – Density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. *Latin American Applied Research*, 19(15), 15-21.

Araújo, J. L., Queiroz, A. D. M., & Figueirêdo, R. (2002). Massa específica de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de produtos agroindustriais*, 4(2), 127-134.

Dantas, H. C., Melo, J. C. S., Oliveira, R. G. M., Badaró, A. D. S., & Santos, E. R. M. (2020). Predição da massa específica da polpa de acerola a partir de modelos matemáticos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 14(1), 12-16.

Diniz, R. S., dos Reis Coimbra, J. S., Martins, M. A., dos Santos, M. D. O., Diniz, M. D. M. S., de Souza Santos, E., & de Oliveira, E. B. (2014). Physical Properties of Red Guava (*Psidium guajava* L.) Pulp as Affected by Soluble Solids Content and Temperature. *International Journal of Food Engineering*, 10(3), 437-445.

Egea, M. B.; Reis, M. H. M.; Danesi, E. D. G. (2015). Aplicação de modelos matemáticos preditivos para o cálculo das propriedades termofísicas do palmito pupunha. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 17(2),179- 187.

Filho, F. Q. T. L. (2007) *Conservação da Polpa de Cajá por Métodos Combinados*. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

Kwiatkowski, A., dos Santos, J. V. D. A., de Souza, D. A., da Silva, M. E. A., da Silva, A. G. P., & dos Santos, T. C. (2019). Determinação de compostos bioativos da semente de seriguela (*Spondias purpurea*). Universidade federal de mato grosso do Sul-UFMS Reitor Marcelo Augusto Santos Turine Vice-Reitora Camila Celeste Brandão Ferreira Ítavo, 35.

Lima, I. C. G. S. (2009). *Seriguela (Spondias purpurea L.): propriedades físico-químicas e desenvolvimento de geléia de doce de corte e aceitabilidade desses produtos*. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica-RJ.

Lorenzi, H., Bacher, L., Lacerda, M., & Sartori, S. (2006). Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura). São Paulo: *Instituto Plantarum de Estudos da Flora*, 640.

Neris, T. S., Loss, R. A., & Guedes, S. F. (2017). Caracterização físico-química da seriguela (*Spondias purpurea* L.) coletadas no município de Barra do Bugres/MT em diferentes estágios de maturação. *Natural Resources*, 7(1), 9-18.

Oliveira, R. G. M., de Melo, J. C. S., Badaró, A. D. S., da Costa, C. H. C., Dantas, H. C., Dantas, E. H., & dos Santos Lima, F. C. (2020). Mathematical correlation of the specific mass of cashew pulp at different temperatures and concentrations. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 27844-27849.

Pereira, C. G. (2013). *Propriedades termofísicas e comportamento reológico de polpa de acerola em diferentes concentrações e temperaturas*. 2013, 135 f. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Pereira, E. A., Queiroz, A. J. D. M., & de Figueirêdo, R. M. (2002). Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 6(3), 526-530.

Saucedo-Veloz, C., Pérez-López, A., Arévalo-Galarza, M. L., & Muratalla-Lúa, A. (2004). Effect of the maturity stage on postharvest quality and shelf life in Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, 27, 133-139.

TACO (2006). (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos)/NEPA-UNICAMP – T113 versão II 2ª Ed. Campinas – SP. NEPA – UNICAM.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Tamires dos Santos Pereira – 10%

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – 10%

Lucas Rodolfo Inácio da Silva – 10%

Márcia Ramos Luiz – 10%

Newton Carlos Santos – 10%

Raphael Lucas Jacinto Almeida – 10%

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro – 10%

Cecília Elisa de Sousa Muniz – 10%

Raphael da Silva Eduardo – 10%

Rebeca de Almeida Silva – 10%