



Cinética de secagem do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.) em camada fina

*Thin-layer drying kinetics of guava (*Psidium guajava* L.) waste*

Maria do Carmo de Souza Cabral Filha^{1*}, Sayonara Costa de Araújo², Gabriela Muricy de Souza Silva³, Morgana Fabíola Cunha Silva Canuto⁴, Georgiana Maria Vasconcelos Martins⁵

Resumo: No Brasil uma pequena parte das frutas produzidas são destinadas para o mercado externo, sendo a maior parte consumida *in natura* ou processada na indústria de polpas e sucos. Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento do processamento de frutas em diversas partes do mundo está associado à significativa quantidade de resíduos orgânicos que são gerados nesta atividade, assim, a busca por técnicas para o aproveitamento de resíduos de frutas constitui um desafio importante para as indústrias. O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da secagem do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.), tendo como variáveis a temperatura da estufa e a espessura da camada do resíduo, com a finalidade de verificar o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais. Fez-se o planejamento experimental fatorial com o intuito de avaliar a eficiência do processo de secagem. Com o propósito de analisar as condições empregadas no experimento, os dados obtidos foram ajustados através dos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Lewis e Page. Através da modelagem foi possível comprovar que as condições empregadas no procedimento foram adequadas, visto que os dados se ajustaram de maneira satisfatória aos modelos analisados, sendo o modelo de Page o que melhor se adequou para descrever a cinética de secagem do resíduo da goiaba.

Palavras-chave: Modelagem matemática, Curvas de secagem, Temperatura, Espessura de camada.

Abstract: In Brazil, a small part of the produced fruits are destined for foreign market, being largely consumed fresh or processed in pulp and juice industry. One of the main barriers in the development of fruit processing industry is connected to the significant amount of organic waste that are generated in this activity. The search for techniques to take advantage of these fruit waste is a major challenge. This study aimed at evaluating the drying behavior of guava waste (*Psidium guajava* L.). The oven temperature and the thickness of residue layer were analyzed as variables, in order to check the fit of mathematical models to experimental data. The authors planned the factorial design to evaluate the efficiency of drying process. To check the conditions used in the experiment, data were adjusted using the following mathematical models: Henderson & Pabis, Lewis and Page. Through modeling, it was possible to demonstrate that the conditions used in the procedures were appropriated, since the data fit, satisfactorily, to the analyzed models. The Page model was the most appropriate to describe the drying kinetics of Guava waste.

Key words: Mathematical modeling, drying curves, temperature, layer thickness.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 13/07/2016; aprovado em 30/09/2016

¹Engenheira de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB; 83996556312, docarmocabral2@hotmail.com

²Engenheira Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Sayonara-vr@hotmail.com

³Engenheira de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, gabrielamuricy26@hotmail.com

⁴Doutora em Engenharia de Processos, UFCG - PB, professora do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Campus-Pombal, morgana.canuto@ccta.ufcg.edu.br

⁵Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG - PB, professora do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Campus-Pombal, georgiana.82@gmail.com



INTRODUÇÃO

Um dos problemas encontrados pela indústria de alimentos, após o processamento da matéria prima, é a significativa quantidade de resíduos que são gerados, uma vez que à falta do descarte adequado ocasiona sérios danos ao meio ambiente (VIEIRA, 2014).

De acordo com Reetz (2015) o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking de produção mundial de frutas, ficando atrás apenas da China e Índia. Dentre os frutos cultivados tem-se a goiaba (*Psidium guajava* L.), um fruto que apresenta altas taxas de transpiração e grande perdas de massa pós-colheita (VILA et al., 2007).

O processamento, com a finalidade de obtenção de polpa, é uma das maneiras encontradas pela indústria de alimentos para aumentar a variedade de produtos disponíveis para alimentos relativamente conhecidos, sendo essa uma atividade agroindustrial importante, na medida que agrega valor econômico ao produto, ao mesmo tempo que prolonga a vida útil e mantém a qualidade (FURTADO et al., 2000).

Segundo Pinto (2002) após a produção da polpa, cerca de 58 a 62% da matéria prima que foi utilizada é descartada em forma de substrato. Sendo o resíduo da goiaba, que é desperdiçado, rico em compostos bioativos e antioxidantes, além de ser fonte de fibra alimentar, compostos fenólicos e licopeno (KONG; ISMAIL, 2011; MARTÍNEZ et al., 2012; MELO et al., 2011; SILVA et al., 2014).

O resíduo, oriundo do processamento de frutas para a produção de polpa, possui um alto valor nutricional, podendo ser utilizado para a fabricação de novos produtos, minimizando assim o impacto ambiental nos locais em que as indústrias estão situadas, além de agregar valor aos subprodutos gerados (UCHOA et al., 2008).

Através da utilização de uma tecnologia apropriada, o resíduo obtido pode ser transformado em novos produtos, devido esse material conter um alto valor agregado (LAUFENBERG et al., 2003). Uma das maneiras encontradas para o aproveitamento é o emprego de técnicas que promovam a conservação do alimento, diminuindo as perdas por deterioração devido a altas concentrações de água livre presente no mesmo (MACHADO et al., 2011).

De acordo com Madamba et al. (2007) a secagem é uma operação que possibilita a redução do teor de umidade presente em um determinado alimento sem acarretar perdas

sensíveis das propriedades biológicas e nutritivas, inibindo o crescimento dos microrganismos e o desenvolvimento de reações químicas que acarretam na deterioração do alimento.

Com a finalidade de auxiliar na descrição dos processos de secagem, vêm-se explorando cada vez mais a utilização de modelos matemáticos, que consideram as características do sistema de transferência de massa, sendo essa ferramenta bastante eficiente para o cálculo do desenvolvimento de cada análise, tendo em vista a melhoria da operação, redução de perdas e o aumento da qualidade do produto final (DANTAS et al., 2011).

Diante do exposto, objetivou-se nesse estudo avaliar o comportamento da secagem do resíduo agroindustrial da goiaba (*Psidium guajava* L.), tendo como variáveis a temperatura da estufa e a espessura da camada do resíduo, com a finalidade de verificar o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transporte em conjunto com o Laboratório de Sementes, ambos pertencentes ao Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, Paraíba.

Obtenção das amostras

A matéria prima utilizada foi o resíduo da goiaba, fornecido pela Universidade Federal de Campina Grande, câmpus - Pombal/PB, proveniente do processamento da goiaba para a produção de polpa. Sendo esse material que seria descartado, encaminhado para o desenvolvimento da pesquisa.

Planejamento experimental

A técnica de planejamento experimental fatorial foi utilizada para avaliar a eficiência do processo de secagem. A matriz de planejamento teve como variáveis: temperatura de secagem e espessura da camada. O planejamento fatorial realizado neste trabalho foi do tipo 2^2 com a realização de mais três experimentos no ponto central, cuja matriz encontra-se descrita na Tabela 1, com os respectivos níveis utilizados.

Tabela 1. Matriz do Planejamento completo 2^2+3 para secagem do resíduo da goiaba.

Ensaios	Temperatura (Codificada)	Tempo (Codificado)	Temperatura (°C)	Espessura (mm)
1	-1	-1	70	2
2	+1	-1	90	2
3	-1	+1	70	4
4	+1	+1	90	4
5	0	0	80	3
6	0	0	80	3
7	0	0	80	3

Cinética de secagem

O resíduo foi espalhado em badejas de aço inoxidável, em camada fina, obedecendo às espessuras pré-estabelecidas, e levadas para estufa com circulação de ar forçada sob temperaturas controladas, ambas de acordo com o visualizado na Tabela 1. Os ensaios experimentais foram realizados em

triplicata, sendo as pesagens realizadas em balança semi-analítica, em intervalos de tempos padronizados.

A razão do teor de água foi determinada através de pesagens consecutivas seguindo intervalos de tempo. Após a obtenção das massas, o teor de água foi calculado em base úmida, e em base seca. Sendo a determinação calculada pela Equação 1:

$$RU = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(\text{inicial})} - X_e} \quad (1)$$

Na qual:

RU - razão de teor de água (adimensional);

X_{bs} - teor de água em base seca;

X_e - teor de água de equilíbrio; e

X_{bs} (inicial) - teor de água inicial em base seca.

Modelagem matemática

As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais utilizando-se uma equação empírica, de regressão não linear, como pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos matemáticos de regressão não linear, utilizados para prever o fenômeno de secagem.

Modelo	Equação	Designação
Henderson & Pabis	$RU = a \cdot \exp(-K \cdot t)$	(2)
Lewis	$RU = \exp(K \cdot t)$	(3)
Page	$RU = \exp(-K \cdot t^n)$	(4)

Os modelos de secagem utilizados foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 5.0®.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: coeficiente de determinação (R²) e desvio quadrático médio (DQM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados obtidos durante a operação fez-se as curvas de secagem, com a finalidade de se ter o acompanhamento da taxa de secagem de acordo com as condições na qual o material foi submetido, conforme demonstrado na Figura 1.

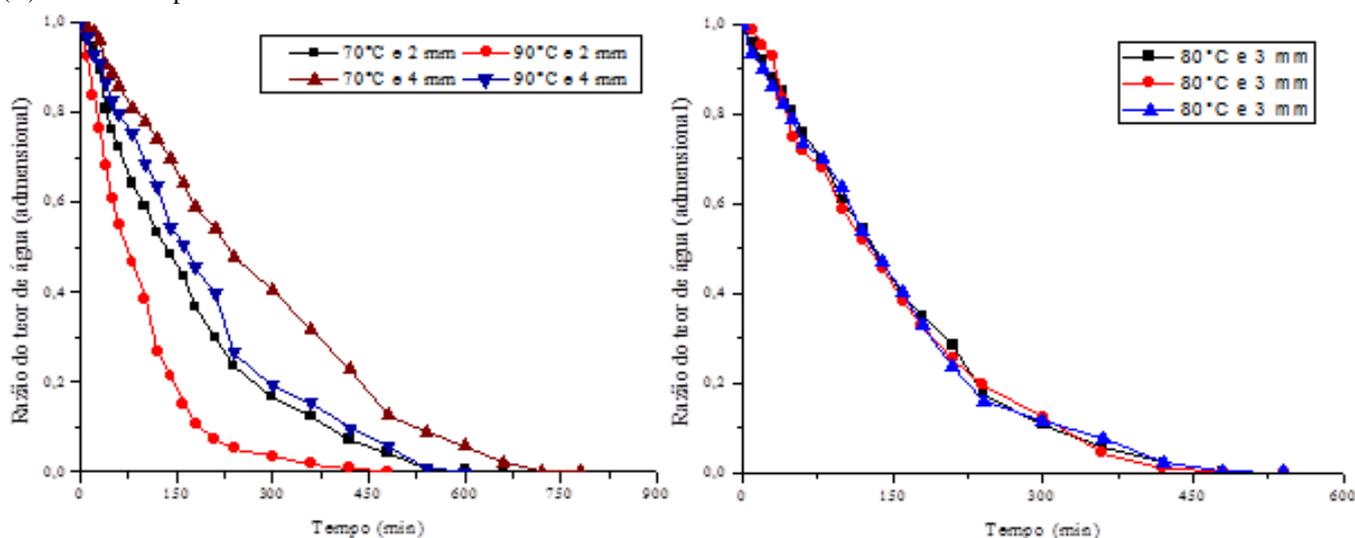
Por meio das curvas, pode-se visualizar que os experimentos no qual as camadas possuem uma menor espessura conseguiram atingir a estabilização do teor de água de maneira mais rápida, quando comparados aos ensaios de maior espessura de camada. Verifica-se ainda, que a taxa de

secagem que é a quantidade de umidade removida em unidade de tempo a partir de um material seco por unidade da superfície de secagem, diminuiu constantemente, sendo mais rápida durante o período inicial e mais lenta nos últimos estágios da secagem. Comportamento semelhante foi averiguado na pesquisa desenvolvido por Xião (2010), ao estudar a cinética de secagem e qualidade de uvas sem sementes.

Os valores obtidos para os pontos centrais, demonstrados na figura 1B, deixam claro a boa reprodutibilidade durante os ensaios, sendo essa comprovação importante para monitorar a operação, assegurando a veracidade dos dados obtidos.

Na tabela 3 encontram-se especificados os valores dos parâmetros estatísticos, coeficiente de determinação (R²) e do desvio quadrático médio (DQM), encontrados para os modelos de Henderson & Pabis, Lewis e Page. Notando-se que para cada modelo avaliado, buscou-se verificar como a estimativa dos parâmetros é influenciada pela condição do planejamento.

Figura 1. Curvas de secagem para cada ensaio realizado de acordo com o planejamento experimental, (A) ensaios 1, 2,3, e 4. (B) ensaios dos pontos centrais.



Fonte: Autoria Própria (2016)

Tabela 3. Parâmetros estatísticos, coeficientes de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) dos modelos de secagem para cada ensaio.

Modelos	Ensaio	Parâmetros					DQM	R^2 (decimal)
		a	b	c	n	$K \times (10^{-3})$		
Henderson & Pabis	1	1,03	-	-	-	5,82	0,03	0,997
	2	1,04	-	-	-	10,89	0,03	0,996
	3	1,06	-	-	-	3,57	0,071	0,983
	4	1,05	-	-	-	4,94	0,055	0,987
	5	1,06	-	-	-	6,25	0,057	0,987
	6	1,07	-	-	-	6,57	0,05	0,990
	7	1,04	-	-	-	6,26	0,061	0,983
Lewis	1	-	-	-	-	5,56	0,037	0,994
	2	-	-	-	-	10,42	0,035	0,994
	3	-	-	-	-	3,27	0,086	0,975
	4	-	-	-	-	4,60	0,065	0,982
	5	-	-	-	-	5,76	0,069	0,982
	6	-	-	-	-	5,98	0,067	0,982
	7	-	-	-	-	5,90	0,067	0,980
Page	1	-	-	-	1,12	3,03	0,024	0,997
	2	-	-	-	1,14	5,42	0,018	0,998
	3	-	-	-	1,32	0,53	0,035	0,996
	4	-	-	-	1,26	1,15	0,028	0,996
	5	-	-	-	1,32	1,16	0,021	0,998
	6	-	-	-	1,27	1,51	0,029	0,996
	7	-	-	-	1,28	1,48	0,035	0,994

De acordo com o demonstrado na Tabela 3, pode-se constatar que todos os modelos analisados se ajustaram de maneira satisfatória, apresentando coeficientes de determinação superiores ou próximos a 0,99 e o DQM < 0,01, levando-se em consideração que para o ajuste ser considerado satisfatório o $R^2 > 0,99$ (GONELI et al., 2009).

Entre os modelos estudados o de Page foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos durante o procedimento, uma vez que apresentou coeficiente de determinação superior a 0,99 para todos os ensaios realizados, com desvio quadrático médio menor que 0,006. Resultados similares para esse modelo também foram encontrado por Hass (2015) ao verificar o ajuste de modelos na sua pesquisa sobre o resíduo da uva bordô, com $R^2 > 0,99$ e DQM < 0,0016, e por Vieira (2014) ao realizar a modelagem para o resíduo da goiaba com $R^2 > 0,95$.

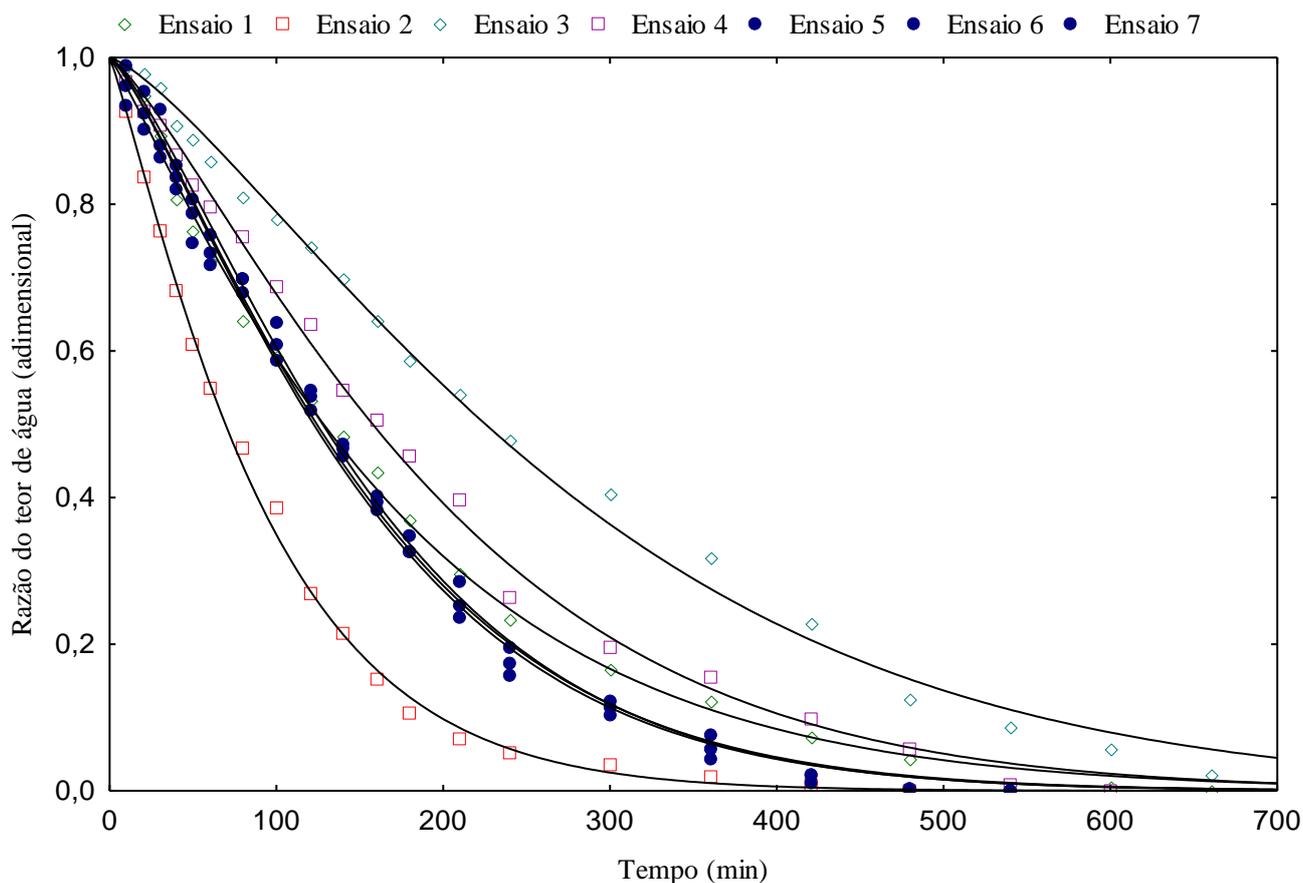
Para o parâmetro k, que representa o efeito das condições externas da operação sobre as amostras (CORRÊA et al. 2007), nota-se que os valores foram maiores ao utilizar

espessuras menores, sendo esse desempenho resultante da menor área de contato. Ao manter a espessura e aumentar a temperatura ocorre um aumento nos valores do “k”, mesmo comportamento para esse parâmetro também foram observados por Vieira (2014) e Kaya et al. (2007) nos seus estudos sobre a secagem do resíduo da goiaba e a cinética de secagem da maçã, respectivamente.

Com relação aos coeficientes “a” e “n” nos modelos de Henderson & Pabis e Page, que reflete a extensão da resistência interna do produto as condições empregadas, constata-se que para ambos os coeficientes, ocorre um pequeno aumento com relação tanto a espessura da camada quanto a temperatura empregada. Ao analisar o ajuste de modelos matemáticos para a secagem de bananas, Silva (2013) observou resultado análogo ao desta pesquisa.

Na figura 2, tem-se a representação do ajuste dos valores obtidos durante a operação para o modelo matemático de Page, podendo-se assim constatar o ajuste satisfatório do modelo a cinética de secagem do resíduo da goiaba.

Figura 2. Ajustes dos valores obtidos durante a secagem do Resíduo ao modelo de Page.



Fonte: Autoria Própria (2016)

CONCLUSÃO

Mediante os resultados apresentados pôde-se concluir que os modelos matemáticos se ajustaram de maneira satisfatória as curvas obtidas em todos os ensaios realizados, sendo o modelo de Page o que melhor se adequou para descrever a cinética de secagem do resíduo da goiaba, possuindo valores de coeficientes de determinação e desvio médio quadrado desejados para o ajuste matemático.

A modelagem quando voltada para a área de produção de alimentos desempenha um papel importante, pois possibilita, através de simulações executadas com o auxílio de softwares, a realização de análises da operação de secagem. Sendo possível assim, assegurar que o procedimento foi realizado sob condições adequadas para a secagem do resíduo da goiaba.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DANTAS, L. A; MATA, M. E. R. M; DUARTE, M. E. M. Programa Computacional Dinâmico para Simulação de Secagem de Grãos e Sementes de Milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.13, n.3, p. 309-318, 2011.

FURTADO, A. A. L; CABRAL, L. M. C., ROSA, M. de F., MODESTA, R.C.D., PONTES, S.M. Avaliação microbiológica e sensorial da polpa de goiaba tratada termicamente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal-SP, v.22, n.especial, p .91-95, 2000.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 11, p. 64-73, 2009.

HASS, I. C. S. Resíduo obtido do processamento do suco de uva: caracterização e cinética de secagem. 2015. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2015.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosystems Engineering*, v. 96, n. 4, p. 517-524, 2007.

KONG, K. W.; ISMAIL, A. Lycopene content and lipophilic antioxidant capacity of by-products from *Psidium guajava* fruits produced during puree production industry. *Food and bioproducts processing*, v. 89, p.53-61, 2011.

LAUFENBERG, G., Transformation of vegetable waste into added products: (A) the upgrading concept; (B) practical

- implementations. *Bioresource Technology*, v. 87, p.167-198 - 2003.
- MACHADO, A.V.; OLIVEIRA, E.L.; SANTOS, E.S.; OLIVEIRA, J.A. Estudo cinético da secagem do pedúnculo de caju e um secador convencional. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró – RN, v.6, p. 44-51, 2011.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering* v.29, p.75-97, 2007.
- MARTÍNEZ, R.; TORES, P.; MENESES, M.; FIGUEROA, J. G.; ÁLVAREZ, J. A. P.; MARTOS, M. V. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, v. 135, p. 1520-1526, 2012.
- MELO, P. S.; BERGAMASCHI, K. B.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P.; OLDONI, T. L. C.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.6, p.1088-1093, jun, 2011.
- PINTO, S. A. A. Processamento mínimo de melão tipo Orange Flesh e de melancia ‘Crimson Sweet’. 2002. 120 p. Dissertação - (Mestrado em Fitotecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.
- REETZ, E. R. Anuário Brasileiro da Fruticultura. Santa Cruz do Sul: Editora Santa Cruz, 2015. 104 p. ISSN 1808-4931.
- SILVA, E. F. M. Modelos empíricos e difusivos para a Descrição da secagem de bananas. 2013. 117 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2013.
- SILVA, L. M. R.; FIGUEIREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 143, p. 398–404, 2014.
- UCHOA, A. M. A.; COSTA, J. M. C.; MAIA, G. A.; SILVA, E. M.C.; CARVALHO, A. F.F. U.; MEIRA, T. R. Parâmetros físico-químicos, teor de fibra bruta e alimentar de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas/SP, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2008.
- VIEIRA, A. S. Secagem de resíduo de goiaba em secador convectivo de bandejas: modelagem matemática e análise do processo. 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2014.
- VILA, M. T. R.; LIMA, L. C. O.; VILAS BOAS, E. V. B.; DOLL HOJO, E. T.; RODRIGUES, L. J.; PAULA, N. R. F. Caracterização química e bioquímica de goiabas armazenadas sob refrigeração e atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 5, p. 1435-1442, 2007.
- XIAO, H-W.; PANG, C-L.; WANG, L-H.; BAI, J-W.; YANG, W-X.; GAO, Z-J. Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering*, v. 105, p. 233–240, 2010.