



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO CENTRO DE
CIÊNCIAS SOCIAIS, SAÚDE E TECNOLOGIA CURSO DE
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

YANNE BRUNA DA SILVA PEREIRA

MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPARAÇÃO DE PROCESSOS DE
DESIDRATAÇÃO DO MURICI (*BYRSONIMA CRASSIFOLIA*)

IMPERATRIZ

2019

YANNE BRUNA DA SILVA PEREIRA

MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPARAÇÃO DE PROCESSOS DE
DESIDRATAÇÃO DO MURICI (*BYRSONIMA CRASSIFOLIA*)

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Alimentos do Centro de
Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia da
Universidade Federal do Maranhão – UFMA,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de

Alimentos.

Orientador: Júlio César Freitas Rosas

IMPERATRIZ

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Pereira, Yanne Bruna da Silva.

Modelagem matemática e comparação de processos de desidratação do murici *byrsonima crassifolia* / Yanne Bruna da Silva Pereira. - 2019.

24 f.

Orientador(a): Júlio César Freitas Rosas.

Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz, 2019.

1. Modelos matemáticos. 2. Murici. 3. Vitamina C. I. Rosas, Júlio César Freitas. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu amado Deus. Pela oportunidade, pelo amor que ele me mostrou ao longo dessa caminhada, pelas pessoas com as quais ele me cercou. Agradeço por me ensinar que o conhecimento não é relevante se não houver respeito às pessoas, e por me mostrar que eu sou capaz de alcançar meus objetivos.

A minha mãe **Marinete Leite da Silva** e meu pai **Izaias Pereira Neto**, pessoas pelo qual me garantiram todo o suporte, aos meus irmãos **Matheus** e **Ricardo** por todo companheirismo, aos meus amigos pelo apoio durante toda caminhada, meu amado grupo de estudos EsEa, que por longas difíceis madrugadas de estudos hoje é só boas lembranças.

Agradeço o meu orientador **Prof. Júlio César**, pelo direcionamento e pela paciência. O Professor **José de Ribamar** pelo ilustre trabalho que estou tendo o prazer de apresentá-lo, a professora **Djany Souza** pelos bons conselhos, agradeço as professoras, **Germania Bezerra**, **Ana Lúcia**, **Virginia Abreu**, **Tatiana Lemos** por serem o exemplo de profissionais da engenharia de alimentos a ser seguido.

Por fim, agradeço a Universidade Federal do Maranhão – UFMA, por me proporcionar a realização de uma graduação com o melhor corpo de docentes e por me ensinar que a vida é combate.

SUMÁRIO

RESUMO	6
AUTORIA	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	10
Objetivo Geral	10
Objetivos específicos.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÃO.....	19
6. REFERÊNCIA	20

RESUMO

A secagem é um método empregado na conservação de alimentos, influenciando no tempo de preservação, qualidade e durabilidade desses produtos. Este trabalho objetivou a comparação dos métodos de desidratação e avaliaa secagem da polpa do murici (*Byrsonima crassifólia*) em estufa com circulação de ar forçado. Para polpa foi congelada à -21°C e submetida ao processo de secagem à $51^{\circ}\text{C} / 540 \text{ mmHg} / 40 \text{ h}$. A secagem em estufa foi realizada à 60°C , 70°C e 80°C , por 200 min. Os produtos obtidos foram avaliados por análises de densidade, acidez, vitamina C e sólidos solúveis (Brix). Nota-se que densidade apresentou valor médio de $1,12 \pm 0,14 \text{ g/cm}^3$. O teor de vitamina C na polpa fresca, de $15,56 \pm 0,001 \text{ mg vitamina C/100g}$, diminui 37% em média na secagem em estufa, e teve um aumento de 26,41% em média no liofilizador. A acidez da polpa liofilizada é em média 25% menor que no material fresco ($6,16 \pm 0,003 \text{ mg NaOH/g}$) e diminui 50% no material obtido em estufa. Os resultados obtidos demonstram que os dois processos de secagem alteraram os compostos físico químicos analisados. No entanto, comparando somente os dois métodos entre si a desidratação em secador foi mais eficiente na retirada de água, já com relação a manutenção dos outros constituintes a liofilização agrediu menos o produto. Os modelos matemáticos utilizados para a análise da secagem em estufa, foram Page, Henderson e Pabbs e Newton. O modelo que a de Page coeficiente de determinação (R^2)ecom valore médio 0,909.

Palavras-chave: Murici; Vitamina C; modelos matemáticos.

AUTORIA

Yanne Bruna da Silva Pereira, Júlio Cesar Freitas Rosas, José de Ribamar Macedo

PEREIRA, Y.B.S¹, ROSAS, J.C.F¹, RIBAMAR, J.M¹

¹Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Imperatriz, Maranhão, Brasil, E-mails:

yanne_bruna17@hotmail.com

* Autor correspondente: Universidade Federal do Maranhão, Coordenação de Engenharia de Alimentos, Av. da Universidade, s/n, Bairro Dom Afonso Felipe Gregory – Imperatriz /MA,

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma flora bastante diversificada em toda a sua extensão, com uma riqueza de vegetações de diferentes características e cujos princípios ativos são em sua grandiosíssima maioria desconhecidos. A região Nordeste se destaca por produzir grande variedade de frutos tropicais, nativos e exóticos, com boas perspectivas para exploração econômica em decorrência de suas condições edafoclimáticas (SACRAMENTO & SOUZA, 2000)

Dentre os frutos que apresentam potencial de aproveitamento tecnológico, destaca-se o murici (*Byrsonima crassifolia*), comercializado principalmente *in natura* nas feiras livres e mercados públicos locais. O fruto pertence à família *Malpighiaceae*, contém em média dois centímetros de diâmetro e quando maduro possui a casca e a polpa carnosa de um amarelo intenso, tendo sabor e cheiro característico (ALVES; FRANCO, 2003).

De acordo com Gusmão, Vieira e Fonseca Júnior (2006) a polpa do murici contribui em média com 73,63% da massa de matéria fresca total do fruto, o que demonstra um bom rendimento de polpa. A quantidade de polpa é uma característica importante dos frutos de *Byrsonima verbascifolia*, refletindo na grande valorização do extrativismo dos frutos, no período de safra.

O muricizeiro é uma planta arbustiva, de porte médio, nativa do Cerrado, podendo chegar a cinco metros de altura. Possui tronco cilíndrico, casca escura, áspera e copa estreita, com folhas rígidas e brilhantes. As flores são amareladas formando cachos de 10 a 15 cm e as sementes germinam em substrato argiloso necessitando de local sombreado, com desenvolvimento lento. A planta se desenvolve bem em solos areno-argilosos, mas já foram encontrados exemplares vegetando normalmente em solos arenosos e em solos muito argilosos. A espécie também pode ser utilizada de maneira ornamental (EMATER, 2019).

A demanda por produtos saudáveis e à base de frutas tem crescido substancialmente. O processamento de frutas possibilita a obtenção de diferentes produtos, tais como purê, néctar, doces, farinhas, e outros. O mercado interno para frutas desidratadas mostra-se promissor por ser este um produto com bom nível de aceitação sensorial, alto valor nutritivo e ter apelo de produto próximo ao natural, que pode ser consumido simplesmente como fruta desidratada ou ser empregada como ingrediente em formulações de outros produtos como bolos, tortas, recheios, bombons e outros (BRANDÃO et al., 2003).

Com o resultado dos avanços tecnológicos na área de conservação de alimentos, o mercado tem disponibilizado uma variedade de produtos desidratados que apresentam grande . Os alimentos desidratados possuem vida útil maior do que a matéria-prima fresca e é exatamente por isso, e para o aproveitamento de produtos sazonais que se realiza a secagem No Brasil, os produtos normalmente secos são carnes, vegetais, frutas, ervas e temperos (EVANGELISTA, 1998).

Segundo Mannheim et al. (1994), a quantidade de água livre presente nos alimentos é uma das principais causas de sua deterioração. Em decorrência disto, as operações de desidratação têm sido usadas, há décadas em indústrias de processamento de alimentos para uma eficiente preservação dos produtos finais por longos períodos.

Portanto, a secagem é um processo tradicional na preservação de alimentos, que diminui a disponibilidade da água (atividade de água) para reações de deterioração, aumenta a estabilidade e reduz o volume. Assim, combina a economia de volume e massa no transporte e no armazenamento em razão da compactação e da leveza, com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química, permitindo que o produto tenha maior durabilidade. Também resulta em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado (FELLOWS, 2006; SHIGEMATSU et al, 2005).

estufa consiste em custo relativamente baixo, , vitaminas e outros componentes (Gava, 1994). a liofilização ou o processamento congelamento prévio , em baixas temperaturas e vácuo.Os alimentos liofilizados destacam-se pela alta qualidade, redução de peso e reidratação instantânea, enquanto os secos por ar quente são texturalmente duros, apresentam significativas alterações em seu aspecto visual e requerem longo tempo de cozimento. O longo período de secagem e o custo elevado do equipamento tornam esse processo oneroso, se comparado a outros métodos de desidratação (PHANINDRA KUMAR et al., 2001)

Existem métodos empíricos e teóricos para descrever matematicamente o processo de secagem. O método empírico é utilizado para análise de secagem, usando dados experimentais que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional. Tal método geralmente se baseia nas condições externas de secagem, não fornecendo indicações sobre o transporte de energia e massa no interior do produto, muito embora forneça informações práticas para elaboração de projetos (Fortes & Okos, 1980).

Os métodos teóricos usados para descrever o processo de secagem são baseados em leis físicas que tentam explicar o mecanismo de transferência de água. A principal teoria utilizada

para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas é a teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor, representada pela segunda lei de Fick (Crank, 1975).

A representação matemática do processo de secagem de diversos produtos agrícolas vem, já há algum tempo, sendo estudada e utilizada na tentativa de prever os fenômenos que ocorrem durante este processo. Inúmeros modelos matemáticos têm sido estudados com o objetivo de projetar, controlar e otimizar processos secagem (ROCHA et al., 2005).

Para descrever adequadamente o estudo da cinética de secagem ajustam-se diferentes modelos matemáticos, entre estes existem Page, e de Henderson e Pabis modificado entre outros (ALVES et al., 2012). Estes modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento, aplicada à transferência de massa. Porém esta lei é aplicada apenas em condições isotérmicas e a resistência à transferência de umidade ocorre somente na superfície do produto (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Comparar os métodos de desidratação e avaliar entre os três modelos matemáticas pré-selecionados descrevem melhor a secagem do murici em estufa com circulação de ar forçado.

Objetivos específicos

Analisar a desidratação por estufa com circulação de ar forçado e comparar os resultados com liofilização, propriedades físico-químicas, elaborar as curvas de secagens e avaliar os modelos matemáticos para a polpa do fruto do murici.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de murici foram adquiridos no período entre dezembro e fevereiro, no mercado municipal da cidade de Imperatriz-Maranhão. Arealizad no Laboratório d Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Sociais Saúde e Tecnologia (CCSST), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), campus Imperatriz, foram selecionados, lavados em água corrente para a eliminação de sujidades e em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm (Anhembi) durante 15 minutos enxágue, conforme instrução do fabricante

Após a higienização, os frutos *in natura* foram cortados manualmente, utilizando faca com lâmina de inox, onde separou-se os caroços da polpa. Os caroços foram descartados e a polpa foi em frascos de polietileno higienizados, 20 g de polpa em cada frasco. Foram guardados em Freezer Modelo B/X/PVE28, sendo retirada amostra para análise. No entanto

parte da polpa foi congelada à -21°C e submetida ao processo de secagem em liofilizador à -51°C / 540 µmHg / 40 h

O modelo de estufa utilizado foi BK56A2, avaliando-se as temperaturas de 60°C, 70°C e 80°C, as amostras foram colocadas na mesma e retiradas decorrido 20 min de intervalo de uma amostra à outra nos seguintes tempos 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 min, essas amostras foram colocadas em dessecador até temperatura ambiente.

Para a secagem em estufa de ar forçado as análises de acidez total e vitamina C, as amostras coletadas foram as de tempo 0, 20, 80, 120 e 200 min, para as temperaturas de 60, 70 e 80°C. Para análise quantitativa de acidez total pesou-se em um Erlenmyer (250 mL) 1g de amostra adicionou-se 10 mL de água destilada, 3 gotas de fenolftaleína e titulou com solução de NaOH diluído 0,1 M. Já para vitamina C, baseado na redução do indicador 2,6-diclorofenolidofenol-sódio (DFI), as mesmas metodologias foram aplicadas para as análises da liofilização e in natura.

Para a aplicação da modelagem matemática, aplicada apenas para o processo de desidratação por estufa com circulação de ar forçado, foram pesadas em uma balança analítica Modelo ALC-210.4, cerca de 5.000 g da polpa do murici. Em 10 formas de alumínio com diâmetro de 5 cm, espalhou-se a mesma de modo que ficasse igualmente distribuída no fundo da forma.

Em balança com infravermelho Modelo MAC210, pesou-se cerca de 100 g a 100,5 g da amostra saída da estufa, onde essa balança mostra a percentagem de umidade contida na amostra e com essa percentagem foi calculada a umidade relativa pela equação (1) $RU = \frac{U_t - U_e}{U_o - U_e}$. em que: U_t é a umidade em determinado tempo (em base seca); U_e é a umidade de equilíbrio (em base seca); e U_o é a umidade inicial (em base seca). Foram obtidas três curvas de acordo com cada temperatura.

As curvas de secagem da polpa de murici foram expressas como a variação da razão da umidade em função do tempo de secagem. Os modelos testados estão listados na Tabela 01. Os modelos descritos, a seguir, são alguns modelos matemáticos aplicados para estudo da cinética.

Tabela 1. Equações matemáticos avaliados para predição da razão da umidade do processo de secagem do murici

Modelos	Equação
Pages	$RU = e^{-kt^n}$

Henderson e Pabbs

$$RU = ae^{-kt}$$

Newton

$$RU = e^{-kt}$$

Em que:

k : constantes de secagem

a, n: Constantes dos respectivos modelos matemáticos.

t: Tempo (min).

Para a modelagem utilizou o Software Origin e Excel. Os resultados das análises físico-químicas para acidez total titulável, vitamina C, sólidos solúveis, umidade e densidade dos frutos de murici in natura e murici desidratado foram expressos por meio de média e desvio padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas da polpa de murici in natura e desidratado por meio de liofilização e estufa com circulação de ar forçado com temperaturas de 60°C, 70°C e 80°C encontra-se na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 Resultados médios e desvio-padrão das análises físico-químicas realizadas nas amostras de polpa de murici (*Byrsonima ssp*) por 100 g em in natura e liofilizadas.

Parâmetros	In natura	Liofilizado
Umidade	82,29 ± 2,353	2,84 ± 0,774
Sólidos solúveis (°Brix)	11,02 ± 0,74	13,79 ± 1,25
Acidez titulável (% ác. cítrico)	0,61 ± 0,003	0,46 ± 0,004
Ácido ascórbico (mg)	15,56 ± 00,1	19,67 ± 0,065
Densidade	0,99 ± 0,052	1,05 ± 0,055

Valores médios obtidos de triplicatas ± Desvio Padrão.

Tabela 3 Resultados médios e desvio-padrão das análises físico-químicas realizadas nas amostras de polpa do murici (*Byrsonima ssp*) por 100 g, desidratadas por estufa com circulação de ar forçado em 60°C, 70°C e 80°C

Parâmetros	60°C	70°C	80°C
Umidade	1,94 ± 0,429	0,62 ± 0,62	0,06 ± 0,112

Sólidos solúveis (°Brix)	7,43 ± 0,10	6,84 ± 1,37	7,43 ± 0,10
Acidez titulável (% ác. cítrico)	0,39 ± 0,005	0,31 ± 0,01	0,31 ± 0,06
Ácido ascórbico (mg)	10,03 ± 0,00	9,82 ± 0,01	9,71 ± 0,056
Densidade	1.04 ± 0,064	1,35 ± 0,29	1,16 ± 0,080

Valores médios obtidos de triplicatas ± Desvio Padrão.

O teor de umidade da polpa de murici in natura obtida (82,29%, base úmida) obtiveram valores próximos aos encontrados na tabela do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1996), cujo valor foi de 82,80%. sendo este valor próximo ao encontrado por SILVA et al., (2008) que relataram um resultado de 80,64%, respectivamente. Essas diferenças podem ser explicadas pelos diversos tipos de cultivares e condições de plantio dos frutos.

A umidade da polpa do murici liofilizado (2,84%) se mantém dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA para produtos desidratados. A Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA preconiza que produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no máximo 25% de umidade (Brasil, 2005). Para a umidade de 60°C obtivemos 1,94% valor já bem baixo, assim como 70°C e 80°C, logo o tempo de secagem utilizado influenciou significativamente nos valores de umidade, obteve-se baixos valores de umidade o mais baixo foi de 0,06%.

Os resultados da acidez titulável do murici apresentaram diferenças significativas entre a polpa in natura e liofilizada e a polpa desidratada em temperaturas de 60°C e 70°C a 80°. A acidez diminuiu ligeiramente de acordo com o aumento de temperatura. A legislação brasileira não estabelece padrões de identidade para sucos ou produtos obtidos a partir do murici. No entanto, é possível encontrar esses dados para outros frutos mais conhecidos e que também apresentam características ácidas como o caju, por exemplo. Os padrões de qualidade e identidade de suco de caju integral de acordo com a IN 01/2000 estabelecem acidez total mínima de 0,30 g de ácido cítrico /100g de fruto. Para a polpa de manga, a legislação brasileira exige uma acidez mínima de 0,32 g de ácido cítrico/100 g. Desta forma, o murici pode ser considerado como potencial matéria prima para a produção de sucos integrais.

polpa de murici in natura apresentou valores ,significativamente inferiores a polpa liofilizada. O teor de sólidos solúveis totais é um importante fator de qualidade quanto ao sabor. O conteúdo é bastante desejável ao ponto de vista comercial. Assim, o aumento do conteúdo de sólidos solúveis a polpa pela liofilização favorecer sua comercialização. Para a desidratação por secagem em temperaturas de 60°C, 70°C e 80°C observou-se uma diminuição de sólidos

solúveis, essas variações, é da podem ser explicadas pela diversidade de cultivares e condições de plantio.

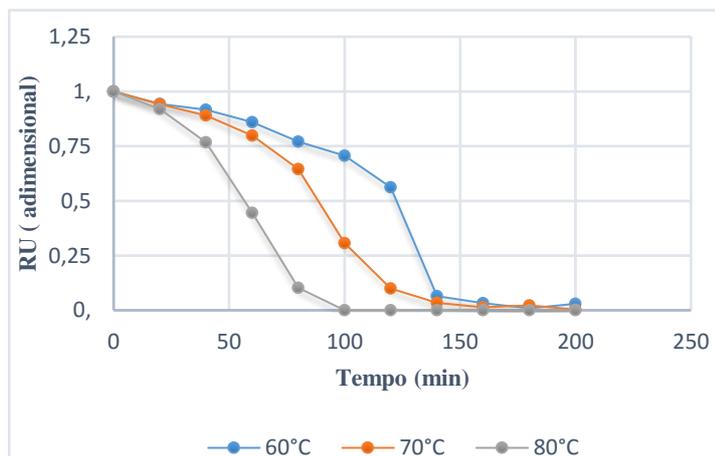
Os valores de ácido ascórbico diferiram, de acordo com o resultado expresso em matéria seca, houve uma redução de 35,53% do teor de vitamina C entre a polpa in natura e a desidratada em 60°, logo, para a de temperatura 70°C teve uma redução de 37% e para 80°C 38%, observando que o aumento de temperatura ocorre a redução de vitamina C, resultados semelhantes foram avaliados por Silva et al. (2008), em polpa de tamarindo desidratada a 70°C, obtiveram 23,54 mg/100 g de vitamina C, enquanto que o valor da polpa fresca foi de 36,73 mg/100 g. A vitamina C é uma vitamina hidrossolúvel e termolábil, sendo rapidamente oxidada quando exposta ao ar. Por esse motivo, ela é usada como índice de qualidade nutricional de produtos derivados de frutas e vegetais, porque quando comparado a outros nutrientes, esta vitamina é mais sensível à degradação durante o processamento.

Após o processamento por liofilização, verificou-se um aumento de cerca de 26,41% na concentração de vitamina C em relação ao teor na fruta in natura, possivelmente por ter perdido umidade aumentou a concentração deste componente, que corrobora os resultados obtidos por Forni et al. (1997), que observaram aumento significativo da concentração de vitamina C em damascos. Brandão et al. (2003), em estudo com mangas, observaram aumento no conteúdo de vitamina C na fruta após a desidratação

para a densidade não diferenças significativas tanto para a polpa in natura e desidratadas, obtiveram valor médio de $1,12 \pm 0,14 \text{ g/cm}^3$, no entanto tiveram densidades semelhantes.

Apresentam-se, na Figura 2, as curvas de secagem para a polpa de murici, às temperaturas de 60 , 70 e 80 °C.

Analisando-se as curvas de razão de umidade (RU), percebe-se que o aumento da temperatura favorece o processo de transferência de energia na forma de calor para as amostras, diminuindo, conseqüentemente, o necessário para o sólido atingir o equilíbrio dinâmico. O



mesmo comportamento foi observado por Kaleemullah & Kailappan (2006), Doymaz (2007) e Wang et al. (2007), estudando, respectivamente, as cinéticas de secagem de pimenta vermelha, feijão verde e maçã.

Figura 2- Curva de razão de umidade (RU), em função do tempo, para as secagens as temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C.

De acordo com a metodologia da modelagem aplicada ao estudo, na Tabela 4, tem-se um comparativo dos resultados obtidos do ajustes dos modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabbs e o de Newton aos dados experimentais, com a linearização destes modelos, para possibilitar o cálculo dos seus parâmetros, listados a seguir.

Tabela 04. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios médios (DM) dos modelos ajustados às curvas de secagem para as diferentes temperaturas avaliadas em polpa de murici

Modelo	Temperatura (C°)	Parâmetros			R^2	DM (%)
		a	K	n		
Pages	60		0,00004	2,1281	0,8702	13,43
	70	-	0,00005	2,1681	0,9490	6,69
	80		0,00006	2,3319	0,9490	4,27
Hend.&Pabbs	60	0,2982	0,02680	-	0,7965	89,16
	70	0,2089	0,03000		0,9269	90,52
	80	0,0810	0,03000		0,8549	95,74
Newton	60	-	0,02680	-	0,7965	63,64
	70		0,03000		0,9260	54,62
	80		0,03000		0,8549	47,21

Fonte: própria autoria

Em que:

a, k e n : Constantes dos respectivos modelos matemáticos.

t: Tempo (min).

DV: Desvio médio.

Analisando-se os parâmetros estimados (Tabela 4), observa-se que a magnitude da constante de secagem (k) para o modelo de Page, Henderson & Pabbs e o de Newton, que representa o efeito das condições externas de secagem, sofrem um aumento significativo com

a elevação da temperatura de secagem, o que é esperado. O parâmetro (k) aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem, pois, quanto maior a temperatura de secagem, mais facilidade o alimento terá em perder água livre. O mesmo ocorreu com o parâmetro n, resultados semelhantes foram observados por Rafiee et al. (2009), ajustando o modelo de Page aos dados experimentais da secagem de grãos de soja, aumento nos parâmetros (n) da equação.

Observa-se que independentemente do modelo, em temperatura de 60 a 80 °C os valores (k) teve um aumento. De acordo com Corrêa et al. (2010) o parâmetro (k) tende a aumentar visto que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem

.Para o modelo de Page parâmetro (n), teve um crescimento para a elevação da temperatura, para (Guedes & Faria, 2000) possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água.

No entanto o parâmetro (a) dos modelos de Henderson & Pabbs diminuiu, tornou-se notável que a elevação da temperatura para a faixa de 60 a 80°C, comportamento também verificado por Lema et al. (2007) que desidrataram salsa nas temperaturas de 35, 45, 55 e 65°C

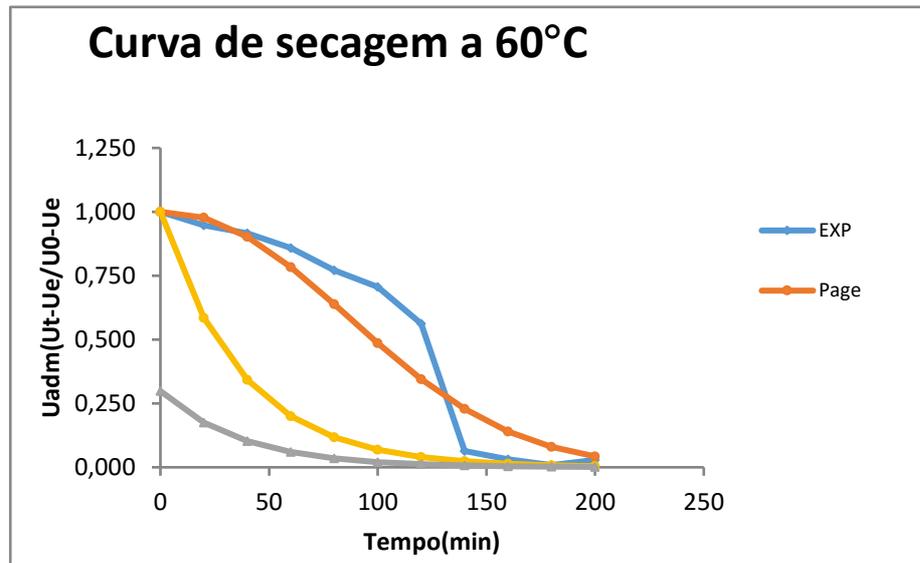
De acordo com os dados descritos do coeficiente de determinação R^2 na Tabela 4, observamos que os modelos empíricos utilizados ajustam satisfatoriamente os dados obtidos experimentalmente, onde R^2 em alguns dos casos são próximos a 99%. Foi possível analisar que em temperatura acima de 70°C teve uma maior aproximação do coeficiente de rendimento. Contudo, o critério de escolha do melhor modelo foi baseado nos maiores valores do R^2 e o menor desvio médio.

Após a obtenção desses parâmetros, foram geradas curvas teóricas para cada modelo sob as condições de secagem. Observou-se a curva experimental que é obtida pela média de três curvas dentro das mesmas condições de secagem, mostra que no intervalo de 20-40min a amostra começa a entrar em estado de operação, no intervalo de 40-120min temos a etapa da velocidade da taxa de secagem e no intervalo de 120-200min a taxa de secagem começa a decrescer.

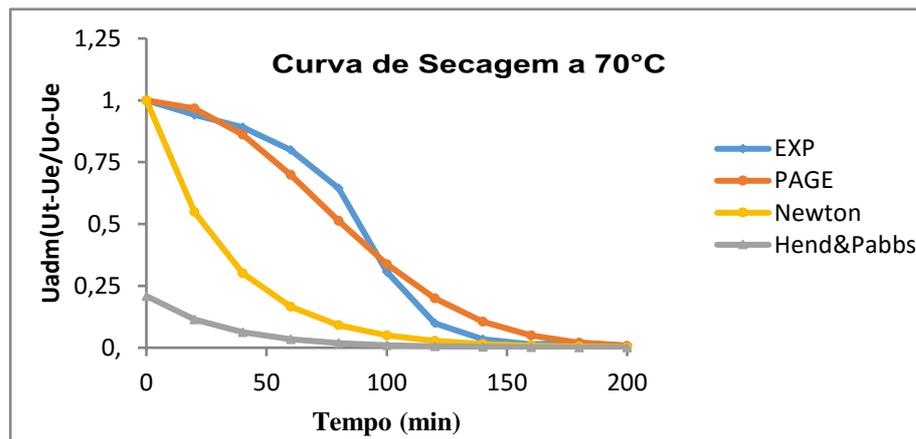
Os resultados para a modelagem, observa-se pelo gráfico da Figura 3 a, b e c que estão ilustrados os ajustes dos modelos para as temperaturas de 60, 70 e 80°C.

Figura 3- *Curvas de secagem ajustadas para os modelos utilizados.*

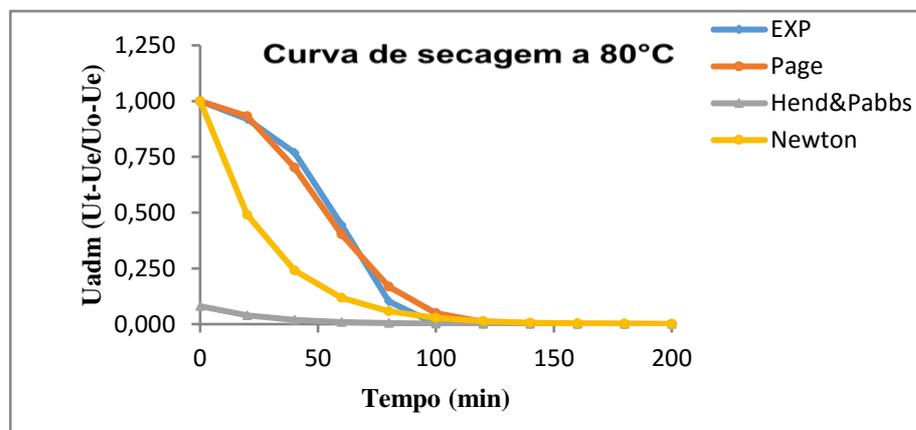
(a)



(b)



(c)



De acordo com a Figura 3a, possível observar a curva teórica que mais se aproximou da curva experimental foi a do modelo de Page, o que pode ser confirmado pelo valor do $R^2 =$

0,8702 sendo que, para as curvas de Newton e Henderson & Pabbs, o valor do R^2 foi de 0,7965, em ambos os casos. TELLIS et al. (2006) relataram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais na desidratação de uva Rubi para produção de passas. ALEXANDRE et al. (2009) verificaram que dentre os modelos de secagem estudados, o proposto por Page se ajustou satisfatoriamente às curvas de secagem obtidas experimentalmente para o abacaxi em fatia, com R^2 superior a 0,97.

No entanto foi observado um desvio médio de 13,43%, 89,16% e 63,64% para a umidade adimensional obtida por meio dos modelos de Page, Henderson & Pabbs e Newton, respectivamente, em relação à umidade adimensional obtida experimentalmente, até o tempo de 120 minutos de secagem, onde a umidade da polpa, praticamente se igual à umidade de equilíbrio. Outro fator importante que deve ser enfatizado é que nenhum dos três modelos avaliados leva em consideração a etapa de aquecimento da amostra, o que pode ser atribuído como uma possível razão para os desvios médios observados.

Com a Figura 3b com a temperatura de 70°C é observado que a umidade de equilíbrio é alcançada por volta de 160 min. O que deve ser enfatizado que houve uma melhor aproximação do modelo de Page com $R^2 = 0,9490$, comparado-se com os outros modelos selecionados. Observa-se elevada correlação entre os valores experimentais e os estimados e um comportamento satisfatório gerados por essas equações, aproximando-se das distribuições normais esperadas. Analisa-se que para essa temperatura obteve-se valores de desvio médio de 6,69%, 90,52% e 54,62% para os modelos de Page, Henderson & Pabbs e Newton respectivamente. Mostrando que o modelo de Page por apresentar os menores desvios e os melhores ajustes se destacou mediante aos outros modelos para a temperatura de 70°C Resultado semelhante ao de SILVA et al. (2009) que trabalhou com desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com a redução gradativa nos tempos sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem.

Para a figura 3c, fazendo-se uma correlação com as temperaturas citadas anteriormente de 60°C e 70°C, a curva obtida a 80°C mostra que o tempo para que a amostra entre em estado de umidade de equilíbrio é bem menor, pois a amostra chegou ao estado esperado por volta de 100 min, Novamente o modelo teórico que melhor descreve a curva experimental obtida a 80°C é o de Page o que pode ser observado pelo desvio médio obtido de 4,27%, 95,74% e 47,21% para o modelo de Page, Henderson & Pabbs e Newton respectivamente, como desvantagem todas as amostras sofreram reação de Maillard. Porta tanto entende-se que a temperatura é a variável de maior influência no processo. ALMEIDA et al. (2006) avaliando a cinética de

secagem em frutos de acerola, em um secador de leito fixo com temperatura de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 e 1,5 m s⁻¹, verificou-se que a temperatura foi o fator que apresentou maior influência nesse processo. GOUVEIA et al. (2003) também observaram que temperatura é fortemente influenciada na cinética de secagem de cajá.

De acordo com FORMOSO et al. (2009) o efeito da temperatura se deve à sua influência sobre o potencial de transferência de água do sólido para o ar de secagem, uma vez que o aquecimento do ar a temperaturas mais elevadas implica na redução de sua umidade relativa, afetando diretamente o potencial de transferência de massa. O aumento da temperatura pode também afetar as propriedades físicas da matriz sólida, afetando a difusão da água. BABALIS et al. (2006).

5. CONCLUSÃO

De acordo com as condições operacionais empregadas neste experimento concluiu-se que ambos os processos ocasionam perdas significativas nos constituintes do produto. Entretanto o processo de liofilização proporcionou uma menor perda se comparado ao processo de desidratação por estufa.

Diante dos resultados obtidos durante a secagem da polpa de murici nas temperaturas de 60, 70 e 80°C, conclui-se que dentre os modelos matemáticos aplicados, o modelo proposto por Page ajusta melhor os dados experimentais de secagem. Sobressaindo a secagem em temperatura de 70°C, por obter melhores valores de aproximação mediante o modelo, desta forma, uma satisfatória representação do fenômeno de secagem da polpa de murici.

6. REFERÊNCIA

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. **Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.2, p.123-128, 2009.

ALMEIDA, F. de A. C.; GOUVEIA, J.P.G. de.; ALMEIDA, F. de A.C.; SILVA, F.L.H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, p.145–151, 2006.

ALVES, G. L.; FRANCO, M. R. B. Headspace gas chromatography–mass spectrometry of volatile compounds in murici (*Byrsonima crassifolia* L. Rich). **Journal of Chromatography A, Amsterdam**, v. 985, n. 4, p. 297–301, 2003.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering, Oxford*, v. 65, n. 3, p. 449-58, 2004.

BABALIS, S. J.; PAPANICOLAOU, E.; KIRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. Evaluations of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, v. 75, n. 2, p.205-214, 2006.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P. L.; PARENTE, E. P. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “**Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**”, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005

CARNEIRO, J. G.M. Frutos e polpa desidratada buriti (*Mauritia flexuosa* L.): aspectos físicos, químicos e tecnológicos. *Revista Verde, Mossoró*, 2011.

Corrêa, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v.57, p.595-601, 2010.

Corrêa, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v.57, p.595-601, 2010.

CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*. Oxford: Clarendon Press, 1975.

DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 78, n. 4, p. 1291-1297, 2007

EMATER. **Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural**, Rondônia. Disponível em: . Acesso em 10 abril. 2019.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 pages, M.; Okos, M.R. **Drying theories; their bases and limitations as applied to foods and grains**. In: MUJUNDAR, A.S. (ed.). *Advances in drying*. New York: Science Press, 1980. p.153-162.

FORMOSO, V. C.; DAMY, P. C.; TELIS, V. R. N. Secagem por ar quente e degradação de ácido ascórbico em fatias de caqui. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2009, São José do Rio Preto. Anais....São José do Rio Preto: UNESP, 2009. CD-ROM.

FORNI, E. et al. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research International**, v. 30, n. 2, p. 87-94, 1997.

GAVA, Altanair Jaime. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1994.

GOUVEIA, J.P.G. de; ALMEIDA, F. de A.C.; FARIAS, E. da S.; SILVA, M.M. da. CHAVES, M. da C.V.; REIS, L.S. **Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Volume Especial, n.1, p.65-68, 2003.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F. A.; FONSECA JÚNIOR, E. M. Biometria de frutos e endocarpos de frutos de murici. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 84 – 91, 2006.

IBARZ, A.; BARBOSA-CANOVAS, G.V. **Deshidratación In operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos**. Basel: Lancaster, 1999. 855 p.

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 76, n. 4, p. 531-537, 2006.

KING, C.J. Spray drying of food liquids and volatiles retention. In: **Preconcentration and drying of food materials: Thijssen Memorial Symposium: proc of the International Symposium on Preconcentration and Drying of Foods, Eindhoven, The Netherlands, Nov 5-6, 1987/edited by S. Bruin**. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 147-162.

Lema, A.; Pontin, M.; Sanmartino, A.; Ziletti, M.; Martinello, M. Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v.11, p.875-882, 2007

MANNHEIM, C. H.; Liu, J. X.; Gilbert, S. G. Control of water in foods during storage. **Journal of Food Engineering**, n. 22, p. 509- 532, 1994.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 77, n. 1, p. 119-125, 2006.

ORDÓÑEZ, A.O. **Tecnología de alimentos**. São Paulo: Artmed 2005. v. 2, 228 p.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pera Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288- 292, 2001.

PHANINDRA KUMAR, H.S.; RADHAKRISHNA, K.; NAGARAJU, P.K.; VIJAYA RAO, D. Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin. **Journal of Food Processing Preservation**, Westport, v. 25, p. 447-460, 2001.

Rafiee, S. H.; Keyhani, A.; Sharifi, M.; Jafari, A.; Mobli, H.; Tabatabaeefar, A. Thin layer drying properties of soybean (Viliamz Cultivar). *Journal of Agricultural Science and Technology*, v.11, p.289-300, 2009.

REZENDE, C. M.; FRAGA, S. R. Chemical and aroma determination of the pulp and seeds of murici (*Byrsonima crassifolia* L.) **Journal Brazilian Chemistry Society**. São Paulo, v. 14, n. 3, p. 425-428, 2003.

ROCHA, D. C.; SANTOS, B. M.; SCHEID, C. M.; CALÇADA, L. A. Determinação dos coeficientes de difusão e convectivo na Secagem de sementes de nasturtium officinale (agrião). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 6, 2005, Campinas. **Resumos...** Campinas: 2005.

SACRAMENTO, C.K.; SOUZA, F. X. Cajá (*Spondias mombin* L.). **Jaboticabal: FUNEP**, (Série Frutas Nativas), 42p. 2000

SANTOS, G. L. dos. **Desidratação de Alimentos**. SENAI - RS – Departamento Regional, 2005. Disponível em: www.sbrt.ibict.br/upload/sbrt900.pdf. Acesso em: 22 maio. 2019.

SHIGEMATSU, E. et al. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SILVA, A. S.; MELO, K. dos S.; ALVES, N. M. C.; GOUVEIA, J. P. G. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.9, n.2, p.107-115, 2009.

SILVA, A.S. et al. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciênc. Agrotecnol.**, v. 32, p.1889-1905, 2008

TELIS, V.R.N.; LOURENÇO, V. A.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. Taxas de secagem de uva Rubi submetida a pré-tratamentos químicos para a produção de passas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p.503-509, 2006.

TINS, D.M.O. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.6, p.1790-1793, set, 2008.