



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JONAS DA SILVA

CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA DE CAQUI PELO MÉTODO *FOAM MAT*

POMBAL-PB

2018

JONAS DA SILVA

CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA DE CAQUI PELO MÉTODO *FOAM MAT*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal como requisito de aprovação para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof^a Msc. Georgiana Martins Vasconcelos

POMBAL-PB

2018

S586c Silva, Jonas da.
Cinética de secagem da polpa de caqui pelo método *Foam Mat* / Jonas da Silva. – Pombal, 2018.
32 f.: il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.
"Orientação: Profa. Dra. Georgina Maria Vasconcelos Martins".
Referências.

1. Polpa de Fruta - Caqui. 2. Modelagem Matemática. 3.
Desidratação. I. Martins, Georgina Maria Vasconcelos . II. Título.

CDU 634.45(043)

JONAS DA SILVA

CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA DE CAQUI PELO MÉTODO *FOAM MAT*

APROVADA EM: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a., Msc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins

CCTA/UATA/UFCG

Orientadora

Prof^a., Dra Sc. Alfredina dos Santos Araújo

CCTA/UATA/UFCG

Examinadora interna

MSc. Josiane Dantas Costa

CCT/PPGE/UFCG

Examinadora externa

POMBAL-PB

2018

Dedico aos meus pais João Neto Silva e Maria de Fátima Da Silva, as minhas irmãs Marília da Silva e Meriane da Silva, e ao meu irmão Jeunes da Silva. Minha base e fonte de inspiração, nada seria possível se não fosse pelo esforço e confiança deles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e força para vencer.

Aos meus pais João Neto Silva e Maria de Fátima Da Silva, as minhas irmãs Marília da Silva e Meriane da Silva, e ao meu irmão Jeunes da Silva. Minha caminhada foi possível graças ao esforço e apoio deles.

A dois professores em particular. Alfredina dos Santos Araújo e Georgiana Vasconcelos Martins pela paciência e ensinamentos durante a graduação.

Aos amigos que fiz durante a graduação: Lucimar Medeiros, Victor Souza, Juliana Nobrega, Samuel Alves. Sou grato eternamente por tudo que fizeram por mim.

A todos os amigos que mesmo distantes sempre me deram apoio e me incentivaram a correr sempre atrás dos meus sonhos: João Djane, Elvis Alves, Kleber Macêdo, Ronald Silva, Youngson Pereira, Pedro Henrique, Erlanio Ribério, Tadeu Lima, Geovane Freitas, Willame Candido. Todos sabem a imensa consideração e gratidão por cada um.

Aos amigos com que morei durante a graduação: Matheus Alencar, Junior Bezerra e Marcelino José.

Aos amigos que a universidade me deu aos longos dos anos: Mauro Junior, Ellan Ramalho, João Batista, Igor Brunno, Rayan Valério, Marcos Souza, Ulisses Guimarães, Tássio Godo, Djalma Fontes, Lucas Gil e Rosenberg Segundo.

A todos os professores e amigos do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (campus Iguatu). Em particular a professora Antônia Barbosa de Lima.

Por fim, a todas as pessoas que me incentivaram a crescer e a sempre buscar meus objetivos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cinética de secagem da polpa de caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo de batimento de 20, 25 e 30 minutos.	18
Figura 2 - Valores experimentais e estimados da razão de teor de água (RX) em função do tempo para a secagem do caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo de batimento de 20, 25 e 30 minutos de acordo com o modelo de Page.....	21
Figura 3 - Valores experimentais e estimados da razão de teor de água (RX) em função do tempo para a secagem do caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo de batimento de 20, 25 e 30 minutos de acordo com o modelo de Henderson & Pabis.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis das variáveis independentes para Planejamento $2^2 + 3$ de secagem de caqui em camada de espuma.	16
Tabela 2 - Matriz do Planejamento completo $2^2 + 3$ para secagem da polpa de caqui em camada de espuma.	16
Tabela 3 - Modelos para prever a cinética de secagem da polpa do caqui.	17
Tabela 4 - Parâmetros do modelo de Page e Henderson & Pabis e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadrados médios (DQM) do modelo ajustado à curva de secagem.	20
Tabela 5 - Estimativa do coeficiente de regressão e Teste T sobre as respostas da constante cinética do Modelo de Page.	23
Tabela 6 - Estimativa do coeficiente de regressão e Teste T sobre as respostas da constante cinética do Modelo de Henderson & Pabis.	24
Tabela 7 - Análise de variância do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para a constante cinética modelo de Henderson & Pabis.	24

SUMÁRIO

RESUMO	12
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	15
Matéria prima	15
Preparação da espuma e secagem	15
Cinética de secagem	16
Modelagem matemática.....	17
Análise estatística	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
Modelagem matemática da cinética de secagem da polpa de caqui.....	19
Efeitos das variáveis de temperatura (T) e tempo de batimento (t) sobre a cinética de secagem	22
Modelo de Page	23
Modelo de Henderson & Pabis.....	23
CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	25

SILVA, J. **Cinética de secagem da polpa de caqui pelo método *foam mat***. 2018. 32f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2018.

RESUMO

Os maiores problemas que envolvem as frutas perecíveis em geral, estão relacionados com o armazenamento e as tecnologias utilizadas. O processo de secagem em camada de espuma (*foam mat*) vem sendo empregado na conservação de alimentos, influenciando no tempo de preservação, qualidade e durabilidade desses produtos. Este trabalho teve por objetivo realizar o estudo da modelagem matemática na secagem da polpa de caqui em camada de espuma. O experimento foi realizado mediante um planejamento experimental 2^2+3 , avaliando a influência das variáveis de entrada, sendo temperatura (60, 70 e 80°C) e tempo de batimento (20, 25 e 30 minutos), utilizando estufa com circulação de ar forçada. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Page e Henderson & Pabis. O modelo que melhor ajustou aos dados experimentais da secagem foi o de Page, por apresentar melhores coeficientes de determinação (R^2) e desvio quadrado médio (DQM). Dentre os fatores estudados a temperatura apresentou uma grande influencia no processo visto que com sua elevação, o processo de secagem ocorreu de forma mais rápida.

Palavras chave: Modelagem matemática, desidratação, polpa de frutas.

SILVA, J. **Knee pulp drying kinetics by *foam mat* method**. 2018. 32f. Monography (Undergraduate in Food Engineering) - Federal University of Campina Grande, Pombal, 2018.

ABSTRACT

The biggest problems involving fruits perishables in general are related to the storage and technologies used. The foam mat drying process has been used in food preservation, influencing the preservation time, quality and durability of these products. The objective of this work was to study the mathematical modeling in the drying of persimmon pulp in foam layer. The experiment was carried out by means of a 2^2+3 experimental design, evaluating the influence of the input variables, temperature (60, 70 and 80 ° C) and beat time (20, 25 and 30 minutes) using an air circulating greenhouse force. The experimental data were adjusted to the mathematical models of Page and Henderson & Pabis. The model that best fitted the experimental data of the drying was Page, because it presented better coefficients of determination (R^2) and mean square deviation (DQM). Among the studied factors, the temperature had a great influence on the process since with its elevation, the drying process occurred more quickly.

Key words: Mathematical modeling, dehydration, fruit pulp

Trabalho de Conclusão de Curso segue as normas da Revista Ciência Agronômica (RCA) ISSN 0045 - 6888 que se encontra em anexo ao manuscrito.

1 **Cinética de secagem da polpa de caqui pelo método *foam mat***

2 Knee pulp drying kinetics by *foam mat* method

3

4 **RESUMO** - Os maiores problemas que envolvem as frutas e perecíveis em geral, estão
5 relacionados com o armazenamento e as tecnologias utilizadas. O processo de secagem em
6 camada de espuma (*foam mat*) vem sendo empregado na conservação de alimentos,
7 influenciando no tempo de preservação, qualidade e durabilidade desses produtos. Este
8 trabalho teve por objetivo realizar o estudo da modelagem matemática na secagem da polpa
9 de caqui em camada de espuma. O experimento foi realizado mediante um planejamento
10 experimental 2^2+3 , avaliando a influência das variáveis de entrada, sendo temperatura (60, 70
11 e 80°C) e tempo de batimento (20, 25 e 30 minutos), utilizando estufa com circulação de ar
12 forçada. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Page e
13 Henderson & Pabis. O modelo que melhor ajustou aos dados experimentais da secagem foi o
14 de Page, por apresentar melhores coeficientes de determinação (R^2) e desvio quadrado médio
15 (DQM). Dentre os fatores estudados a temperatura apresentou uma grande influencia no
16 processo visto que com sua elevação, o processo de secagem ocorreu de forma mais rápida.

17 **Palavras chave:** Modelagem matemática, desidratação, polpa de frutas.

18

19 **ABSTRACT** - The biggest problems involving fruits and perishables in general are related to
20 the storage and technologies used. The foam mat drying process has been used in food
21 preservation, influencing the preservation time, quality and durability of these products. The
22 objective of this work was to study the mathematical modeling in the drying of persimmon
23 pulp in foam layer. The experiment was carried out by means of a 2^2+3 experimental design,
24 evaluating the influence of the input variables, temperature (60, 70 and 80 ° C) and beat time
25 (20, 25 and 30 minutes) using an air circulating greenhouse force. The experimental data were

26 adjusted to the mathematical models of Page and Henderson & Pabis. The model that best
27 fitted the experimental data of the drying was Page, because it presented better coefficients of
28 determination (R^2) and mean square deviation (DQM). Among the studied factors, the
29 temperature had a great influence on the process since with its elevation, the drying process
30 occurred more quickly.

31 **Key words :** Mathematical modeling, dehydration, fruit pulp

INTRODUÇÃO

Os maiores produtores de caqui do mundo são China, Coréia, Japão, Espanha e Brasil (FAOSTAT, 2017), onde o Brasil se destaca como o quinto maior produtor mundial (CALIFORNIA AG. COMMISSIONERS, 2012).

O caqui (*Diospyros kaki*, Linn.) é uma fruta importante como fonte de proteínas, fibras, minerais, carboidratos, carotenóides, compostos fenólicos e vitaminas (DEL BUBBA et al., 2009; VEBERIC et al., 2010), difundida nos países asiáticos e espalhada em outras regiões do mundo, mais concretamente na Europa, devido à sua grande aceitabilidade de consumo e às características do clima mediterrâneo, que é adequado para o cultivo da maioria dos cultivares de caqui (DEL BUBBA et al., 2009).

Sua alta perecibilidade tem provocado grandes perdas do fruto durante o armazenamento que se devem, em maior importância, ao excesso de maturação, perda de firmeza, podridões e à incidência de escurecimento da casca dos frutos (PÊ et al., 2016). O potencial de conservação de um fruto está relacionado com o manejo adequado após a colheita, as condições climáticas durante a produção e com as tecnologias empregadas (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

A secagem é uma técnica de conservação que reduz o teor de água presente nos alimentos para limitar a disponibilidade de água no crescimento de microorganismos, desenvolvimento de reações químicas e enzimáticas que contribuem para a sua deterioração, prolongando a vida útil das matérias-primas e minimizando os custos de manuseio e distribuição (CHEN E MUJUMDAR, 2008).

O processo de secagem em camada de espuma (*foam mat*) consiste em uma técnica de conservação, no qual a pasta ou suspensão é transformada numa espuma estável, por meio de batida e incorporação de ar ou outro gás. Esta espuma é submetida à secagem utilizando ar aquecido, até o ponto em que impeça o desenvolvimento de alterações químicas e biológicas,

26 utilizando aditivos, onde ocorre a desintegração da massa seca em escamas e, finalmente a
27 obtenção do pó (GURJÃO, 2006 & BASTOS et al., 2005).

28 Considerando a importância do estudo da secagem de polpas de frutas e a limitação de
29 informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem da polpa de caqui,
30 objetivou-se neste trabalho ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais
31 da secagem, selecionando aquele que melhor represente o fenômeno.

32 MATERIAL E MÉTODOS

33 O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fisiologia Vegetal e no Laboratório
34 de Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, vinculado ao Centro de Ciências e Tecnologia
35 Agroalimentar – CCTA, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

36 **Matéria prima**

37 Os caquis utilizados no presente trabalho foram provenientes da CEASA da cidade de
38 Campina grande – PB. Os frutos foram inicialmente lavados em água corrente e em seguida
39 foram sanitizados com água clorada 50 ppm de cloro ativo por 10 min, para reduzir as
40 sujidades grosseiras aderidas a superfície e para a descontaminação dos frutos.

41 **Preparação da espuma e secagem**

42 Inicialmente foi feita o despulpamento da fruta utilizando um liquidificador industrial
43 de marca POLI®. Foi feita uma mistura da polpa de caqui com um emulsificante a base de
44 sacarose, monoglicerídeo destilado, éster de glicerol, estereato de potássio em glicerol e
45 propileno glicol (Aditivo), a qual foi submetida à agitação constante em uma batedeira
46 doméstica de marca ARNO® Facilita de 250 W para a obtenção da espuma com velocidade
47 mínima de batimento. Em seguida foram colocadas em bandejas circulares com espessura de
48 2 mm, e levadas a estufa de circulação forçada de ar para secagem nas temperaturas de 60, 70
49 e 80°C, conforme o planejamento experimental apresentado na Tabela 1.

50 **Tabela 1** - Níveis das variáveis independentes para Planejamento $2^2 + 3$ de secagem de caqui
 51 em camada de espuma.

Níveis	-1	0 (ponto central)	+1
Temperatura (°C)	60	70	80
Tempo de batimento (min.)	20	25	30

52

53 Na Tabela 2 está representada a matriz do planejamento completo para a secagem
 54 convectiva da polpa de caqui em camada de espuma.

55 **Tabela 2** - Matriz do Planejamento completo $2^2 + 3$ para secagem da polpa de caqui em
 56 camada de espuma.

Ensaio	Temperatura (codificada)	Tempo (codificado)	Temperatura (°C)	Tempo (Minutos)
E1	-1	-1	60	20
E2	-1	+1	60	30
E3	+1	-1	80	20
E4	+1	+1	80	30
E5	0	0	70	25
E6	0	0	70	25
E7	0	0	70	25

57

58 Cinética de secagem

59 Foi utilizado 80g de amostra (Espuma e polpa), onde a secagem foi acompanhada
 60 através da perda de peso com relação ao tempo. Para isso foi utilizado uma balança semi-
 61 analítica da marca BEL Engineering®, com máximo de 220g e mínimo 0,01g.

62 A porcentagem de teor de água foi calculada na base do peso úmido e o resultado final
 63 expresso pela média aritmética em porcentagens das sub-amostras, de acordo com a Equação
 64 1:

$$65 \quad \% \text{ Teor de água} = \frac{(P - p) \cdot 100}{(P - t)} \quad (1)$$

66 Em que: P: peso inicial, peso do recipiente e o peso da polpa úmida (g); p: peso final, peso do
67 recipiente e o peso da polpa seca (g); t: tara, peso do recipiente (g).

68 Para a determinação do teor de água em base seca, foi utilizada a Equação 2.

$$69 \quad X_{BS} = \frac{X_{BU}}{1 - X_{BU}} \quad (2)$$

70 Em que: X_{bs}: teor de água em base seca; X_{bu}: teor de água em base úmida.

71 Para determinação da razão do teor de água foi utilizado a equação 3:

$$72 \quad RX = \frac{X_{BS} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \quad (3)$$

73 Em que: X_e: teor de água de equilíbrio em base seca; X_{bs}: teor de água em base seca; X_{bs}
74 (inicial): teor de água inicial em base seca.

75 **Modelagem matemática**

76 Os dados experimentais da cinética de secagem foram ajustados para os dois modelos
77 apresentados na Tabela 3.

78 **Tabela 3** - Modelos para predizer a cinética de secagem da polpa do caqui.

Nome dos Modelos	Modelos	Referência
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page (1949)
Henderson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson & Pabis (1941)

79 RX é a razão de teor de água (adimensional); a e n são as constantes dos parâmetros dos modelos matemáticos.

80 Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi realizada uma
81 análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton, com 1000 interações e critério de
82 convergência 1×10^{-6} .

83 Para verificar o grau de ajuste do modelo, considerou-se a significância dos coeficientes
84 do modelo, as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), e o desvio quadrático médio
85 (DQM) conforme a equação 4.

86

$$87 \quad DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RX_{i,pro} - RX_{i,exp})^2}{N}} \quad (4)$$

88 Em que: $RX_{i,pre}$ é o valor estimado pelo modelo; $RX_{i,exp}$ é o valor observado
89 experimentalmente; N é o número de observações experimentais.

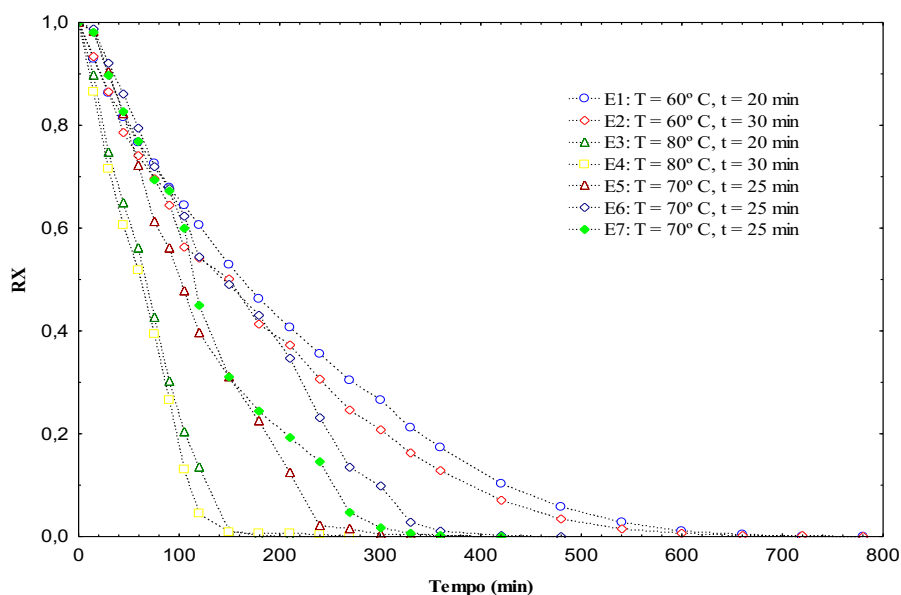
90 Análise estatística

91 Os parâmetros dos modelos propostos foram obtidos por análises de regressão não
92 linear utilizando-se o programa computacional STATISTICA, versão 7.0. Através do presente
93 estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de predizerem o comportamento das
94 variáveis dependentes (respostas) em função das variáveis independentes, na faixa adotada
95 para a análise das últimas.

96 RESULTADOS E DISCUSSÃO

97 A cinética de secagem da polpa de caqui em camada de espuma foi avaliada, a fim de
98 analisar a influência das variáveis de processo. Na Figura 1 estão apresentadas as curvas da
99 razão do teor de água (RX) em função do tempo (min), onde as variáveis de entrada são a
100 temperatura e tempo de batimento.

101 **Figura 1** - Cinética de secagem da polpa de caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo
102 de batimento de 20, 25 e 30 minutos.



104 Pode-se verificar na Figura 1, que a secagem a Temperatura de 80 °C e tempo de
105 batimento de 20 e 30 minutos (E3 e E4) atinge o equilíbrio mais rapidamente, esse resultado é
106 semelhante ao de Furtado et al. (2010) para secagem de polpa de seriguela pelo método de
107 camada de espuma com temperatura de 80°C. Tonon et al. (2009) ao estudar a influência do
108 ar de secagem no suco de açaí, observou que o uso de temperaturas mais altas acarreta maior
109 transferência de calor, e maior evaporação de água do produto.

110 Os ensaios E1 e E2, a secagem ocorreu de forma mais lenta, levando cerca de 780
111 minutos para atingir a secagem total. Já os ensaios E5, E6 e E7, a secagem total levou em
112 torno de 420 a 480 minutos para que fosse reduzido todo o teor de água presente na espuma.

113 Analisando-se as curvas de secagem da razão do teor de água (RX) em relação ao tempo
114 (Figura 1), percebe-se que o aumento da temperatura favoreceu o processo de transferência de
115 energia na forma de calor, diminuindo, conseqüentemente, o tempo de secagem. O tempo de
116 batimento não apresentou uma influência satisfatória na secagem visto que as curvas mostram
117 o mesmo comportamento durante o processo.

118 **Modelagem matemática da cinética de secagem da polpa de caqui**

119 A análise dos parâmetros é de fundamental importância para estudar o processo de
120 secagem, pois são capazes de predizer o comportamento da curva nas condições estudadas
121 indicando uma boa representação dos modelos aplicados.

122 A velocidade da reação de secagem é representada pelo valor da constante cinética k
123 que pode ser observada na Tabela 4, seu valor apresentou um comportamento distinto para
124 cada condição ajustada ao modelo de Page. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo
125 et al. (2013) utilizando o modelo de Page na secagem de polpa de mandacaru pelo método de
126 camada de espuma.

127 **Tabela 4** - Parâmetros do modelo de Page e Henderson & Pabis e seus respectivos
 128 coeficientes de determinação (R²) e desvios quadrados médios (DQM) do modelo ajustado à
 129 curva de secagem.

Modelo de Page				
Ensaio	Constantes do modelo		R² (%)	DQM
	k	N		
1	0,002471	1,114564	99,6	0,0033
2	0,003166	1,092885	99,6	0,0021
3	0,001193	1,543036	99,4	0,0003
4	0,001460	1,529639	98,9	0,0001
5	0,000682	1,502878	99,7	0,0006
6	0,000691	1,402640	99,0	0,0043
7	0,000477	1,535372	99,4	0,0015

Modelo de Henderson & Pabis				
Ensaio	Constantes do modelo		R² (%)	DQM
	n	K		
1	1,018141	0,004685	99,2	0,0065
2	1,018838	0,005287	99,4	0,0051
3	1,090311	0,014266	96,6	0,0249
4	1,079245	0,015651	96,3	0,0216
5	1,126015	0,008844	97,3	0,0304
6	1,116412	0,005584	95,1	0,0275
7	1,124114	0,007742	96,4	0,0310

130

131 Corrêa et al. (2010) afirmam que o parâmetro k tende a aumentar visto que maiores
 132 temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em
 133 menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem. Essa constante de secagem k está
 134 relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo a
 135 difusão líquida que controla o processo de secagem (SOUSA et al., 2011).

136 Nota-se, para o modelo de Henderson e Pabis (Tabela 4), que o parâmetro k aumentou
 137 com a elevação da temperatura. Comportamento análogo foi obtido por Leite et al, (2016)
 138 avaliando a cinética de secagem da carambola

139 O modelo com melhor ajuste foi o de Page obtendo coeficientes de determinação (R²)
 140 superiores ou iguais a 99,0 % e DQM com variações de 0,0001 e 0,0043. Madureira, et al,
 141 (2011) ao estudar a cinética de secagem da polpa de figo-da- índia obteve resultados análogos

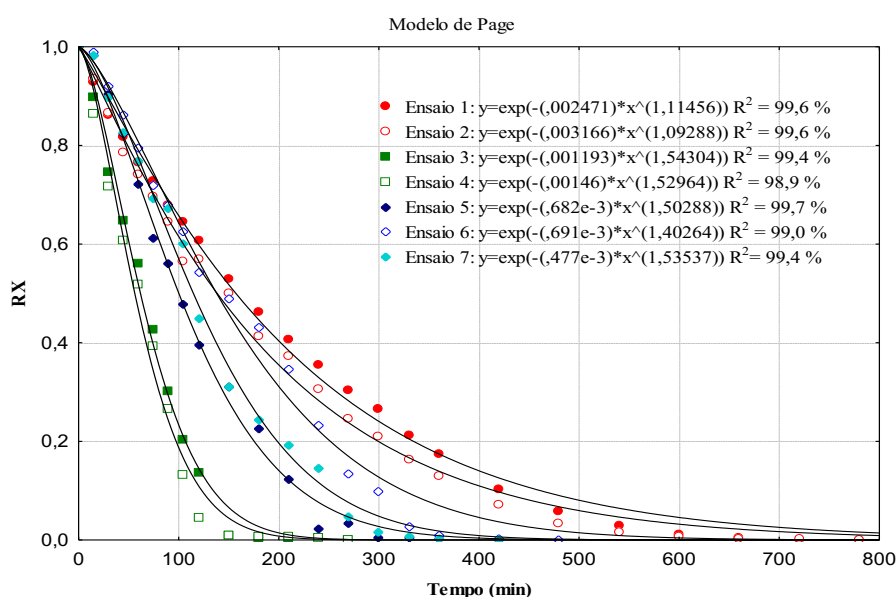
142 ao utilizar o modelo de Page para descrever a cinética de secagem, com coeficientes de
 143 determinação (R^2) superiores a 99,0 % e desvios quadráticos médios inferiores a 0,2.

144 O modelo de Henderson & Pabis também apresentou bons coeficientes de determinação
 145 (R^2) com valores de até 95,1 % e variações de DQM 0,0051 e 0,0310. Souza et al, (2011)
 146 utilizando o modelo de Henderson & Pabis para estudar a cinética de secagem da polpa de
 147 oiti, encontrou valores semelhantes, corroborando com os dados encontrados neste trabalho.

148 Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as curvas de secagem da polpa de caqui com
 149 ajustes pelos modelos de Page e Henderson & Pabis. Observa-se que as curvas geradas a
 150 partir dos modelos matemáticos aproximam-se bem dos pontos experimentais. O modelo de
 151 Page ajustou adequadamente aos dados de secagem, não sendo observada dispersão
 152 significativa dos pontos experimentais em relação às curvas de ajuste, estando, desse modo,
 153 em concordância com os valores de R^2 e DQM, confirmando ser o melhor modelo para
 154 estimar a cinética de secagem.

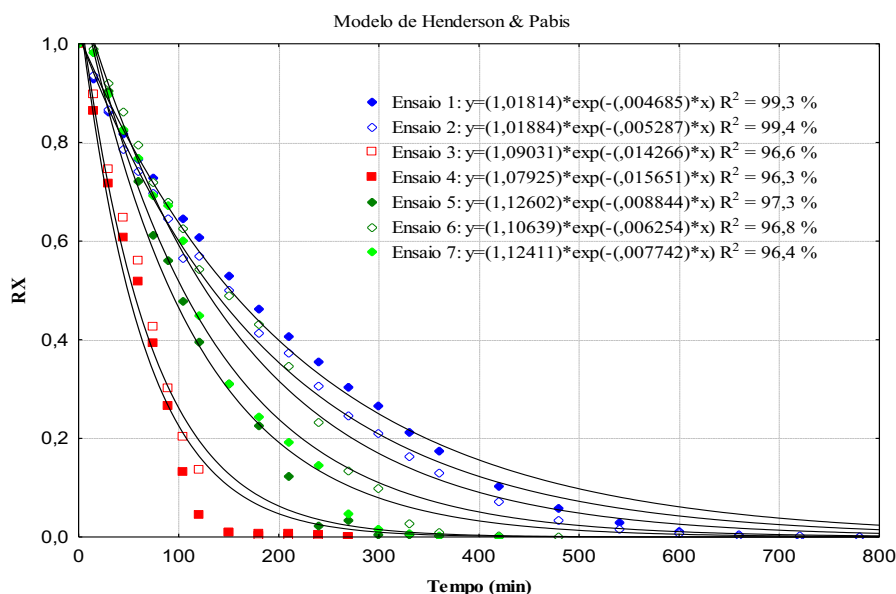
155 **Figura 2** - Valores experimentais e estimados da razão de teor de água (RX) em função do
 156 tempo para a secagem do caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo de batimento de
 157 20, 25 e 30 minutos de acordo com o modelo de Page.

158



159

160 **Figura 3** - Valores experimentais e estimados da razão de teor de água (RX) em função do
 161 tempo para a secagem do caqui nas temperaturas de 60, 70 e 80° C e tempo de batimento de
 162 20, 25 e 30 minutos de acordo com o modelo de Henderson & Pabis.



163

164 Pode-se observar a influência da temperatura sobre as curvas de secagem da polpa de
 165 caqui. O aumento da temperatura do ar de secagem faz com que ocorra uma maior taxa de
 166 remoção do teor de água na polpa. Segundo Mujumdar (2006), o processo pode-se classificar
 167 como adiabático, já que toda a energia aplicada convectivamente do ar para o produto chega
 168 até a polpa, evaporando a água contida em seu interior.

169 A perda de água que acontece durante a secagem para os ensaios é mais rápida no início
 170 do processo, visto que as curvas descrevem rapidamente e se mostram em equilíbrio quando
 171 o teor de água está próximo ao esgotamento.

172 **Efeitos das variáveis de temperatura (T) e tempo de batimento (t) sobre a cinética de** 173 **secagem**

174 A partir dos resultados experimentais das variáveis estudadas, estabeleceram-se os
 175 coeficientes de regressão a 5% de significância para o modelo de Page e Henderson e Pabis.
 176 Os resultados dos fatores Temperatura (T) e Tempo de batimento (t) e da interação entre eles
 177 podem ser observados na tabela 5 e 6.

178 **Modelo de Page**

179 Verifica-se na Tabela 5 que os parâmetros lineares das variáveis independentes,
180 temperatura, tempo de batimento e a interação entre eles foram significativos, uma vez que
181 para todos os valores dos coeficientes o “p-valor” foram inferiores 0,05.

182 **Tabela 5** - Estimativa do coeficiente de regressão e Teste T sobre as respostas da constante
183 cinética do Modelo de Page.

Fator	Coefficientes	Erro puro	Teste T	p-valor
Média	0,001716	0,000054	31,55757	0,001003
T	-0,000792	0,000109	-7,25239	0,018487
t	0,001181	0,000109	10,81007	0,008449
Txt	-0,000900	0,000110	-8,20390	0,014535
$R^2=56,72\%$				

184 Significativo a $p \leq 0,05$.

185
186 Em que, T é a temperatura e t é o tempo de batimento.

187 Observa-se que, a temperatura apresentou efeito negativo e o tempo de batimento
188 apresentou efeito positivo em relação a cinética de secagem. No entanto, não é indicado para
189 descrever o modelo de secagem da polpa de caqui, pois apresentou $R^2 = 56,72 \%$,
190 relativamente baixo indicando que seus pontos experimentais se apresentam distantes do
191 modelo previsto. Sugere-se que o delineamento experimental seja ampliado com a
192 incorporação de pontos axiais para enfim, averiguar se o modelo proposto seja significativo
193 e preditivo.

194 Segundo Barros Neto (1995), Scarminio e Bruns (2001); Khuri e Cornell (1996),
195 modelos com $R^2 < 0,60$ devem ser usados somente como indicadores de tendência, nunca para
196 fins preditivos.

197 **Modelo de Henderson & Pabis**

198 Verifica-se, na Tabela 6, que dentre parâmetros lineares das variáveis independentes:
199 temperatura, tempo de batimento e interação entre eles. Observa-se que apenas a temperatura
200 foi significativa, porque o valor do coeficiente do p-valor foi inferior a 0,05.

201 **Tabela 6** - Estimativa do coeficiente de regressão e Teste T sobre as respostas da constante
202 cinética do Modelo de Henderson & Pabis.

Fator	Coefficientes	Erro puro	Teste T	p-valor
Média	0,010475	0,000745	14,06441	0,005017
T	0,008986	0,001497	6,00484	0,026630
t	0,000007	0,001497	0,00488	0,996549
Txt	0,001358	0,001503	0,90370	0,461538

$R^2=90,86\%$

203 Significativo a $p \leq 0,05$.

204

205 Em que: T é a temperatura e t é o tempo de batimento.

206 A análise de variância (ANOVA) obtida para a constante cinética estimada para o modelo
207 de Henderson & Pabis está apresentado na Tabela 7.

208 **Tabela 7** - Análise de variância do modelo completo da tabela de regressão ($p \leq 0,05$) para a
209 constante cinética modelo de Henderson & Pabis.

Fonte de Variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F_{calc} ($p \leq 0,05$)	F_{Tab} ($p \leq 0,05$)
Regressão	1,067809E-04	2	1,067809E-04	49,71	6,940
Resíduos	1,074069E-05	4	2,148137E-06		
Falta de Ajuste	5,241031E-06	2	1,747010E-06	0,64	19,00
Erro Puro	5,499656E-06	2	2,749828E-06		
Total	1,175216E-04	6	1,134259E-04		

$R^2= 90,86\%$

210

211 O coeficiente de determinação da regressão (R^2) = 0,9086 para o modelo foi válido,
212 indicando que ele explica 90,86% da variação dos dados observados. O coeficiente de
213 determinação (R^2) mede a proporção da variação total da resposta que é explicada pelo
214 modelo. Desse modo, quanto maior o R^2 , isto é, quanto mais próximo de 1, menor será o erro
215 e melhor o modelo.

216 O modelo de regressão gerado foi significativo ($p \leq 0,05$) porque o ($F_{\text{calculado}}$) = 49,71
217 foi maior que o (F_{tabelado}) = 6,940. A falta de ajuste foi não significativa, sendo ($F_{\text{calculado}}$)=
218 0,64 menor que (F_{tabelado}) = 19,00. De acordo com Rodrigues & Iemma (2009), o modelo
219 pode ser considerado estatisticamente significativo quando o valor de ($F_{\text{calculado}}$) for superior a
220 duas vezes o valor de (F_{tabelado}), conforme ocorreu neste processo.

221 A partir dos resultados da média quadrática observam-se valores extremamente baixos
222 de $1,0678 \times 10^{-4}$ até $2,7498 \times 10^{-6}$, assim, os testes de significância para a falta de ajuste devem
223 ser considerados irrelevantes, resultados semelhantes foram encontrados por Souza
224 & Menezes (2008).

225 CONCLUSÃO

226 1. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou a cinética de secagem da polpa de caqui em
227 camada de espuma por apresentar o melhor coeficiente de determinação (R^2) e menor desvio
228 quadrático médio.

229 2. A temperatura influencia no processo de secagem, pois, quanto maior a temperatura de
230 secagem, mais rápido a polpa de caqui atinge seu equilíbrio termodinâmico.

231 3. Com relação ao delineamento experimental avaliado $2^3 + 3$ não foi possível, a partir do
232 modelo linear proposto, avaliar estatisticamente a influencia dos fatores, indicando que há
233 necessidade de ampliação da matriz experimental para que tenha resultados mais conclusivos
234 sobre a influência da temperatura e tempo de batimento na cinética de secagem da polpa de
235 caqui.

236 REFERÊNCIAS

237 BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAUJO, K. G. L; VERRUMA-BERNARDI, M. R.
238 Desidratação da polpa de manga “tommy atkins” utilizando a técnica de foam mat drying -
239 avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal Food and Technology**,
240 v. 8, n. 4, p.283-290, out./dez. 2005.

241 California Ag. Commissioners, 2012. Crop year. Available at:
242 <http://fruitandnuteducation.ucdavis.edu/education/fruitnutproduction/Persimmon/>

243 CHEN, X.D., MUJUMDAR, A.S.. Drying Technologies in Food Processing. Blackwell
244 Publishing Ltd, United Kingdom, 2008.

- 245 CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e
246 manuseio. 2. ed., **Lavras: UFLA**, p. 785, 2005.
- 247 CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.;
248 CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades
249 termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**,
250 Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- 251 SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Otimização do processo de extrusão termoplástica da
252 mistura castanha do Brasil com farinha de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.
253 28, n. 3, p. 659-667, 2008.
- 254 DEL BUBBA, M., GIORDANI, E., PIPPUCCI, L., CINCINELLI, A., CHECCHINI, L., &
255 GALVAN, P. Changes in tannins, ascorbic acid and sugar content in astringent persimmons
256 during on-tree growth and ripening and in response to different postharvest treatments.
257 **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n(7-8), p. 668-677, 2009.
- 258 FAOSTAT, 2017. Homepage. Available at: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- 259 FURTADO, G. F.; SILVA, F.S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela
260 pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12,
261 n.1, p.9-14, 2010.
- 262 GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo**
263 **(*Tamarindus indica* L.)**. 165 f. (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da
264 Paraíba, Areia, 2006.
- 265 HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying
266 coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3 p.169-174, 1961.
- 267 LEITE, D. D. F. et al. Avaliação da cinética de secagem da carambola em secador convectivo.
268 **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 01-04, 2016.

- 269 MADUREIRA, A. I. et al. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira**
270 **de Produtos Agroindustriais**, v. 13, p. 345-354, 2011.
- 271 MELO, S. D. K. et al. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru:
272 experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, 2013.
- 273 MUJUMDAR, A. S. Principles, classification and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A. S.
274 Handbook of industrial drying. 3. ed. 50 p, Boca Raton: CRC Press, 2006.
- 275 PAGE, G. E. Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. Thesis
276 Dissertation (M.Sc.) – Purdue University, Indiana, 1949.
- 277 PÊ, P. R., CARNEIRO, G. G., PÊ, F. R., DE CASTRO, D. S., SILVA, D. R. S., &
278 MARQUES, L. F. Secagem de polpa de caqui pelo método de camada de espuma. *Holos*, v.
279 4, p. 77-85, 2016.
- 280 RODRIGUES, M. I.; IEMMA A. F. Planejamento de experimentos e otimização de
281 processos. Campinas: Casa do Pão Editora, 2.ed., 325p, 2009.
- 282 SOUSA, D. C. F. et al. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de
283 polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.
- 284 SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do
285 nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4,
286 p. 883-892, 2011.
- 287 TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of dryng air temperature and
288 carrier agent concentration on the physicochemical properties of acai juice powder. **Ciência e**
289 **Tecnologia de Alimentos Campinas**, v. 2, n. 29, p. 444-450, 2009.

290 Veberic, R., Jurhar, J., Mikulic-Petkovsek, M., Stampar, F., Schmitzer, V. Comparative study
291 of primary and secondary metabolites in 11 cultivars of persimmon fruit (*Diospyros kaki* L.).
292 **Food Chem.** 119, 477_483, 2010.

ANEXO

Formatação do Artigo

DIGITAÇÃO: no máximo 20 páginas digitadas em espaço duplo (exceto Tabelas), fonte Times New Roman, normal, tamanho 12, recuo do parágrafo por 1 cm. Todas as margens deverão ter 2,5 cm. As linhas devem ser numeradas de forma contínua.

ESTRUTURA: o trabalho deverá obedecer à seguinte ordem: título, título em inglês, resumo, palavras-chave, abstract, key words, introdução, material e métodos, resultados e discussão, conclusões, agradecimentos (opcional) e referências.

TÍTULO: deve ser escrito com apenas a inicial maiúscula, em negrito e centralizado na página com no **máximo 15 palavras**. Como chamada de rodapé numérica, extraída do título, devem constar informações sobre a **natureza do trabalho** (se extraído de tese/dissertação, se pesquisa financiada,...) e referências às instituições colaboradoras. Os subtítulos: Introdução, Material e métodos, Resultados e discussão, Conclusões, Agradecimentos e Referências devem ser escritos em caixa alta, em negrito e centralizados.

AUTORES: na primeira versão do artigo submetido, os nomes dos autores e a nota de rodapé deverão ser omitidos. Somente na versão final o artigo deverá conter o nome de todos os autores com identificação em nota de rodapé, inclusive a do título. Os nomes completos (sem abreviaturas) deverão vir abaixo do título, somente com a primeira letra maiúscula, um após outro, separados por vírgula e centralizados na linha. Como nota de rodapé na primeira página, deve-se indicar, de cada autor, afiliação completa (departamento, centro, instituição, cidade, estado e país), endereço eletrônico e endereço completo do autor correspondente. O autor de correspondência deve ser identificado por um "*". **Só serão aceitos artigos com mais de cinco autores, quando, comprovadamente, a pesquisa tenha sido desenvolvida em regiões distintas (diferentes).**

RESUMO e ABSTRACT: devem começar com estas palavras, na margem esquerda, em caixa alta e em negrito, contendo no máximo **250 palavras**.

PALAVRAS-CHAVE e KEY WORDS: devem conter entre três e cinco termos para indexação. Os termos usados não devem constar no título. Cada **palavra-chave e key word** deve iniciar com letra maiúscula e ser seguida de ponto.

INTRODUÇÃO: deve ser compacta e objetiva contendo citações atuais que apresentem relação com o assunto abordado na pesquisa. As citações presentes na introdução devem ser empregadas para fundamentar a discussão dos resultados, criando, assim, uma contextualização entre o estudo da arte e a discussão dos resultados. Não deve conter mais de **550 palavras**.

CITAÇÃO DE AUTORES NO TEXTO: a NBR 10520/2002 estabelece as condições exigidas para a apresentação de citações em documentos técnico-científicos e acadêmicos. Nas citações, quando o sobrenome do autor, a instituição responsável ou título estiver incluído na sentença, este se apresenta em letras maiúsculas/minúsculas, e quando estiverem entre parênteses, em letras maiúsculas.

Ex: Santos (2002) ou (SANTOS, 2002); com dois autores ou três autores, usar Pereira e Freitas (2002) ou (PEREIRA; FREITAS, 2002) e Cruz, Perota e Mendes (2000) ou (CRUZ; PEROTA; MENDES, 2000); com mais de três autores, usar Xavier *et al.* (1997) ou (XAVIER *et al.*, 1997).

VÁRIOS AUTORES CITADOS SIMULTANEAMENTE: havendo citações indiretas de diversos documentos de vários autores mencionados simultaneamente e que expressam a mesma idéia, separam-se os autores por ponto e vírgula, **em ordem alfabética**, independente do ano de publicação.

Ex: (FONSECA, 2007; PAIVA, 2005; SILVA, 2006).

SIGLAS: quando aparecem pela primeira vez no texto, deve-se colocar o nome por extenso, seguido da sigla entre parênteses.

Ex: De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [...].

TABELAS: devem ser numeradas consecutivamente com algarismos arábicos na parte superior. Não usar linhas verticais. As linhas horizontais devem ser usadas para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma no final da tabela. Cada dado deve

ocupar uma célula distinta. Usar espaço simples. Não usar negrito ou letra maiúscula no cabeçalho.

FIGURAS: gráficos, fotografias ou desenhos levarão a denominação geral de **Figura** sucedida de numeração arábica crescente e legenda na parte superior. Para a preparação dos gráficos deve-se utilizar “softwares” compatíveis com “Microsoft Windows”. As figuras devem apresentar 8,2 cm de largura, não sendo superior a 17 cm. A fonte Times New Roman, z corpo 10 e não usar negrito na identificação dos eixos. A Revista Ciência Agronômica reserva-se ao direito de não aceitar tabelas e/ou figuras com o papel na forma “paisagem” ou que apresentem mais de 17 cm de largura. **Tabelas e Figuras devem ser inseridas logo após a sua primeira citação.**

Obs.: As figuras devem ser também enviadas em arquivos separados e com RESOLUÇÃO de no mínimo 500 dpi através do campo “Transferir Documentos Suplementares”.

EQUAÇÕES: devem ser digitadas usando o editor de equações do Word, com a fonte Times New Roman. As equações devem receber uma numeração arábica crescente. O padrão de tamanho deverá ser:

Inteiro = 12 pt

Subscrito/sobrescrito = 8 pt

Sub-subscrito/sobrescrito = 5 pt

Símbolo = 18 pt

Subsímbolo = 14 pt

ESTATÍSTICA:

1. Caso tenha realizado análise de variância, apresentar o "F" e a sua significância;
2. Dados quantitativos devem ser tratados pela técnica de análise de regressão;
3. Apresentar a significância dos parâmetros da equação de regressão;
4. Dependendo do estudo (ex: função de produção), analisar os sinais associados aos parâmetros.
5. É requerido, no mínimo, quatro pontos para se efetuar o ajuste das equações de regressão.
6. Os coeficientes do modelo de regressão devem apresentar o seguinte formato:

$$y = a + bx + cx^2 + \dots;$$

CONCLUSÕES: quando escritas em mais de um parágrafo devem ser numeradas.

AGRADECIMENTOS: logo após as conclusões poderão vir os agradecimentos direcionados a pessoas ou instituições, em estilo sóbrio e claro, indicando as razões pelas quais os faz.

REFERÊNCIAS: são elaboradas conforme a ABNT NBR 6023/2002. Inicia-se com a palavra REFERÊNCIAS (escrita em caixa alta, em negrito e centralizada). Devem ser digitadas em fonte tamanho 12, espaço duplo e justificadas. **UM PERCENTUAL DE 60% DO TOTAL DAS REFERÊNCIAS DEVERÁ SER ORIUNDO DE PERIÓDICOS CIENTÍFICOS INDEXADOS COM DATA DE PUBLICAÇÃO INFERIOR A 10 ANOS. Não são contabilizadas neste percentual de 60% referências de livros. Não serão aceitas nas referências citações de Resumos, Anais, Comunicados Técnicos, Monografias, Dissertações e Teses.** Com relação aos periódicos, é dispensada a informação do local de publicação, porém os títulos não devem ser abreviados. Recomenda-se um total de 20 a 30 referências.

Alguns exemplos:

- Livro

NEWMANN, A. L.; SNAPP, R. R. **Beef cattle**. 7. ed. New York: John Willey, 1977. 883 p.

- Capítulo de livro

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. *In*: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1987. cap. 13, p. 539-593.

- Artigo de revista

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; BOTREL, M. A. Resposta de *Cratylia argentea* à aplicação em um solo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 1, p. 14-18, 1997.

ANDRADE, E. M. *et al.* Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 280-287, 2006.