

Cinética de secagem e qualidade fisiológica de sementes de milho

Drying kinetics and physiological quality of corn seeds

Filipe Beserra da Silva¹, Samuel Gonçalves Ferreira dos Santos^{2,*}, Vinícius Gonçalves Almeida², Gabriel Pamphilly Lima Rezende¹, Isadora Ritielly Rodrigues Xavier² e Renato Souza Rodovalho¹

¹ Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, Goiás, Brasil

² Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

(*E-mail: samuel-2100@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.27094>

Recebido/received: 2022.04.30

Aceite/accepted: 2022.05.17

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, determinar e modelar a cinética de secagem de sementes de milho em diferentes temperaturas bem como avaliar a qualidade fisiológica das mesmas após a secagem. A secagem das sementes de milho foi realizada mantendo-se as temperaturas controladas de 30, 40, 50 e 60 °C durante os períodos de 84,3; 20,0; 14,3 e 8,6 horas, respectivamente. Com os dados experimentais, ajustaram-se diversos modelos matemáticos para descrever a cinética de secagem e, o melhor modelo, foi escolhido por critérios estatísticos. Após a secagem, as sementes foram submetidas às análises de condutividade elétrica, germinação, emergência e índice de velocidade de germinação (IVG). O modelo Midilli Modificado foi o que melhor representou a cinética de secagem das sementes de milho. Constata-se que o incremento de temperatura do ar de secagem afeta a viabilidade das sementes, pelo aumento da condutividade elétrica da solução. A germinação, emergência e o IVE tiveram seus valores reduzidos pelo aumento de temperatura. Conclui-se que a qualidade fisiológica das sementes de milho é afetada pela temperatura do ar de secagem e que as temperaturas mais elevadas promovem maiores danos às sementes. Recomenda-se a temperatura de 30°C para realização da secagem das sementes.

Palavras-chave: Vigor, Modelagem matemática, *Zea mays* L.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine and model the drying kinetics of organic corn seeds at different temperatures, as well as to evaluate their physiological quality after drying. The drying of organic corn seeds was carried out by keeping controlled temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C during periods of 84.3; 20.0; 14.3 and 8.6 hours, respectively. With the experimental data, several mathematical models were adjusted to describe the drying kinetics, and the best model was chosen by statistical criteria. After drying, the seeds were subjected to analyzes of electrical conductivity, germination, emergence and germination speed index (IVG). The Modified Midilli model was the one that best represented the drying kinetics of organic corn seeds. It was verified that the increase in the temperature of the drying air promotes greater damage to the seeds, due to the increase in the electrical conductivity of the solution. Germination, emergence and IVE had their values reduced by temperature increase. It is concluded that the physiological quality of organic corn seeds is affected by the drying air temperature and that higher temperatures promote greater damage to the seeds. A temperature of 30 °C is recommended for drying the seeds.

Keywords: Vigor, Mathematical Modeling, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

A semente consiste em um insumo básico para a produção de alimentos (Jilito *et al.*, 2020), pois nela está contida a informação para o desenvolvimento de uma futura planta (Chable *et al.*, 2020). Para que a semente conserve as suas características germinativas é necessário um adequado armazenamento, pois, após a colheita, a semente continua num processo contínuo de respiração e deterioração natural (Marcos Filho, 2015).

Neste contexto, a secagem consiste num processo de extrema importância na tecnologia de alimentos, pois permite o manuseio de produtos de alta qualidade, preservando suas propriedades físicas e químicas e reduzindo o teor de água a valores adequados para armazenamento (Jorge *et al.*, 2021). A secagem pode ser estimada por meio de curvas ajustadas a dados experimentais por modelos de regressão não-lineares frequentemente usados para estimar esse processo (Sousa *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2019).

A secagem e o armazenamento da semente devem garantir a qualidade da semente, pois, a utilização de sementes de alta qualidade é um fator fundamental para a colheita promissora (Ferreira *et al.*, 2017). Em função disso, é de suma importância a realização de testes em laboratórios e em campo para a avaliação do vigor de sementes (Rocha *et al.*, 2015). Esses testes podem ser o teste de germinação de sementes (Marcos Filho, 2015); o índice de velocidade de emergência (Krzyzanowski *et al.*, 1999) e o de condutividade elétrica (Lemes *et al.*, 2015).

Diversos trabalhos foram realizados com o objetivo de estudar o processo de secagem em milho, seja semente ou grão. Souza e Ruffato (2021) estudaram o processo de secagem natural e seu efeito na qualidade de grãos de milho. Os autores verificaram que a redução do teor de água promoveu aumento da massa específica aparente e unitária dos grãos, enquanto que a qualidade fisiológica, não foi influenciada. Já Coradi *et al.* (2020), estudaram a influências da temperatura de secagem e das condições de armazenamento na preservação da qualidade do milho pós-colheita. De forma geral, os autores observaram que o aumento da temperatura do ar de secagem acelerou a redução do teor de água do grão, no entanto, aumentou a

deterioração. Em relação ao armazenamento, foi verificado que a armazenagem hermética e arejada manteve a qualidade química dos grãos de milho.

Diante da importância do armazenamento adequado das sementes de milho, objetivou-se com o presente trabalho determinar e modelar a cinética de secagem de sementes de milho orgânico em diferentes temperaturas bem como avaliar a qualidade fisiológica das mesmas após a secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. As sementes de milho orgânico cultivar ‘BRS Caimbé’ foram adquiridas à Empresa Grãos Orgânicos Ltda, localizada em Minas Gerais, no município de Fortuna, Brasil. As sementes foram adquiridas com teor de água inicial de aproximadamente 10,64v% base úmida (b.u).

Para a realização da secagem foi necessário realizar o processo de umedecimento das sementes de milho orgânico, com o intuito de elevar o teor de água de 10,64 para 20 % (b.u). Dessa forma, adicionou-se água destilada às amostras e, posteriormente, estas foram acondicionadas em geladeira por 4 dias. Após o processo de umedecimento, o teor de água das sementes em base seca (b.s) foi determinado utilizando o método de estufa ventilada a 105 ± 1 °C durante 24-h, em triplicado (Brasil, 2009).

Em seguida, as sementes foram secas em estufa de circulação forçada a 30, 40, 50 e 60 °C. As sementes foram secas até atingirem o teor de água adequado ($11\% \text{ kg}^{-1}$ peso seco) para armazenamento (Silva *et al.*, 2008). Para cada temperatura, quatro repetições de aproximadamente 250 g de sementes foram dispostas em bandejas de metal em uma única camada. O teor de água das sementes foi monitorado por gravimetria, por meio da pesagem das sementes periodicamente em balança analítica (resolução de 0,01 g).

Ao final do processo de secagem, foi determinado o teor de água em base seca, e posteriormente, realizado o cálculo da razão do teor de água (RX) durante os processos de secagem pela equação 1.

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_i - X_e)} \quad (1)$$

Em que: X - teor de água do produto, decimal b.s.;
 X_i - teor de água inicial do produto, decimal b.s.;
 X_e - teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

O teor de umidade de equilíbrio das sementes sob cada condição de secagem foi calculado usando o modelo de Oswin Modificado, cujos valores foram 11,68, 11,16, 10,65 e 10,13 % (b.s.), respectivamente, para temperaturas de 30, 40, 50 e 60 ° C. Já a umidade relativa do ar de secagem foi de 46% para todas as condições de secagem. Este modelo foi recomendado por Smaniotto *et al.* (2012) para estimar a dessorção isotermas de sementes de milho cultivar 'AG 7088'.

A partir do RX de cada condição de secagem, realizou-se o ajuste de diferentes modelos matemáticos não-lineares, frequentemente utilizados para representar a cinética de secagem de produtos agrícolas, conforme o Quadro 1 (Alves *et al.*, 2013; Moscon *et al.*, 2017; Smaniotto *et al.*, 2017).

Na seleção dos melhores modelos para representar a cinética de secagem de sementes de milho orgânico, foram considerados a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t a $p \leq 0,05$, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (P), o teste de qui-quadrado (χ^2) e o desvio padrão de estimativa (SE).

Para a recomendação do modelo matemático de

cinética de secagem, foi verificado o R^2 mais próximo à magnitude, valores de P abaixo de 10% e os valores de SE e χ^2 mais próximos de zero. Os valores do desvio padrão da estimativa (SE), teste de qui-quadrado (χ^2) e o erro médio relativo (P) foram calculados pelas equações 13, 14 e 15.

$$SE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (14)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (15)$$

em que:

N - número de observações experimentais;

Y - razão de teor de água experimental;

\hat{Y} - razão de umidade predito; e,

GLR - grau de liberdade do resíduo.

Para escolher um único modelo de regressão que melhor descreve o processo de secagem das sementes de milho orgânico, critérios adicionais foram usados. Para os modelos que obtiveram melhores ajustes de acordo com os critérios listados anteriormente, o Critério de Informação de Akaike (AIC)

Quadro 1 - Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem

Designação do modelo	Modelo	Nº
Aproximação por Difusão	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot b \cdot t)$	2
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_2 \cdot t)$	3
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	4
Henderson e Pabis Modificado	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_2 \cdot t)$	5
Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	6
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	7
Newton	$RX = \exp(-k \cdot t)$	8
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	9
Midilli modificado	$RX = \exp(-k \cdot t^n) + a \cdot t$	10
Page modificado	$RX = \exp(-(k \cdot t^n))$	11
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	12

Em que: RX - razão do teor de água do produto (adimensional); t - período de secagem, horas; k, k_1 , k_2 , coeficiente de secagem; a, b, c e n - constantes empíricas dos modelos.

e o Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) foram calculados usando as equações 16 e 17:

$$AIC = -2 \log \text{like} + 2p \quad (16)$$

$$BIC = -2 \log \text{like} + 2p \ln(n) \quad (17)$$

Onde:

p - número de parâmetros do modelo;

n - número total de observações; e,

loglike - valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

Após a secagem em cada temperatura, a qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelo teste de germinação, primeira contagem de germinação (Brasil, 2009), condutividade elétrica (Vieira & Krzyzanowski, 1999), emergência (Nakagawa, 1994, 1999) e índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) (Maguire, 1962). Todos os testes foram realizados com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo constituído de quatro temperaturas de secagem (30, 40, 50 e 60 °C). Os testes de qualidade fisiológica foram submetidos a análise de regressão a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água das sementes de milho orgânico após o umedecimento foi de aproximadamente 30 % b.s. (Figura 1). Os tempos de secagem necessários para reduzir o teor de água das sementes para 11% foram 84,3, 20,0, 14,3 e 8,6 horas, respectivamente, para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. A redução no tempo de secagem pode ser explicada pela maior taxa de retirada de água observada em temperaturas mais elevadas (Silva *et al.*, 2018) (Figura 1).

No trabalho de Coradi *et al.* (2016), referente a secagem de sementes de milho em secador de fluxo

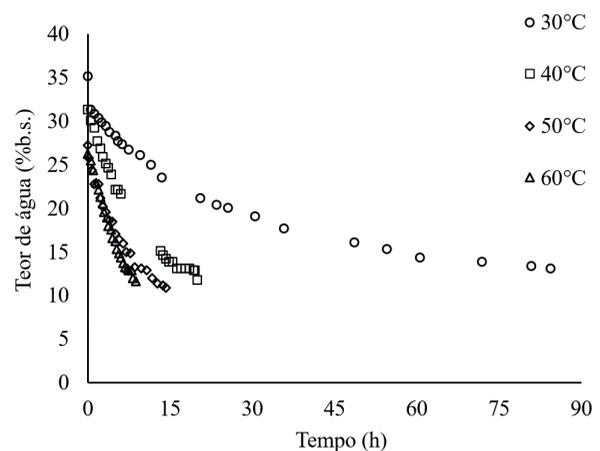


Figura 1 - Teor de água durante a secagem das sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas.

contínuo, foi observado que a elevação da temperatura do ar de secagem promoveu o aumento da remoção de água da semente e, conseqüentemente, a diminuição do tempo de secagem. Já Paraginski *et al.* (2015), observaram que durante o armazenamento e a secagem de sementes de milho em ambiente semi- hermético, ocorreu a diminuição constante do teor de água a partir da temperatura de 35 °C.

No Quadro 2 são apresentados os valores do coeficiente de determinação, erro médio estimado, erro médio relativo e teste de qui-quadrado dos diferentes modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de milho orgânico para as diferentes temperaturas de secagem. Nota-se que todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação superiores a 96%. No entanto, segundo Corrêa *et al.* (2015), o uso isolado deste parâmetro não é suficiente para caracterizar ajuste adequado de modelos não lineares, sendo assim necessário considerar outros parâmetros estatísticos (Zeymer *et al.*, 2017).

Para que um modelo represente satisfatoriamente qualquer fenômeno, ele deve apresentar erro médio relativo (P) menor que 10% (Mohapatra e Rao, 2005); erro médio estimado (SE) e teste de qui-quadrado (χ^2) mais próximo de zero (Günhan *et al.*, 2005; Siqueira *et al.*, 2012). Dessa forma, em relação ao SE e χ^2 , verifica-se que os modelos Midili Modificado (SE = $\leq 0,0663$ e $\chi^2 = \leq 0,0044$) e

Quadro 2 - Graus de ajuste dos modelos para a secagem das sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em quatro temperaturas de secagem

Modelo matemático	Temperatura (°C)	(R²)	SE (Decimal)	P (%)	χ² (Decimal)
Aproximação por difusão	30	99,81	0,0513	4,0357	0,0026
	40	99,77	0,0559	3,9689	0,0031
	50	99,41	0,0853	8,7353	0,0073
	60	99,63	0,0732	4,9396	0,0054
Dois termos	30	99,80	0,0556	4,3075	0,0031
	40	99,46	0,0913	7,1843	0,0083
	50	99,07	0,1180	40,1525	0,0139
	60	99,85	0,0444	3,4908	0,0020
Exponencial de dois termos	30	96,61	0,2117	13,1081	0,0448
	40	99,36	0,0922	8,6088	0,0085
	50	99,08	0,1075	40,6551	0,0115
	60	97,33	0,2069	14,9276	0,0428
Henderson e Pabis	30	98,66	0,1052	7,0538	0,0111
	40	99,46	0,0854	7,1843	0,0073
	50	99,07	0,1180	40,1530	0,0139
	60	98,40	0,1505	11,1824	0,0226
Logarítmo	30	98,91	0,0968	5,8765	0,0094
	40	99,82	0,0455	3,0115	0,0021
	50	99,51	0,0522	10,9214	0,0027
	60	99,73	0,0610	4,1481	0,0037
Newton	30	92,46	0,3471	22,7622	0,1205
	40	99,36	0,0894	8,6086	0,0080
	50	99,04	0,1118	38,8209	0,0125
	60	97,33	0,1973	14,9273	0,0389
Midilli	30	99,55	0,0716	3,9389	0,0051
	40	99,82	0,0451	2,8382	0,0020
	50	99,60	0,0708	7,7255	0,0050
	60	99,89	0,0362	2,6367	0,0013
Midilli Modificado	30	99,42	0,0081	5,5582	0,0006
	40	99,82	0,0432	2,8220	0,0019
	50	99,59	0,0663	8,1946	0,0044
	60	99,89	0,0350	2,6288	0,0012
Page Modificado	30	98,98	0,1059	8,4632	0,0112
	40	99,73	0,0584	4,2157	0,0584
	50	99,06	0,1180	36,2236	0,0139
	60	99,86	0,0412	3,2963	0,0017
Page	30	98,98	0,1059	8,4632	0,0112
	40	99,73	0,0603	4,2157	0,0584
	50	99,06	0,1150	36,2236	0,0132
	60	99,86	0,0412	3,2963	0,0017

Logarítmo (SE = ≤ 0,0968 e χ^2 = ≤ 0,0094) foram os que apresentaram os melhores resultados nas condições estudadas. Já em relação ao P, nota-se que somente o modelo Midilli Modificado apresentou valores inferiores a 10% para todas as temperaturas de secagem (Quadro 2).

O Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) e o Critério de Informação de Akaike (AIC) também foram utilizados como parâmetros

complementares para selecionar o melhor modelo entre os que se destacaram em relação aos parâmetros estatísticos calculados anteriormente (Midilli Modificado e Logarítmo) (Quadro 3). De acordo com os resultados apresentados por Ferreira Junior *et al.* (2018), valores menores para esses critérios indicam melhor ajuste do modelo aos dados do fenômeno.

Verifica-se no Quadro 3 que o modelo Midilli Modificado apresentou valores mais baixos de AIC

Quadro 3 - Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwartz (BIC) dos modelos ajustados para curvas de secagem das sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas

Modelo matemático	Temperatura (°C)	AIC	BIC
Midilli modificado	30	-113,7037	-108,8282
	40	-98,1644	-94,6029
	50	-79,7619	-76,2004
	60	-140,3507	-135,8087
Logarítmico	30	-97,9363	-93,0608
	40	-98,0096	-94,4481
	50	-77,7913	-74,2298
	60	-122,6163	-118,0743

e BIC nas condições de secagem estudada e, portanto, este foi o modelo escolhido para representar a cinética de secagem das sementes de milho orgânico. Quequeto *et al.* (2019) que trabalharam com a secagem de sementes de *Morinda citrifolia* L., também utilizaram os critérios AIC e BIC para selecionar o modelo mais adequado.

No Quadro 4 encontram-se os valores dos coeficientes do modelo Midilli Modificado para as diferentes temperaturas de secagem. Constata-se que os coeficientes "k", "n" e "a" não apresentaram tendência de comportamento em relação ao aumento da temperatura. Todos os coeficientes foram significativos a 5 % de probabilidade pelo teste t. De acordo com Babalis e Belessiotis (2004), o coeficiente "k", que representa as condições externas de secagem, pode ser utilizado como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo.

Quadro 4 - Valores dos parâmetros dos modelos ajustados para sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas de secagem 30, 40, 50 e 60°C

Modelo	Parâmetros	Temperaturas			
		30°C	40°C	50°C	60°C
Midilli Modificado	k	0,1430**	0,1064**	0,2069**	0,1291**
	n	0,5739**	0,9743**	0,8496**	1,2548**
	a	-0,001**	-0,0059**	-0,0090**	-0,0046**

**Significativo a 95% de probabilidade pelo teste t.

Na Figura 2 apresentam-se as curvas de secagem obtidas a partir do modelo Midilli Modificado para as diferentes condições de secagem estudadas. Constata-se que o modelo Midilli Modificado foi capaz de simular as diferentes temperaturas de secagem de forma satisfatória, adequando-se bem aos dados experimentais. De acordo com Goneli *et al.* (2014), o melhor ajuste do modelo de Midilli aos dados experimentais de secagem está ligado, provavelmente, à rápida perda de água nos estádios iniciais do processo gerando uma curva de secagem de maior declive e bem caracterizada matematicamente, por este modelo. Este modelo foi recomendado por Corrêa *et al.* (2010) para prever a secagem de frutos de *Coffea arabica* L.

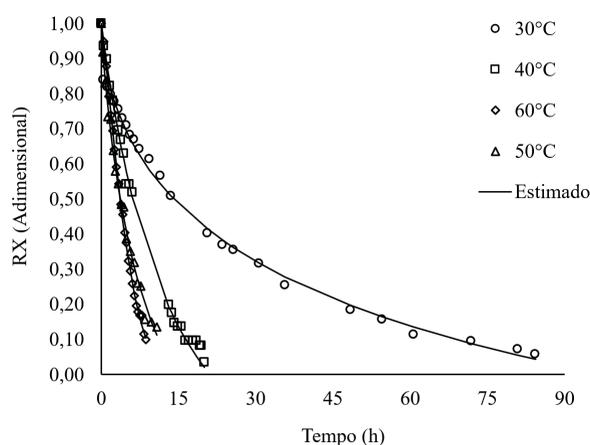


Figura 2 - Valores da razão de umidade obtidos experimentalmente e estimados pelo modelo Midilli Modificado para a secagem de sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' durante o período de secagem em diferentes temperaturas

Em relação à qualidade fisiológica das sementes, verificou-se que a germinação decresceu e, portanto, foi influenciada pelas temperaturas de

secagem, onde o aumento da temperatura promoveu um decréscimo nessa variável (Figura 3). Os resultados corroboram com os obtidos por Akowuah *et al.* (2018), onde a secagem de sementes de milho com temperaturas variando de $52,8 \pm 5,4$ a $44,4 \pm 4,6$ °C, resultaram na redução da germinação das sementes. Já Costa *et al.* (2012), que estudaram a secagem de frutos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) em diferentes temperaturas, observaram maiores valores de germinação em sementes submetidas a secagem na temperatura de 30 °C, resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho, onde a germinação das sementes foi superior a 90 % nesta temperatura.

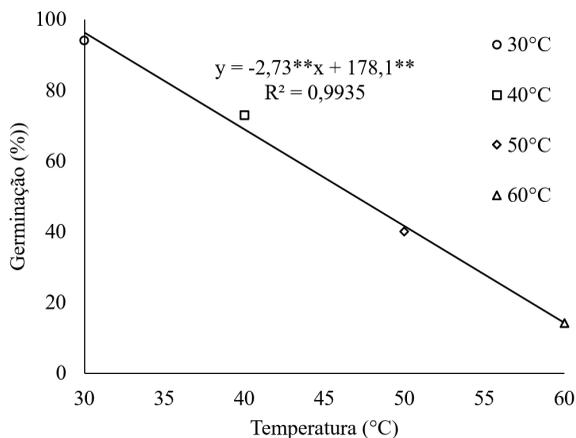


Figura 3 - Germinação de sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas de secagem (** significativo a 5 % de probabilidade).

Menores valores de germinação, principalmente nas temperaturas de 50 e 60 °C (40 e 14 %, respectivamente), pode estar relacionada às temperaturas elevadas durante a secagem (Akowuah *et al.*, 2018). Segundo Paraginski *et al.* (2015), a diminuição da germinação das sementes está relacionada com as modificações que acontecem nas membranas citoplasmáticas devido ao aumento de temperatura.

Na Figura 4 estão ilustrados os valores da porcentagem de emergência para as sementes de milho orgânico, submetidas à secagem em diferentes temperaturas. Constata-se o decréscimo linear na porcentagem de emergência com o aumento da temperatura, demonstrando que temperaturas elevadas são prejudiciais às sementes cujo comportamento foi similar ao da germinação, que também apresentou decréscimo gradativo assim que a

temperatura se elevou, evidenciando a diminuição do vigor das sementes. Já na Figura 5, estão apresentados os valores do índice de velocidade de emergência (IVE). Verifica-se que o comportamento do IVE foi linearmente reduzido com o aumento da temperatura evidenciando, assim, o a diminuição da qualidade fisiológica e do vigor das sementes.

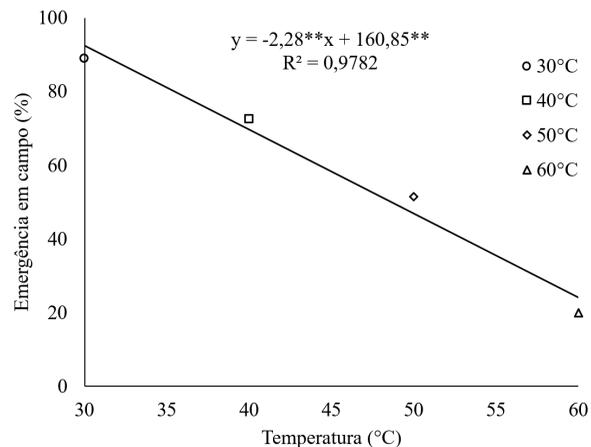


Figura 4 - Emergência de sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas do ar de secagem (** significativo a 5 % de probabilidade).

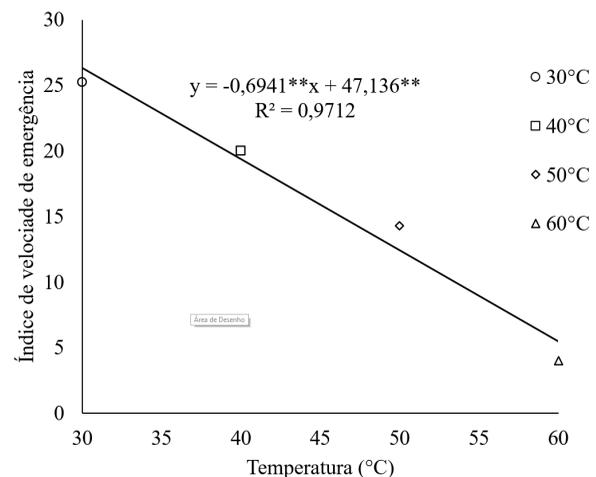


Figura 5 - Índice de Velocidade de emergência de sementes de milho orgânico cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas de secagem. ** significativo a 5 % de probabilidade.

Ullmann *et al.* (2015), que estudaram o processo de secagem de sementes de sorgo sacarino, observaram a diminuição do índice de velocidade de emergência devido ao aumento da temperatura, resultado semelhante ao obtido no presente trabalho. Já Oliveira *et al.* (2016), que trabalharam com secagem de sementes de milho da cultivar

'AG 7088', verificaram aumento da velocidade de emergência entre as temperaturas de 40^o e 70 °C, e somente em temperaturas maiores, se obteve uma queda no índice. Salienta-se que o aumento da temperatura promove danos na estrutura física da semente, comprometendo sua fisiologia e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento, como a velocidade de emergência das sementes.

Na Figura 6 observam-se os valores de condutividade elétrica em função das diferentes temperaturas de secagem. Salienta-se que não houve significância no ajuste de regressão para esta variável. Entretanto, de forma geral, verifica-se que o incremento da temperatura promoveu o aumento desta variável. Valores mais elevados de condutividade elétrica estão ligados a uma maior liberação de exsudatos para o meio ambiente através da membrana citoplasmática, indicando maior rompimento dessas (Carvalho *et al.*, 2016). Resultados semelhantes foram descritos para sementes de *Vigna angularis* Willd (Resende *et al.*, 2012; Almeida *et al.*, 2013) e sementes de milho (Oliveira *et al.*, 2016).

Oliveira *et al.* (2016) afirmam que o incremento de temperatura de secagem em sementes de milho contribui para o aumento de danos nas membranas celulares enquanto que Paraginski *et al.* (2015) referem que temperaturas mais baixas diminuem as modificações em sementes, favorecendo a longevidade das mesmas. Neste contexto, verifica-se que a realização da secagem de sementes de milho a 30 °C foi a mais indicada para manutenção da qualidade fisiológica.

CONCLUSÕES

O modelo que melhor representou a cinética de secagem de sementes de milho orgânico foi o de Midilli modificado nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akowuah, J.O.; Maier, D.; Opit, G.; Mcneill, S.; Amstrong, P.; Campabadal, C; Ambrose, K. & Obeng-Akrofi, G. (2018) - Drying Temperature effect on kernel damage and viability of maize dried in a solar biomass hybrid dryer. *Open Journal of Applied Sciences*, vol. 8, n. 11, p. 506-517. <http://dx.doi.org/10.4236/ojapps.2018.811041>
- Almeida, D.P.; Resende, O.; Mendes, U.C.; Costa, L.M.; Corrêa, P.C. & Rocha, A.C. (2013) - Influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 8, n. 2, p. 311-315. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2164>

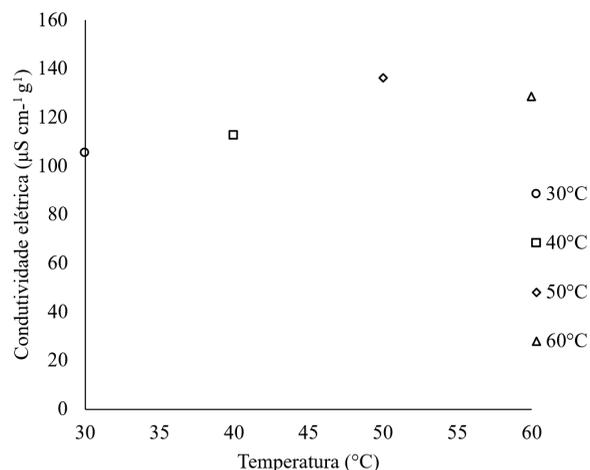


Figura 6 - Condutividade elétrica de sementes de milho orgânico da cultivar 'BRS Caimbé' em diferentes temperaturas de secagem. **ns- não-significativo a 5 % de probabilidade.

A temperatura de secagem que proporcionou melhores resultados para a qualidade fisiológica de sementes de milho orgânico 'BRS Caimbé' foi a de 30 °C.

O aumento da temperatura promoveu a redução no teor de água das sementes de milho orgânico 'BRS Caimbé' e a diminuição da germinação, nas condições estudadas.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pelo Instituto Federal Goiano (campus Ceres), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

- Alves, G.E.; Isquierdo, E.P.; Borém, F.M.; Siqueira, V.C.; Oliveira, P.D. & Andrade, E.T. (2013) - Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. *Coffee Science*, vol. 8, n. 2, p. 238-247.
- Babalís, S.J. & Belessiotis, V.G. (2004) - Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, vol. 65, n. 3, p. 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005>
- Brasil (2009) - *Regras para análise de sementes*. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 399p.
- Carvalho, E.R.; Oliveira, J.A.; Mavaieie, D.P. da R.; Silva, H.W. da & Lopes, C.G.M. (2016) - Pre-packing cooling and types of packages in maintaining physiological quality of soybean seeds during storage. *Journal of Seed Science*, vol. 38, n. 2, p. 129-139. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n2158956>
- Chable, V.; Nuijten, E.; Costanzo, A.; Goldringer, I.; Bocci, R.; Oehen, B.; Rey, F. & Fasoula, D. (2020) - Embedding Cultivated Diversity in Society for Agro-Ecological Transition. *Sustainability*, vol. 12, art. 784. <https://doi.org/10.3390/su12030784>
- Coradi, P.C.; Maldaner, V.; Dái, P.V. & Teodoro, P.E. (2020) - Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. *Scientific Reports*, vol. 10, art. 22006. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78914-x>
- Coradi, P.C.; Milane, L.V.; Andrade, M.G.O.; Camilo, L.J. & Souza, A.H.S. (2016) - Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, vol. 10, n. 1, p. 14-26. <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p14-26>
- Corrêa, P.C.; Oliveira, G.H.H.; Botelho, F.M.; Goneli, A.L.D. & Carvalho, F.M. (2010) - Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, vol. 57, n. 5, p. 595-601. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500005>
- Corrêa, P.C.; Reis, M.F.T.; Oliveira, G.H.H. de; Oliveira, A.P.L.R. de & Botelho, F.M. (2015) - Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: modeling and thermodynamic properties. *Journal of Seed Science*, vol. 37, n. 3, p. 218-225. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n3149549>
- Costa, L.M.; Resende, O.; Gonçalves, D.N.; Souza, K.A.; Sales, J.F. & Donadon, J.R. (2012) - The influence of drying on the physiological quality of crambe fruits. *Acta Scientiarum - Agronomy*, vol. 34, n. 2, p. 213-218. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i2.12482>
- Ferreira Junior, W.N.; Resende, O.; Oliveira, D.E.C. de & Costa, L.M. (2018) - Isotherms and Isosteric Heat Desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Seeds. *Journal of Agricultural Science*, vol. 10, n. 10, p. 504-512. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p504>
- Ferreira, L.B.S.; Fernandes, N.A.; Aquino, L.C.; Silva, A.R.; Nascimento, W.M. & Araújo, F.L. (2017) - Temperature and seed moisture content affect electrical conductivity test in pea seeds. *Journal of Seed Science*, vol. 39, n. 4, p. 410-416. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n4181021>
- Goneli, A.L.D.; Vieira, M. do C.; Vilhasanti, H. da C.B. & Gonçalves, A.A. (2014) - Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 44, n. 1, p. 56-64. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000100005>
- Günhan, T.; Demir, V.; Hancioglu, E. & Hepbasli, A. (2005) - Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, vol. 46, n. 11-12, p. 1667-1679. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.001>
- Jilito, M.F. & Wedajo, D.Y. (2020) - Trends and Challenges in Improved Agricultural Inputs Use by Smallholder Farmers in Ethiopia: A Review. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, vol. 8, n. 11, p.2286-2292. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i11.2286-2292.2988>
- Jorge, A.P.P.; Ferreira Junior, W.N.; Silva, L.C. de M.; Oliveira, D.E.C. de & Resende, O. (2021) - Drying kinetics of 'gueroba' (*Syagrus oleracea*) fruit pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 25, n. 1, p. 23-29. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p23-29>
- Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. & França Neto, J.B. (1999) - *Vigor de Sementes: Conceitos e testes*. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina: ABRATES, p. 218.
- Lemes, E.S.; Oliveira, S.; Rodrigues, R.R.; Almeida, A.S.; Meneghello, G.E. & Tunes, L.M. (2015) - Avaliação do potencial fisiológico de lotes de aveia preta por meio do teste de condutividade elétrica. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, vol. 9, n. 2, p. 5-10.
- Maguire, J.D. (1962) - Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, vol. 2, n. 2, p.176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

- Marcos Filho, J. (2015) - *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2ª ed. p. 660.
- Mohapatra, D. & Rao, P.S. (2005) - A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, vol. 66, n. 4, p. 513-518. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>
- Moscon, E.S.; Martin, S.; Spehar, C.R.; Devilla I.A. & Rodolfo Junior, F. (2017) - Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista Engenharia na Agricultura*, vol. 25, n. 4, p. 318-328. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i4.773>
- Nakagawa, J. (1994) - Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: Vieira, R.D. & Carvalho, N.M. (Eds.) - *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, p. 48-85.
- Nakagawa, J. (1999) - Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. & França Neto, J.B. (Eds.) - *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, cap. 2, p. 1-24.
- Oliveira, D.E.C.; Resende, O.; Smaniotto, T.A.S. & Campos, R.C. (2016) - Qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas a diferentes temperaturas na secagem artificial. *Global Science and Technology*, vol. 9, n. 2, p.25-34. <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v9n2p25-34>
- Paraginski, R.T.; Rockenbach, B.A.; Santos, R.F.; Elias, M.C. & Oliveira, M. (2015) - Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 19, n. 4, p.358-363. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p358-363>
- Quequeto, W.D.; Resende, O.; Silva, P.C.; Silva, F.A.S. e & Silva, L.C. de M. (2019) - Drying Kinetics of Noni Seeds. *Journal of Agricultural Science*, vol. 11, n. 5, p. 250. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p250>
- Resende, O.; Almeida, D.P.; Costa, L.M.; Mendes, U.C. & Sales, J. de F. (2012) - Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. *Food Science and Technology*, vol. 32, n. 2, p. 151-155. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000013>
- Rocha, C.R.M.; Silva, V.N. & Moure, S. (2015) - Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. *Ciência Rural*, vol. 45, n. 6, p. 970-976. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131455>
- Silva, H.W. da; Vale, L.S.R.; Silva, C.F.; Souza, R. do C. & Soares, R.S. (2018) - Drying kinetics and physiological quality of 'Cabacinha' pepper seeds during storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 22, n. 4, p. 292-297. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n4p292-297>
- Silva, J.S. (2008) - *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda Fácil. p. 560.
- Siqueira, V.C.; Resende, O. & Chaves, T.H. (2012) - Drying kinetics of jatropha seeds. *Revista Ceres*, vol. 59, n. 2, p. 171-177. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200004>
- Smaniotto, T.A.S.; Resende, O.; Oliveira, D.E.C.; Sousa, K.A. & Campos, R.C. (2012) - Isotermas e Calor Latente de Dessorção dos Grãos de Milho da Cultivar AG 7088. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 11, n. 3, p. 312-322. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p312-322>
- Smaniotto, T.A.S.; Resende, O.; Sousa, K.A.; Oliveira, D.E.C. & Campos, R.C. (2017) - Drying kinetics of sunflower grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 21, n. 3, p. 203-208. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p203-208>
- Sousa, E.P. de; Figueirêdo, R.M.F. de; Gomes, J.P.; Queiroz, A.J. de M.; Castro, D. de S. & Lemos, D.M. (2017) - Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 21, p.493-498. vol. 21, n. 7, p. 493-498. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n7p493-498>
- Souza, D.G.; Resende, O.; Moura, L.C. de; Ferreira Junior, W.N. & Andrade, J.W. de S. (2019) - Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Engenharia Agrícola*, vol. 39, n. 2, p. 176-181. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p176-181/2019>
- Souza, I.P. & Ruffato, S. (2021) - Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho secados naturalmente. *Research, Society and Development*, vol. 10, n. 8, art. e44010817334. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17334>
- Ullmann, R.; Resende, O.; Sales, J.F.; Chaves, T.H.; Oliveira, D.E.C. & Costa, L.M. (2015) - Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 19, n. 1, p. 64-69. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p64-69>
- Vieira, R.D. & Krzyzanowski, F.C. (1999) - Teste de condutividade elétrica. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. & França Neto, J.B. (Eds.) - *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, p. 1-26.
- Zeymer, J.S.; Corrêa, P.C.; Oliveira, G.H.H. de; Baptestini, F.M. & Freitas, R.C.P. (2017) - Desorption isotherms of *Lactuca sativa* seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 21, n. 8, p. 568-572. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p568-572>