

**Isotermas de dessorção de grãos de sorgo granífero**

**Desorption isotherms of graniferous sorghum grains**

**Isotermas de desorción de granos de sorgo granífero**

Recebido: 15/04/2020 | Revisado: 28/04/2020 | Aceito: 13/05/2020 | Publicado: 22/05/2020

**Natália Nogueira Fonseca**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5089-7846>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: [natnogueira1996@hotmail.com](mailto:natnogueira1996@hotmail.com)

**Oswaldo Resende**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5089-7846>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: [osvresende@yahoo.com.br](mailto:osvresende@yahoo.com.br)

**Weder Nunes Ferreira Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2931-9352>

Nome da instituição onde atua, País

E-mail: [wedernunesiftm@gmail.com](mailto:wedernunesiftm@gmail.com)

**Lígia Campos de Moura Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9058-975X>

UniBRAS – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: [ligialirios@hotmail.com](mailto:ligialirios@hotmail.com)

**Érika Gonçalves Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4036-1236>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: [erikaandrad201518@gmail.com](mailto:erikaandrad201518@gmail.com)

**Luana Profiro de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8140-2922>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: [luanapro@hotmail.com](mailto:luanapro@hotmail.com)

## Resumo

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.) é um cereal fortemente utilizado em alimentos processados por ser isento de glúten, devido à importância desse grão se faz necessário definir as condições seguras para armazenamento. Objetivou-se determinar as isotermas de dessorção para os grãos de sorgo granífero. Essas isotermas dos grãos foram obtidas pelo método estático-indireto, obtendo-se a atividade de água do produto nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, para a faixa de teor de água entre 14 a 24 ± 0,1% em base seca. Aos dados experimentais foram ajustados modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas. Para verificar o grau de ajuste dos modelos considerou-se a magnitude do coeficiente de determinação, do teste de *Qui-quadrado*, do erro médio relativo, erro médio estimado, critérios de informação de Akaike (AIC) e, critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC). Todos os modelos representam satisfatoriamente as isotermas de dessorção, no entanto segundo os parâmetros avaliados o modelo de Chung-Pfost foi o mais adequado. Para o armazenamento dos grãos de sorgo granífero o limite máximo de teor de água é de 15,69; 15,08; 14,53; 14,03% b.s., para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L.; Atividade de água; Higroscopicidade; Chung-Pfost.

## Abstract

Graniferous sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a cereal strongly used in processed foods because it is gluten free, due to the importance of this grain it is necessary to define safe conditions for storage. Thus, the objective was to determine the desorption isotherms for grains of grain sorghum and to determine the safe water content of storage of this product. That grains isotherms were obtained by the static-indirect method, obtaining the product's water activity at temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C, for the moisture content range between 14 to 24 ± 0.1 % on dry basis. The mathematical models used to represent the hygroscopicity of agricultural products were adjusted to the experimental data. To verify the degree of adjustment of the models, the magnitude of the coefficient of determination, the Chi-square test, the relative mean error, estimated mean error, Akaike information criteria (AIC), and Schwarz Bayesian information criteria were considered (BIC). All models represent satisfactorily the desorption isotherms, however, according to the evaluated parameters, the Chung-Pfost model was the most appropriate. For the storage of grain sorghum grains the maximum moisture content limit is 15.69; 15.08; 14.53; 14.03% b.s., for temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C, respectively.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* L.; Water activity; Hygroscopicity; Chung-Pfost.

## Resumen

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.) es un cereal muy utilizado en alimentos procesados porque no contiene gluten, debido a la importancia de este grano es necesario definir condiciones seguras para el almacenamiento. Por lo tanto, el objetivo era determinar las isotermas de desorción para los granos de sorgo y determinar el contenido de agua segura para el almacenamiento de este producto. Las isotermas de desorción de grano se obtuvieron por el método estático indirecto, obteniendo la actividad de agua del producto a temperaturas de 10, 20, 30 y 40 °C, para el rango de contenido de agua entre 14 a 24 ± 0.1 % en base seca. Los modelos matemáticos utilizados para representar la higroscopicidad de los productos agrícolas se ajustaron a los datos experimentales. Para verificar el grado de ajuste de los modelos, se consideró la magnitud del coeficiente de determinación, la prueba de Chi-cuadrado, el error medio relativo, el error medio estimado, los criterios de información de Akaike (AIC) y los criterios de información bayesianos de Schwarz (BIC). Todos los modelos representan satisfactoriamente las isotermas de desorción, sin embargo, de acuerdo con los parámetros evaluados, el modelo Chung-Pfost fue el más apropiado. Para el almacenamiento de granos de sorgo, el límite máximo de contenido de agua es 15.69; 15.08; 14,53; 14.03% b.s., para temperaturas de 10, 20, 30 y 40 °C, respectivamente.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor* L.; Actividad del agua; Higroscopicidad; Chung-Pfost.

## 1. Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é um cereal que apresenta versatilidade e facilidade de produção, estima-se que o sorgo tem sido utilizado como alimento básico para mais de 500 milhões de pessoas que vivem em países em desenvolvimento, principalmente África e Ásia (Mutisya et al., 2009). No Brasil, o cereal tem sido utilizado fortemente na alimentação animal, estima-se que a produção no país na safra 2018/2019 tenha sido de 2177 toneladas (Brasil, 2019).

Esse cereal no país já foi pouco explorado na alimentação humana, porém atualmente ressurge com potencial em razão da presença de altos teores de fibra dietética e diversos compostos bioativos, além da isenção de glúten que contribuem positivamente para a nutrição e saúde humana (Dykes et al., 2005; Rooney, 2007). O sorgo pode ser consumido em forma de grão ou como farinha em substituição ao trigo em produtos de panificação, apoiado pela

escassez de produtos sem glúten no mercado e pela demanda por alimentos mais nutritivos; assim como em receitas incluindo fermentados e não fermentados, e também na fabricação de bebidas alcoólicas (Méndez-Albores et al., 2009).

Para que o consumo de sorgo se torne viável para alimentação humana é necessário que o produto seja submetido a algum tipo de processamento, podendo resultar em alterações na biodisponibilidade de nutrientes e compostos bioativos. A maneira de reduzir as perdas pós-colheita do sorgo é pelo processo de secagem, pois assegura qualidade e estabilidade, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as alterações químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Resende et al., 2008). A adequada secagem viabiliza o correto armazenamento do produto por um maior período de tempo.

Como todo produto higroscópico, os grãos de sorgo possuem capacidade de ceder (dessorção) ou absorver água (adsorção) do ambiente, buscando constantemente estabelecer um equilíbrio entre o seu teor de água e as condições do ar ambiente (CORRÊA et al., 2005). As condições de umidade relativa e temperatura, durante o armazenamento, promovem o equilíbrio higroscópico do material, e são fatores determinantes para a manutenção da qualidade, por maior ou menor tempo (BORGES et al., 2009). A maneira de se conhecer o comportamento higroscópico de um material é por meio das isotermas de sorção (CORRÊA et al., 2014).

Para conhecer os limites seguros de teor de água do produto para o armazenamento, pode se empregar as isotermas de sorção, essas visam estimar o teor de água de equilíbrio para uma dada temperatura e atividade de água (Costa et al., 2015). Essas curvas denominadas isotermas são frequentemente utilizadas para prever o comportamento de produtos vegetais em diferentes condições ambientais, foram utilizadas para representação de isotermas de sementes de sorgo-sacarino (Ullmann et al., 2016); sementes de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) (Ferreira Junior et al., 2018), sementes de girassol (Campos et al., 2019), e grãos de milho (Santos et al., 2020).

A partir da isoterma de sorção, é possível identificar a atividade de água na qual o alimento é estável (Oliveira et al., 2013). Não há uma equação geral que descreva todas as isotermas dos alimentos visto que a atividade de água depende da afinidade existente entre a água e os outros componentes (lipídeos, amido, açúcar, proteínas, etc.) em condições de equilíbrio termodinâmico. Modelos matemáticos permitem que seja possível a determinação das isotermas de sorção que podem ser extrapoladas para obtenção de pontos nas regiões de baixa ou alta atividade de água (Ibid et al., 2014).

Assim, objetivou-se estudar e determinar as isotermas de desorção para os grãos de sorgo granífero para diferentes condições, bem como indicar o teor de água seguro para o armazenamento de grãos nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

## 2. Metodologia

As pesquisas são realizadas com a finalidade de trazer novos saberes para os grupos sociais como preconiza Pereira et al. (2018) e quando se trabalham pesquisas laboratoriais, estas podem realizar experimentos sob condições controladas das variáveis em pesquisas quantitativas envolvendo números, fórmulas, porcentagens e estatísticas.

O presente experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde. Os grãos de sorgo granífero (cultivar Dekalb 640) foram colhidos manualmente, no município de Jataí - GO, com teor de água inicial de 49% base seca (b.s).

O teor de água dos grãos de sorgo foi determinado de acordo com a metodologia de Brasil (2009), em estufa a 105 °C durante 24 h.

Os grãos de sorgo foram submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada na temperatura de 40 °C até atingir os teores de água de aproximadamente 14, 16, 18, 20 e  $24 \pm 1\%$  b.s. O acompanhamento do teor de água durante a secagem foi realizado através do método gravimétrico, conhecendo-se o teor de água inicial e o desejado.

As isotermas de sorção foram obtidas pelo método estático-indireto. A obtenção dos valores de atividade de água ( $a_w$ ) foi realizada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1, com leituras para cada condição de temperatura e teor de água, em triplicata de amostras contendo aproximadamente 13 g.

Para o controle da temperatura, o Hygropalm foi inserido no interior de uma câmara do tipo B.O.D., regulada nas temperaturas de 10; 20; 30 e 40 °C. Sendo a leitura de  $a_w$  realizada quando a temperatura e atividade de água das amostras se estabilizaram.

Os teores de água das amostras foram determinados ao final do experimento seguindo a metodologia de Brasil (2009).

Aos dados experimentais foram ajustados modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas equações estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos utilizados para prever as curvas das isotermas de dessorção de grãos de sorgo granífero.

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = [\ln(1 - a_w)/(a \cdot (T^b))]^{\frac{1}{c}}$	Cavalcanti Mata	(1)
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(2)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(3)
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{\frac{1}{c}}$	Halsey Modificado	(4)
$X_e = [\ln(1 - a_w)/(-a \cdot (T + b))]^{\frac{1}{c}}$	Henderson Modificado	(5)
$X_e = (a + b \cdot T) / [a_w / (1 - a_w)]^{1/c}$	Oswin Modificado	(6)
$X_e = a \cdot (a_w^{b/T^c})$	Sabbah	(7)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(8)

em que,  $X_e$  - Teor de água de equilíbrio, % b.s.;  $a_w$  - Atividade de água de equilíbrio, % b.s.;  $T$  - Temperatura, °C;  $a$ ,  $b$  e  $c$ : Coeficientes que dependem do produto. Fonte: Autores.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais utilizou-se a análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo considerou-se a significância dos coeficientes dos modelos pelo teste  $t$  adotando o nível de significância de 0,01, a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os valores do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), do teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ) ao nível de significância de 0,01 e o intervalo de confiança a 0,99, do valor do critério de informação de Akaike (AIC) e do critério de informação bayesiano de Schwarz (BIC). Os erros médios relativo e estimado e o teste de *Qui*-quadrado para cada ajuste de modelo foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (10)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (11)$$

Em que,

Y - Valor experimental;

$\hat{Y}$  - Valor estimado pelo modelo;

n - Número de observações experimentais; e,

GLR - Grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

O AIC é usado para comparar modelos não-aninhados ou quando estão sendo comparados três ou mais modelos. Menores valores de AIC refletem um melhor ajuste (Akaike, 1974). Sua expressão é dada por:

$$AIC = -2\loglike + 2p \quad (12)$$

Em que,

p - Número de parâmetros; e,

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

O BIC considera o grau de ajustes dos coeficientes do modelo aos dados experimentais, quanto menor for o valor de BIC melhor será o ajuste do modelo (Schwarz, 1978). Sua expressão é dada por:

$$BIC = -2\loglike + p \cdot \ln(n) \quad (13)$$

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os valores de atividade de água experimentais dos grãos de sorgo granífero para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C na faixa de teor de água de 14 a 24 ± 0,1% b.s.

**Tabela 2.** Valores experimentais de atividade de água dos grãos de sorgo granífero em função da temperatura e do teor de água.

Teor de água (% b.s.)	Temperatura (°C)			
	10	20	30	40
13,91	0,631	-	-	-
13,97	-	0,656	0,682	0,689
14,93	-	-	-	0,731
15,27	0,672	0,714	-	-
15,32	-	-	0,729	-
18,84	-	-	-	0,849
18,87	0,790	0,830	0,845	-
19,64	-	-	-	0,880
19,86	-	-	0,864	-
20,48	0,871	-	-	-
23,92	-	-	-	0,930
24,10	0,912	0,923	-	-

Fonte: Autores.

Observa-se na Tabela 2 que com a elevação da temperatura e do teor de água têm-se o aumento da atividade de água do produto. Corroborando com os resultados obtidos por Sousa et al. (2016) para os valores experimentais de  $a_w$  de diásporos de pequi para diferentes condições de teor de água e temperatura. Além disso, verifica-se que para um mesmo teor de água, os valores de atividade de água são crescentes de acordo com o aumento da temperatura.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados para descrever as isotermas do produto.

**Tabela 3.** Coeficientes dos modelos ajustados aos dados experimentais dos grãos de sorgo granífero, com os valores resultante do ajuste dos parâmetros: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio estimado (SE) e relativo (P), *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ), AIC e BIC.

Modelos	Coefficientes	SE (decimal)	P (%)	$\chi^2$ (decimal)	$R^2$ (decimal)	AIC	BIC
1	a = -0,010810** b = 0,102490** c = 1,629940**	0,403	1,24	0,163	0,9891	22,97	26,53
2	a = 36,60460** b = 5,96220** c = 83,64240**	0,352	1,28	0,124	0,9917	18,09	21,65
3	a = 1,3604120** b = 0,0029454** c = 2,0093810**	0,167	2,25	0,028	0,9719	40,01	43,58
4	a = 7,672238** b = 0,008963** c = 3,136326**	0,431	1,72	0,186	0,9873	25,34	28,90
5	a = 0,0001** b = 186,8864** c = 1,6257**	0,405	1,37	0,164	0,9890	23,06	26,63
6	a = 12,50366** b = -0,03531** c = 3,44803**	0,391	1,46	0,153	0,9898	21,73	25,30
7	a = 26,07677** b = 0,85942** c = -0,20005**	0,769	2,86	0,591	0,9652	43,81	47,37
8	a = 0,934627** b = 0,002885** c = 0,908753**	0,551	2,01	0,304	0,9793	34,29	37,85

\*\* Significativo a 1% pelo teste t. Fonte: Autores.



Os modelos de Cavalcanti Mata (1), Chung-Pfost (2), Copace (3), Halsey Modificado (4), Henderson Modificado (5), Oswin Modificado (6), Sabbah (7) e Sigma Copace (8) obtiveram os coeficientes significativos a 1% pelo teste de t, indicando um bom ajuste dos coeficientes aos dados condições experimentais.

Todos os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos ajustados (Tabela 3) foram superiores 0,95; sendo que o ajuste do modelo de Chung-Pfost (2) obteve  $R^2$  acima de 0,99; sendo este o melhor valor apresentado dentre os ajustes dos modelos. Entretanto, de acordo com Madamba et al. (1996), o  $R^2$  não deve ser utilizado como único critério de avaliação para seleção dos modelos, pois os modelos ajustados não são lineares.

Observa-se que o modelo de Copace (3) apresentou o menor valor do erro médio estimado (0,167) e o modelo de Sabbah (8) apresentou o maior valor (0,769). Todos os modelos estudados obtiveram valores do erro relativo abaixo de 10%, estando de acordo com Mohapatra & Rao (2005), em que valores inferiores a 10% indicam representação adequada do fenômeno estudado.

Referente ao teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) nota-se que todos os modelos analisados, encontram-se no intervalo de confiança de 0,99. Günhan et al. (2005) ressaltam que, quanto menor o valor de  $\chi^2$ , melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais. Em relação, a comparação da magnitude dos valores do teste de  $\chi^2$  (Tabela 3), o modelo de Copace (3), apresentou menor valor em comparação com os demais.

Assim, considerando os critérios anteriores, todos os modelos estudados representam isotermas de dessecção dos grãos de sorgo satisfatoriamente. Devido a necessidade de se incluir critérios de seleção decisivos, com o intuito de indicar apenas um modelo que melhor estime o fenômeno em estudo, neste trabalho utilizaram-se os critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC).

Segundo Gomes et al. (2018) menores valores de AIC e BIC indicaram modelos mais adequados para a secagem da massa triturada de jambu, podendo esses critérios serem inseridos na modelagem matemática de processos pós-colheita de produtos vegetais, outros autores utilizaram esses critérios satisfatoriamente no ajuste modelos de secagem de sementes de noni e de polpa fatiada de batata doce fortificada (Quequeto et al., 2019; Souza et al., 2019). Ferreira Junior et al. (2018), consideraram eficiente a utilização destes critérios para a determinação do modelo para estimar as isotermas de dessecção das sementes de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stagnocarpa* Mart).

O modelo de Chung-Pfost (2) apresentou os menores valores para AIC e BIC, quando comparado aos demais modelos. Portanto, de acordo com os parâmetros analisados o modelo

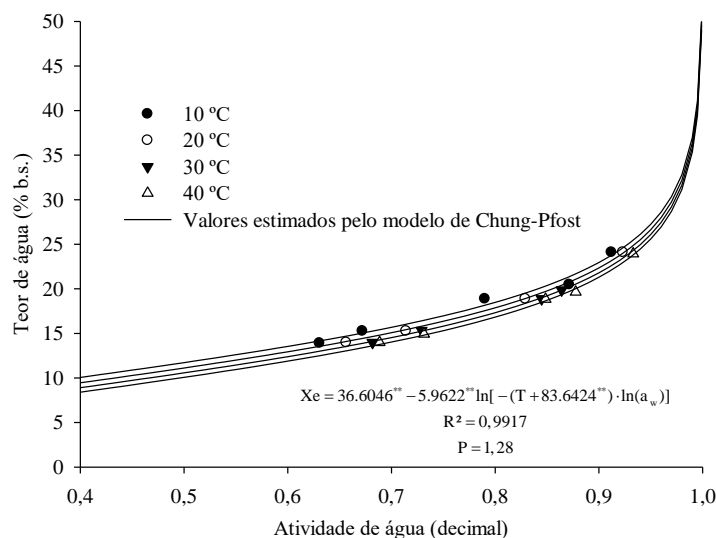
de Chung-Pfost (2) apresenta valores aceitáveis de erro médio relativo, e os menores valores para AIC e BIC, sendo o modelo indicado para representação das isotermas de desorção dos grãos de sorgo granífero.

Oliveira et al. (2014) estudando o teor de água de equilíbrio de grãos de arroz em casca verificaram que o modelo de Chung-Pfost foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Granella et al. (2019) definiram o mesmo modelo para representação das isotermas de sementes de trigo. Para sementes de sorgo-sacarino Ullmann et al. (2016) indicaram o modelo de Chung-Pfost para estimar o comportamento deste produto em armazenamento, através das isotermas.

Tanto o arroz, o trigo e o sorgo são matérias-primas amiláceas e pertencem ao grupo de cereais que são considerados fontes de amido (carboidratos), portanto apresentam similaridades em relação ao comportamento de atividade de água à diferentes condições de temperatura e teor de água.

A Figura 1 apresenta o ajuste das isotermas de desorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost (2) aos dados de atividade de água do produto. Este modelo foi utilizado para representar as isotermas de diferentes produtos, como sementes de beterraba (Corrêa et al., 2015) e sementes de maracujá doce (Isquierdo et al., 2020).

**Figura 1.** Isotermas de desorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost (2) ajustada aos dados experimentais de atividade de água dos grãos de sorgo granífero.



\*\* Significativo a 1% pelo teste t. Fonte: Autores.

O teor de água de equilíbrio variou conforme as mudanças da temperatura e atividade de água (Figura 1). De acordo com as isotermas estimadas pelo modelo de Chung-Pfost (2) para se atingir um mesmo teor de água de equilíbrio, com o aumento da temperatura, maiores serão os valores de atividade de água. Estes resultados corroboram com os obtidos por outros autores, como Caetano et al. (2012), trabalhando com sementes de caju-árvore-do-cerrado.

As isotermas obtidas para os grãos de sorgo granífero seguem a tendência da maioria dos produtos vegetais. Nota-se que a elevação da temperatura ocasiona o aumento da atividade de água e, para uma mesma atividade de água, os valores do teor de água de equilíbrio diminuiriam com o acréscimo da temperatura, conforme a literatura disponível para as culturas do milho (Smaniotto et al., 2012), crambe (Costa et al., 2013), pimenta (Silva et al., 2015) e girassol (Campos et al., 2019).

As isotermas auxiliam na identificação das condições de temperatura e atividade de água que podem favorecer o desenvolvimento de microrganismos, depreciando a sua qualidade (Corrêa et al., 2005). Assim, a partir destas isotermas (Figura 1) podem-se manejar adequadamente os grãos visando a manutenção do seu teor de água nos níveis recomendados para o armazenamento seguro.

Na fase de pós-colheita os produtos armazenados se tornam susceptíveis ao ataque de patógenos. Considerando-se que o desenvolvimento de microrganismos patogênicos tem início com a atividade de água em torno de 0,7 (Oliveira et al., 2005), nota-se que os teores de água adequados para inibir essa ação são de, no máximo, 15,69; 15,08; 14,53; 14,03% b.s. (Figura 1), para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, respectivamente, sendo portanto os níveis de teores de água máximo recomendado para armazenamento seguro de grãos de sorgo granífero nessas condições.

#### **4. Conclusão**

Os modelos de Cavalcanti Mata, Chung-Pfost, Copace, Halsey Modificado, Henderson Modificado, Oswin Modificado, Sabbah e Sigma Copace representam satisfatoriamente as isotermas de dessecção de grãos de sorgo granífero, portanto podem ser utilizados para estimar o comportamento do teor de água das amostras à uma determinada temperatura e atividade de água.

O ajuste do modelo de Chung-Pfost aos dados experimentais se mostrou mais adequado por apresentar resultados mais satisfatórios aos parâmetros avaliados, como o erro

médio relativo (P), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano de Schwarz (BIC).

Os limites máximos de teor de água para os grãos de sorgo granífero serem armazenados nas temperaturas de 10, 20,30 e 40 °C, são de 15,69; 15,08; 14,53; 14,03% b.s., respectivamente.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Instituto Federal Goiano, CAPES, FAPEG, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro, indispensável para a execução deste estudo.

### **Referências**

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 19(6), 716-723. doi: <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>.

Brasil.(2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. *Regras para Análise de Sementes*. Brasília: Mapa/ACS.

Brasil (2019). *Acompanhamento de safra brasileira – Grãos, Safra 2018/19*. Oitavo Levantamento. Brasília: Conab.

Borges, S, Borges, EEL, Corrêa, PC & Brune, A. (2009). Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. *Scientia Forestalis*, 37(3): 475-81. Acessado em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap15.pdf>.

Caetano, GS, Sousa, KA, Resende, O, Sales, JF & Costa, LM. (2012). Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(4): 437-45. doi: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000400012>

Campos, RC, Corrêa, PC, Zaidan, IR, Zaidan, UR & Leite, RA. (2019). Moisture sorption isotherms of sunflower seeds: Thermodynamic analysis. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, e011619. doi: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943011619>

Corrêa, PC, Resende, O & Ribeiro, DM. (2005). Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e Modelagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4(1): 126-34. doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n01p%25p>.

Corrêa, PC, Botelho, FM, Botelho, SCC & Goneli, ALD. (2014). Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(10): 1047-052. doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1047-1052>

Corrêa, PC, Reis, MFT, Oliveira, GHH, Oliveira, APLR & Botelho, FM. (2015). Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: Modeling and thermodynamic properties. *Journal of Seed Science*, 37(1): 218-25. doi: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n3149549>.

Costa, LM, Resende, O & Oliveira, DEC. (2013). Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4): 412-18. doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400009>.

Dykes, L, Rooney, LW, Waniska, RD & Rooney, WL. (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17): 6813-818. doi: <https://doi.org/10.1021/jf050419e>.

Ferreira Jr, WN, Resende, O, Oliveira, DEC & Costa, LM. (2018). Isotherms and isosteric heat desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. seeds. *Journal of Agricultural Science*, 10(10): 504-12. doi: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n10p504>.

Gomes, FP, Resende, O, Sousa, EP, Oliveira, DEC & Araújo Neto, FR. (2018). Drying kinetics of crushed mass of 'jambu': Effective diffusivity and activation energy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(7): 499-505. doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n7p499-505>.

Granella, SJ, Bechlin, TR, Christ, D & Werncke, I. (2019). Isotermas e calor isostérico de dessorção da água em sementes de trigo. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(4): 304-12. doi: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.891>.

Günhan, T, Demir, V, Hancioglu, E & Hepbasli, A. (2005). Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46(11-12): 1667-679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.001>.

Isquierdo, EP, Siqueira, VC, Borém, FM, Andrade, ET, Luz, PB & Quequeto, WD. (2020). Isotermas de sorção e propriedades termodinâmicas de sementes de maracujá doce. *Research, Research, Society and Development*, 9(5), e44952884. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2884>.

Madamba, PS, Driscoll, RH & Bruckle, KA. (1996). Thin layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29(1): 75-97. doi: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3).

Méndez-Albores, A, Martínez-Bustos, F, Véles-Medina, JJ, Moreno-Ramos, C, Del Río-García, JC & Moreno-Martínez, E. (2009). Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudidos de sorgo. *Interciencia*, 24(4): 252-58.

Mutisya, J, Sun, C, Rosenquist, S, Baguma, Y & Jansson, C. (2009). Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. *Journal of Plant Physiology*, 166(4): 428-34. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2008.06.017>.

Quequeto, WD, Resende, O, Silva, PC, Silva, FAZ & Silva, LCM. (2019). Drying kinetics of noni seeds. *Journal of Agricultural Science*, 11(5): 250-58. doi: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n5p250>.

Oliveira, MM, Campos, ARN, Gomes, JP, Silva & FLH. (2005). Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4): 565-69. doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400020>.

Oliveira, DEC, Resende, O, Smaniotto, TAS, Sousa, KA & Campos, RC. (2013). Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio.

*Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(1): 50-6. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632013000100007>.

Oliveira, DEC, Resende, O, Campos, RC & Donadon, JR. (2014) - Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. *Científica*, 42(3): 203-10. doi: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n3p203-210>.

Pereira, AS, Shitsuka, DM, Parreira, FJ & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Resende, O, Corrêa, PC, Goneli, ALD, Botelho, FM & Rodrigues, S. (2008). Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 10(1):17-26. doi: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v10n1p17-26>.

Rooney, LW. (2007). Food and nutritional quality of sorghum and millet. Nebraska: INTSORMIL.

Santos, SGF, Silva, HW, Queiroz, JS, Rodovalho, RS & Morgado, VNM. (2020). Isotermas de adsorção e calor latente de vaporização de grãos de milho. *Científica*, 48(1): 17-24. doi: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n1p17-24>.

Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6(2), 461-464. doi: <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1176344136>.

Silva, HW, Costa, LM, Resende, O, Oliveira, DEC, Soares, RS & Vale, LSR. (2015). Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(8): 780-84. doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p780-784>.

Smaniotto, TAS, Resende, O, Oliveira, DEC, Sousa, KA & Campos, RC. (2012). Isotermas e calor latente de dessorção dos grãos de milho da cultivar AG 7088. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11(3): 312-22. doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p312-322>.

Sousa, KA, Resende, O & Carvalho, BS. (2016). Determination of desorption isotherms, latent heat and isosteric heat of pequi diaspore. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(5): 493-98. doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p493-498>.

Sousa, DG, Resende, O, Moura, LC, Ferreira Jr, WN & Andrade, JWS. (2019). Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Engenharia Agrícola*, 39(2): 176-81. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n2p176-181/2019>.

Ullmann, R, Resende, O, Oliveira, DEC, Costa, LM & Chaves, TH. (2016). Higroscopicidade das sementes de sorgo-sacarino. *Engenharia Agrícola*, 36(3): 515-24. doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p515-524/2016>.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Natália Nogueira Fonseca – 25%

Oswaldo Resende – 15%

Weder Nunes Ferreira Junior – 15%

Lígia Campos de Moura Silva – 15%

Érika Gonçalves Andrade – 15%

Luana Profiro de Oliveira – 15%