

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CÁCERES JANE VANINI**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS - FACAB**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**GUSTAVO DE LIMA MACHADO**

**EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE**  
**GERGELIM**

**CÁCERES-MT**  
**2016**

**GUSTAVO DE LIMA MACHADO**

**EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE GERGELIM**

Monografia apresentada como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo a Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Cáceres.

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dra. Tanismare Tatiana de Almeida

Coorientador

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo

**CÁCERES-MT**  
**2016**

**GUSTAVO DE LIMA MACHADO**

**EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE GERGELIM**

Esta monografia foi julgada e aprovada como requisito para obtenção do Diploma de Engenheiro Agrônomo no Curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

Cáceres, 05 de Setembro de 2016

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea dos Santos Oliveira – (UNEMAT)

---

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo/Coorientador – (UNEMAT)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Tanismare Tatiana de Almeida – (UNEMAT)  
Orientadora

A Deus, por ser a base de tudo.  
A minha família, por sempre me apoiar e me dar forças para prosseguir.  
A professora Tanismare, que me deu a força necessária para não desistir.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida que sempre me protegeu, fazendo com que eu pudesse atingir todos meus objetivos.

À minha família que sempre me motivou, me deu forças para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

A minha namorada que sempre esteve do meu lado nos momentos em que mais precisei.

A minha orientadora Tanismare e coorientador Éder que sempre me auxiliaram em todo meu projeto, fazendo com que saísse da melhor forma possível e que criasse forças para não desistir.

Por fim, aos meus amigos (as) Beatriz, Edvaldo, Elieber, Juliane, Lucas e Leonardo que fizeram parte da minha graduação e do meu projeto de monografia, que nos meus momentos de fraqueza, me motivaram de modo a persistir e alcançar o meu objetivo.

“A esperança depende da perseverança.”

SALMO 37 (36)

## RESUMO

O gergelim é uma espécie de clima Tropical e Subtropical que se adapta bem na região do Cerrado. Seu cultivo torna-se viável devido à qualidade do óleo extraído de suas sementes, e sua utilidade na panificação, nas indústrias química e farmacêutica, podendo também ser consumidas in natura. As sementes de um modo geral possuem capacidade de perder ou ganhar água, em razão da umidade relativa do ar, ou seja, quantidade de vapor d'água do ar que o circunda, a uma determinada temperatura. Com isso, o equilíbrio higroscópico ocorre sempre que a umidade dos grãos e/ou sementes fica em equilíbrio com a umidade relativa do ar a uma mesma temperatura, sendo uma característica importante para o armazenamento. E essa relação do teor de água e a umidade relativa de equilíbrio podem ser expressas por meio de equações matemáticas designadas isotermas. O presente trabalho teve como objetivo determinar a umidade de equilíbrio de sementes de gergelim em diferentes condições de umidade relativa, temperatura constante de 25 °C, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais. Para proporcionar a umidade relativa esperada foram utilizadas soluções salinas saturadas, nas quais foram o Iodeto de Potássio (68%), Cloreto de Sódio (75%) e Cloreto de Potássio (84%), submetidas a uma temperatura constante de 25 °C. As sementes foram pesadas e colocadas em embalagens permeáveis contendo 4 gramas de semente cada, inseridos dentro de recipiente de vidro, de maneira que não entrasse em contato direto com a solução salina saturada, e mantidos em Câmara Incubadora tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura constante de 25°C. Aos dados experimentais foram ajustados diversos modelos matemáticos descritos na literatura, que levam em consideração a atividade de água e umidade de equilíbrio. Os modelos matemáticos utilizados foram Chung Pfof, Copace, GAB Modificado, Hasley Modificado, Henderson Modificado, Sabbab, Sigma Copace. Com isso, verificou-se que a umidade de equilíbrio das sementes de gergelim e a atividade de água (aw) aumentam proporcionalmente, pois com o aumento da atividade de água, simultaneamente aumenta o valor de equilíbrio das sementes, para uma temperatura constante de 25°C. Portanto, na faixa de umidade relativa do ar utilizado, para temperatura constante de 25 °C, o teor de água de equilíbrio para umidade relativa do ar entre 68,86% e 84,34% foi de 0,0601 g g<sup>-1</sup> (b.s) (5,67% b.u) e 0,0829 g g<sup>-1</sup> (b.s) (7,65% b.u). De acordo com os parâmetros estatísticos analisados, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P) o modelo matemático Chung Pfof foi o que melhor representa a isoterma de sorção para sementes de gergelim.

Palavras-chaves: Atividade de água, isoterma, *Sesamum indicum*.

## SUMÁRIO

### ARTIGO

RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	09
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4 CONCLUSÃO.....	18
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

## Equilíbrio higroscópico de sementes de gergelim

Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Versão preliminar

**Resumo:** As sementes, de um modo geral, possuem capacidade de perder ou ganhar água, em função da umidade relativa do ar, a uma determinada temperatura, sendo que o equilíbrio higroscópico é obtido quando a umidade da semente entra em equilíbrio com o ambiente. O presente trabalho teve como objetivo determinar a umidade de equilíbrio de sementes de gergelim em diferentes condições de umidade relativa, temperatura constante de 25 °C, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais. Para proporcionar a umidade relativa esperada foram utilizadas soluções salinas saturadas, nas quais foram o Iodeto de Potássio (68%), Cloreto de Sódio (75%) e Cloreto de Potássio (84%). As sementes foram pesadas e colocadas em embalagens permeáveis contendo 4 gramas de semente cada, inseridos dentro de recipiente de vidro, de maneira que não entrasse em contato direto com a solução salina saturada, e mantidos em Câmara Incubadora para BOD (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura constante de 25°C. Aos dados experimentais foram ajustados diversos modelos matemáticos descritos na literatura, que levam em consideração a atividade de água e umidade de equilíbrio. Os modelos matemáticos utilizados foram Chung Pfof, Copace, GAB Modificado, Hasley Modificado, Henderson Modificado, Sabbab, Sigma Copace. Assim, pode-se observar que quanto maior a atividade de água, maior o valor da umidade de equilíbrio higroscópico das sementes. Na faixa de umidade relativa do ar utilizado, para temperatura constante de 25 °C, o teor de água de equilíbrio para umidade relativa do ar entre 68,86% e 84,34% foi de 0,0601 g g<sup>-1</sup> (b.s) (5,67% b.u) e 0,0829 g g<sup>-1</sup> (b.s) (7,65% b.u). De acordo com os parâmetros estatísticos analisados, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P) o modelo matemático Chung Pfof foi o que melhor representa a isoterma de sorção para sementes de gergelim.

**Palavras-chaves:** Atividade de água, isoterma, *Sesamum indicum*

## Hygroscopic equilibrium sesame seed

**Abstract:** The seeds, in general, have the ability to lose or gain water as a function of relative humidity at a given temperature, wherein the hygroscopic equilibrium is obtained when the seed moisture comes into equilibrium with the environment. This study aimed to determine the moisture sesame seeds balance in different conditions of relative humidity, constant temperature of 25 ° C, and adjust different mathematical models to experimental data. To provide the expected relative humidity saturated salt solutions were used, which were in the potassium iodide (68%), Sodium Chloride (75%) and potassium chloride (84%). The seeds were weighed and placed in water vapor permeable containers containing 4 grams of seed each inserted into glass container, so it does not come into direct contact with saturated saline solution and kept in incubator for BOD (Biochemical Oxygen Demand) with constant temperature of 25 ° C. The experimental data were adjusted several mathematical models described in the literature, which take into account the water activity and moisture balance. The mathematical models used were Chung Pfof, CECAF, GAB Modified, Hasley Modified, Modified Henderson, Sabbab, Sigma CECAF. Thus, it can be seen that the higher the water

activity, the greater the amount of moisture equilibrium moisture content of the seeds. The relative humidity range of air used to constant temperature of 25 ° C, the equilibrium moisture content to relative humidity between 68.86% and 84.34% was 0.0601 g g<sup>-1</sup> (b.s) ( 5.67% b.u) and 0.0829 g g<sup>-1</sup> (b.s) (7.65% b.u). According to the statistical parameters analyzed, the coefficient of determination ( $R^2$ ), estimated mean error (SE) and mean relative error (P) the mathematical model Chung Pfast was what best represents the sorption isotherm for sesame seeds.

**Keywords:** Water activity, isotherm, *sesamum indicum*

## INTRODUÇÃO

O gergelim é uma oleaginosa pertencente à família Pedaliaceae, é uma espécie de clima Tropical e Subtropical que se adapta bem na região do Cerrado. O seu cultivo torna-se viável devido à qualidade do óleo extraído de suas sementes, que tem teores e qualidades superiores aos de outras oleaginosas, como soja e girassol (Costa, et al, 2007; Lago, et al, 1994). Suas sementes podem ser utilizadas na panificação, consumidas in natura e nas indústrias química e farmacêutica. É considerada uma cultura resistente e de fácil manejo, sendo bastante explorada por pequenos e médios produtores, é uma planta que pode medir de 0,5 m a 3 m de altura, com caule ereto, podendo ter ou não ramificações, e sistema radicular tipo pivotante (Arriel, et al, 2007).

A semente de gergelim tem como características alto teor de óleo que pode variar de 44 a 58% da semente (Corso, 2008). Possui um tamanho reduzido, forma achatada, coloração variando do branco ao preto e possui um elevado teor de água no momento da colheita, sendo de 22,6%, o que seria inviável para o seu armazenamento (Lago, et al, 2001). Dessa maneira torna-se necessário o processo de secagem. Entretanto, se as sementes forem secadas a umidade muito baixa, quando forem colocadas para germinar, o processo de embebição, pode ocasionar danos no sistema de membranas e comprometer a qualidade dessas sementes devido à velocidade da entrada de água.

As sementes de um modo geral possuem capacidade de perder ou ganhar água, em razão da umidade relativa do ar, ou seja, quantidade de vapor d'água do ar que o circunda, a uma determinada temperatura. Com isso, o equilíbrio higroscópico ocorre sempre que a umidade dos grãos e/ou sementes fica em equilíbrio com a umidade relativa do ar a uma mesma temperatura, e esse equilíbrio é uma característica importante para o armazenamento (Bordignon, 2009). Esse equilíbrio, também conhecido com umidade higroscópica ou de equilíbrio, se dá pelo fato que o teor de umidade da semente cuja tensão de vapor d'água é igual à do ar ambiente (Bacchi, 1959).

Para determinar os limites de desidratação de um produto, é necessário avaliar a mudança na quantidade de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa constantes no ambiente ao ponto de evitar atividade de microrganismos ou processos metabólicos que provocam a deterioração do produto (Hall & Schulze, 1980). Onde essa deterioração está relacionada com o alto teor de óleo na semente, que ocorrendo uma secagem com umidade muito baixa, ocorre à oxidação de lipídeos, e uma semente ou grão com umidade alta pode ocorrer deterioração por microrganismos (Labuza, 1970). Sendo assim, essa relação do teor de água e a umidade relativa de equilíbrio segundo Correa et al (2005) pode ser expressa por meio de equações matemáticas designadas isotermas.

A isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio entre a atividade de água e a umidade da semente, sendo submetidos a uma temperatura constante (Park, et al, 2001).

Uma maneira de estabelecer ambientes com umidade conhecida e estável é por meio do uso de soluções salinas saturadas, na qual cada sal em uma determinada temperatura promove umidade relativa própria da sua característica química. Com esse processo pode-se propiciar uma secagem ou embebição que favoreça a perda e/ou o ganho lento do teor de água,

preservando a qualidade das sementes durante um período mais longo de armazenamento (Medeiros, 2006).

Vale ressaltar que mesmo a secagem sendo bem sucedida, ou se caso a semente estiver com umidade baixa e ocorrer embebição, até níveis ideais sendo abaixo de 0,7 atividade de água (aw) (Labuza, 1970). O processo de deterioração na semente tende a continuar a acontecer em maior ou menor grau, porque são vários os fatores que interferem nesse processo, com destaque a temperatura e a umidade no armazenamento, e a composição química da semente, que no caso do gergelim é composto por lipídios (Lago, et al, 1985).

Na literatura são escassos os estudos sobre o modelo matemático que represente o equilíbrio para as sementes de gergelim. O presente trabalho teve como objetivo determinar a umidade de equilíbrio de sementes de gergelim em diferentes condições de umidade relativa, temperatura constante de 25 °C, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no laboratório de Análises de Sementes do departamento de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Cáceres, MT. Para o presente trabalho foram utilizadas sementes de gergelim, do cultivar BRS Seda.

As sementes com umidade inicial de 5,19% foram submetidas a condições com diferentes umidades relativas, até obter o equilíbrio higroscópico. Para tanto as semente foram pesadas e colocadas em pacotes permeáveis contendo 4 gramas de sementes cada, posteriormente inseridos dentro de recipiente de vidro hermético, de maneira que não entrasse em contato direto com a solução salina saturada, e mantidos em Câmara Incubadora para BOD (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura constante de 25 °C. Para a obtenção das umidades foram utilizados os sais de Iodeto de Potássio, Cloreto de Sódio e Cloreto de Potássio. Para o preparo dessas soluções salinas saturadas, era colocado o sal e acrescentava água destilada, de forma que o material ficasse homogêneo e com uma lâmina d'água na superfície, onde posteriormente

retirava-se essa lâmina da superfície da solução. Promovendo assim, as respectivas umidades de equilíbrio com temperatura constante de 25 °C, descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Umidades relativas do ar (%) a temperatura de 25 °C em função dos diferentes sais

<b>Solução Saturada</b>	<b>Umidade Relativa</b>
<b>Iodeto de Potássio</b>	68.86 ± 0.24
<b>Cloreto de Sódio</b>	75.29 ± 0.12
<b>Cloreto de Potássio</b>	84,34 ± 0,26

Fonte: Greenspan (1977)

Periodicamente as sementes foram pesadas para o controle de ganho de água até o momento em que não houve mais variação da sua massa, considerando esse ponto como o equilíbrio higroscópico entre a massa de sementes e o ambiente. Após o cálculo da umidade por meio da fórmula de perda de peso (1), uma amostra das sementes foi colocada em estufa a 105 °C ± 3 °C durante 24 h para a confirmação da umidade final das sementes (Brasil, 2009).

$$Pf = \frac{Pi(100 - Ui)}{100 - Uf} \quad 1$$

em que:

Pf- Peso final, gramas (g);

Pi- Peso inicial, gramas (g);

Ui- Umidade inicial, (%);

Uf- Umidade final, (%);

As sementes com umidade inicial de 5,19% foram mantidas no sal Iodeto de Potássio absorvendo água até umidade de 5,83%. Em seguida foram transferidas para o recipiente contendo Cloreto de Sódio e, novamente ao entrar em equilíbrio, umidade de 6,33%, foram transferidas para a terceira e última solução saturada contendo Cloreto de Potássio, que proporcionou às sementes uma umidade de equilíbrio em 7,75%.

Para a obtenção da isoterma de equilíbrio higroscópico das sementes de gergelim em diferentes atividades de água e temperatura constante de 25 °C foram realizadas simulações matemáticas, a partir de modelos matemáticos frequentemente utilizados para descrever o fenômeno de higroscopicidade para produtos biológicos, conforme descrito na Tabela 2 (Barcelos, et al, 2014; Corrêa, et al, 1998; Corrêa, et al, 2005; MESQUITA, et al, 2001).

**Tabela 2.** Modelos utilizados para a verificação do comportamento da isoterma

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	<b>Eq.</b>
<b>Chung Pfof</b>	$U_e = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	(2)
<b>Copace</b>	$U_e = \exp[ a-(bT) + (ca_w)]$	(3)
<b>GAB Modificado</b>	$U_e = \frac{ab \left(\frac{c}{T}\right) a_w}{\{[1 - baw] \left[1 - baw + b \left(\frac{c}{T}\right) a_w\right]\}}$	(4)
<b>Hasley Modificado</b>	$U_e = [\exp(a - bT) / - \ln(a_w)]^{1/c}$	(5)
<b>Henderson Modificado</b>	$U_e = \{\ln(1 - a_w) / [- a(T + b)]\}^{1/c}$	(6)
<b>Sabbab</b>	$U_e = a (a_w^b / T^c)$	(7)
<b>Sigma Copace</b>	$U_e = \exp\{a-(bT) + [c \exp(a_w)]\}$	(8)

em que;

$U_e$  - teor de água do produto, em base seca (b.s.);

$a_w$  - atividade de água, decimal;

T - temperatura do ar ambiente, °C;

a, b, c - parâmetros que dependem da natureza do produto

A estimativa dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foi realizada por meio da utilização do programa STATISTICA 7.0, com aproximação não linear pelo método Quasi-Newton. Para a análise de representatividade dos dados aos modelos propostos, os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, verificando-se a representatividade de cada um. Para isto foram estimados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a porcentagem de erro médio relativo (P), e o erro médio estimado (SE), respectivamente com as Equações 9 e 10.

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

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

em que:

Y - valor observado experimentalmente;

$\bar{Y}$  - valor calculado pelo modelo;

GLR - grau de liberdade do modelo,

N - número de repetições.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de gergelim para temperatura constante de 25 °C e as atividades de água observadas 0,68, 0,75 e 0,84 (decimal) são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que, para a temperatura usada, conforme ocorre o aumento da atividade de água, tem-se um aumento significativo do teor de água de equilíbrio.

**Tabela 3.** Valores observados do teor de água de equilíbrio das sementes de gergelim, em função da temperatura (°C) e atividade de água (decimal)

Umidade Relativa	Atividade de Água	Temperatura	Umidade de Equilíbrio
(%)	(Decimal)	(°C)	(% b.u)
68,86	0,68	25	5,83
75,29	0,75	25	6,33
84,34	0,84	25	7,75

Com isso, pode-se observar que para umidade relativa de 68,86%, a umidade de equilíbrio higroscópico é de 5,83% b.u. Para umidade relativa de 75,29% as sementes de gergelim entram em equilíbrio com 6,33% b.u, e, com uma umidade um pouco maior, 84,34%, a umidade de equilíbrio foi 7,75% b.u.

Na Tabela 4 estão expostos os parâmetros dos modelos que foram utilizados para estimar os valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para sementes de gergelim, obtidos pelo método estático para uma temperatura constante e diferentes atividades de água.

**Tabela 4.** Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de gergelim com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médios estimado (SE) e erros médios relativo (P)

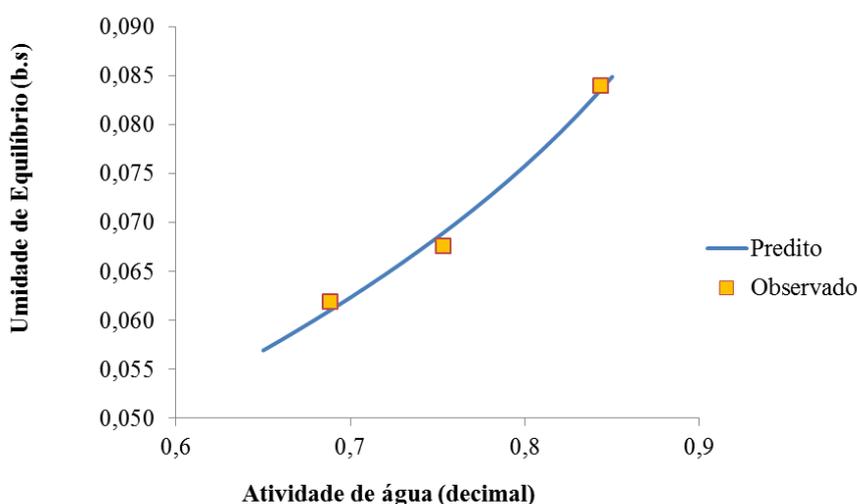
Modelos	Parâmetros			$R^2$	SE	P
	A	B	c		Decimal	(%)
<b>Chung Pfo</b>	0,15173	0,02869	38,19807	0,994882	0,00116	1,29599
<b>Copace</b>	178,4257	7,3044	2,0162	0,990915	0,001544	1,663993
<b>GAB. Modificado</b>	1,927335	0,305871	2,384791	0,989054	0,001694	1,895507
<b>Sabbab</b>	0,097805	1,568373	-0,032896	0,987084	0,001839	2,059802
<b>Sigma Copace</b>	-180,443	-7,030	0,948	0,993596	0,001297	1,449211
<b>Hasley Modificado</b>	-371,047	14,941	281,162	0,122732	0,011393	11,76784
<b>Henderson Modificado</b>	0,43697	84,67872	0,43697	0,879775	0,043897	35,53394

Com base na Tabela 4, os modelos 7 e 8 não apresentaram ajustes satisfatórios segundo Mohapatra & Rao (2005) onde o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) menor que 0,9 e erro médio relativo (P) maior que 10% não são valores aceitáveis, e para o valor de erro médio estimado (SE) deve escolher o modelo que possuir o menor valor. Portanto, os outros cinco modelos apresentaram ajuste satisfatório.

Sendo assim, Madamba et al. (1996), afirmam que utilizar apenas o coeficiente de determinação como parâmetro para seleção de modelos não lineares, não seria um critério confiável. Assim, deve-se também levar em consideração os valores do erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE).

Pode-se verificar que o modelo Chung Pfof foi o mais adequado, se aproximando dos valores ideais para um bom modelo matemático. Sendo assim, é o modelo que melhor descreve a isoterma de sorção de sementes de gergelim para temperatura de 25 °C.

Na Figura 1 estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de gergelim, obtidos por adsorção, bem como sua isoterma estimada pelo modelo de Chung Pfof. Observa-se que com o aumento da atividade de água, ocorre o aumento da umidade de equilíbrio higroscópico das sementes de gergelim.



**Figura 1.** Valores experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico e isoterma estimada pelo modelo de Chung Pfof para as sementes de gergelim na temperatura de 25 °C

A partir dos resultados obtidos através do Modelo Chung Pfof no intervalo entre 68,86 e 84,34% de umidade relativa do ar e temperatura de 25 °C, os valores observados estão coincidindo com os valores estimados, o que comprova o valor do coeficiente de determinação próximo a 100%. Tornando esse modelo adequado para representar o comportamento higroscópico das sementes de gergelim quando submetidos a diferentes condições ambientais.

Os modelos matemáticos têm por objetivo relacionar a atividade de água com a umidade de equilíbrio do produto utilizado. Podendo auxiliar com a secagem ideal da semente e a umidade em que esse produto pode ser armazenado, para que não ocorra deterioração das sementes,

podendo implicar em perdas, como perda da qualidade, diminui a velocidade de germinação, fica mais susceptível a microrganismos, refletindo na produção final.

Sabe-se que a deterioração de sementes por microrganismos no armazenamento se dá pelo alto valor da atividade de água ( $a_w$ ), sendo o valor acima de 0,7  $a_w$ . Caso a semente for secada a uma umidade muito baixa, pode ocasionar a oxidação de lipídeos (Labuza, 1970). Com base nesse valor, pode-se afirmar através do método de Chung Pfof que para temperatura de 25 °C as sementes de gergelim não devem ser armazenadas com umidade acima de 0,0623 g g<sup>-1</sup> (b.s) (5,87 b.u).

De acordo com Fogaça (2016) a atração entre as moléculas de água é muito maior (ligação de hidrogênio) do que a atração entre as moléculas de óleo e água. Por isso, as moléculas de óleo não conseguem romper a ligação entre duas moléculas de água vizinhas. Essa afirmação justifica o baixo valor da umidade de equilíbrio das sementes de gergelim que possui elevado teor de óleo podendo variar de 44 a 58% da semente (Corso, 2008).

## CONCLUSÃO

1. Na faixa de umidade relativa do ar utilizado, para temperatura constante de 25 °C, o teor de água de equilíbrio para umidade relativa do ar entre 68,86% e 84,34% foi de 0,0601 g g<sup>-1</sup> (b.s) (5,67% b.u) e 0,0829 g g<sup>-1</sup> (b.s) (7,65% b.u).

2. O modelo matemático Chung Pfof foi o que melhor representou a higroscopicidade para sementes de gergelim com base nos parâmetros utilizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J. J.; DE ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. 1. ed. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 72 p.: il. – (Coleção Plantar, 50).

BACCHI, O. Equilíbrio higroscópico das sementes de café, fumo e várias hortaliças. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do estado de São Paulo. Vol. 18, n. 15, 1959.

BARCELOS, K.M.; XAVIER, T.P.; BACELOS, M.S.; BARROZO, M.A.S.; LIRA, T.S. Discriminação de equações para isotermas da umidade de equilíbrio da casca de macadâmia. Vol. 1, n. 1, dezembro, 2014.

BORDIGNON, B. C. S. Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Testes de Germinação. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. Cap5, p.147-166.

CORSO, M. P. Estudo da extração de óleo de sementes de gergelim (*sesamun indicum* L.) empregando os solventes dióxido de carbono supercrítico e n-propano pressurizado. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

COSTA, M. L. M.; GONDIM, T. M. S.; ARAÚJO, I. M. S.; MILANI, M.; SOUSA, J. S.; FEITOSA, R. M. Características Físico-químicas de Sementes de Genótipos de Gergelim. Nota científica. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 867-869, julho de 2007.

CORRÊA, P.C.; VITAL, R.B.; MARTINS, J.H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de *Eucalyptus grandis*. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 22, n. 4, p.555-561, 1998.

CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; BOTELHO, F. M.. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial, v.7, n. 2, p.141-149, 2005.

MESQUITA, J. B.; de ANDRADE E. T.; CORRÊA, P. C. Modelos matemáticos e curvas de umidade de equilíbrio de sementes de jacarandá-da-bahia, angico-vermelho e óleo-copaíba. v. 7, n. 2, p.012-021, Viçosa, 2001.

FOGAÇA, J. R. V. "Relação entre Força Intermolecular e Solubilidade das Substâncias"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/relacao-entre-forca-intermolecular-solubilidade-das-substancias.htm>>. Acesso em 27 de agosto de 2016.

GREENSPAN, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. Journal of research of the National Bureau of Standards- A. Physics and Chemistry, v. 81 A, 1977.

HALL, A. E.; SCHULZE, E. Drought effects on transpiration and leaf water status of cowpea in controlled environments. Functional Plant Biology, v. 7, n. 2, p. 141-147, 1980.

LABUZA, T. P. Properties of water as related to the keeping quality of food. In: International congress of food science and technology, 1970, Washington, DC. Proceedings... Washington, DC: [s.n.], 1970. p. 618-635.

LAGO, A. A.; ZINK, E.; SAVY FILHO, A.; TEIXEIRA, J. P. F.; BANZATTO, N. V. Deterioração de sementes de mamona armazenadas com e sem casca. Campinas, p. 17-25, 1985.

LAGO, A. A.; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V.; CAMARGO, O. B. A. Maturação e produção de sementes de gergelim. Revista Brasileira de Sementes, v. 16, n. 2, p. 134-137, 1994.

LAGO, A. A.; CAMARGO, O. B. de A.; SAVY FILHO, A.; MAEDA, J. A. Maturação e produção de sementes de gergelim cultivar IAC-China. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 2, p. 363-369, fev. 2001.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. Jornal de Engenharia de Alimentos, v.29, p.75-97, 1996.

MEDEIROS, A. C. S.; Preparo e Uso de Soluções Salinas Saturadas para a Caracterização Fisiológica de Sementes Florestais. Embrapa, Colombo, Pr, 2006.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering, London, v.66, n.4, p.513-18, 2005.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, p. 73-77, 2001.