



## Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*

Paulo C. Corrêa<sup>1</sup>, Fernando M. Botelho<sup>2</sup>, Sílvia de C. C. Botelho<sup>3</sup> & André L. D. Goneli<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UFV, Viçosa, MG. E-mail: [copace@ufv.br](mailto:copace@ufv.br)

<sup>2</sup> UFMT, Sinop, MT. E-mail: [fernando.eaa@gmail.com](mailto:fernando.eaa@gmail.com) (Autor correspondente)

<sup>3</sup> Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT. E-mail: [silvia.campos@embrapa.br](mailto:silvia.campos@embrapa.br)

<sup>4</sup> UFGD, Dourados, MS. E-mail: [andregoneli@gmail.com](mailto:andregoneli@gmail.com)

### Palavras-chave:

histerese  
adsorção  
dessorção  
modelagem matemática

### RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar e modelar as curvas de equilíbrio higroscópico obtidas pelos processos de adsorção e dessorção para os frutos de café (*Coffea canephora*) maduros (cerejas) para diferentes condições psicrométricas do ar. Nos processos de sorção foram utilizadas diferentes condições de temperatura (entre 10 e 50 °C) e umidade relativa (entre 10 e 95%) até que o produto atingisse o teor de água de equilíbrio com a condição do ar especificada. Aos dados experimentais de sorção foram ajustados diversos modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas. Verificou-se que o teor de água de equilíbrio dos frutos de café aumentou com a umidade relativa para dada temperatura e diminuiu com o aumento da temperatura para determinada umidade relativa. A histerese foi mais pronunciada na faixa de umidade relativa do ar entre, 65 e 75%. O modelo Sigma-Copace foi o que melhor descreveu a higroscopicidade dos frutos de café, tanto na adsorção quanto na dessorção.

### Key words:

hysteresis  
adsorption  
desorption  
mathematical modeling

## Sorption isotherms of fruits of *Coffea canephora*

### ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate and to model the isotherms curves obtained by adsorption and desorption processes for the fruits of ripe (cherries) coffee (*Coffea canephora*), for different psychrometric conditions of the air. For all sorption processes, different conditions of temperature (between 10 and 50 °C) and relative humidity (between 10 and 95%) were used, until the product reached its equilibrium moisture content with the air condition specified. For experimental data of sorption, different mathematical models often use to represent hygrosopicity of agricultural products were adjusted. It was verified that the equilibrium moisture content of the fruits of coffee increased with relative humidity for a given temperature and decreased with increasing temperature for a given relative humidity. The hysteresis, regardless of temperature, was more pronounced for relative humidity of the air between 65 and 75%. The Sigma-Copace model was the best in describing hygrosopicity of the fruits of coffee both in desorption and adsorption.

## INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, são cultivadas, no Brasil, duas espécies do gênero *Coffea*, *Coffea arabica* L. (café arábica) e o *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta, também conhecido como café conilon ou canelão) sendo que a primeira corresponde a aproximadamente 75% do total produzido. Os termos “robusta” e “conilon” são denominações que agrupam as cultivares ou variedades botânicas dos cafeeiros mais plantados no Brasil, pertencentes à espécie *C. canephora*.

Marginalizado como o que produz bebida inferior à do *C. arabica*, o *C. canephora* experimenta avanços quanto à valorização diferenciada do produto beneficiado por aspectos qualitativos (classificação por tipo e bebida) ou nível de processamento (via seca ou via úmida) sobretudo no Espírito Santo (Marcolan et al., 2009) maior estado produtor; todavia, quando comparado ao *C. arabica*, ainda é incipiente ou, na

maioria das vezes, inexistem informações tecnológicas sobre as operações de pós-colheita e suas interações com os aspectos qualitativos dos grãos para essa espécie.

Para uma realização correta das operações de secagem e armazenagem torna-se necessário o conhecimento das relações existentes entre o produto e o ar circundante e as condições desejáveis de conservação do produto. Como diversos outros tipos de produtos agrícolas, os grãos e os frutos de café são higroscópicos e possuem a capacidade de ceder ou adsorver água do ambiente, fenômenos esses conhecidos como dessorção e adsorção de água e são constantemente observados para o café. Este produto normalmente é armazenado em armazéns convencionais, sistema em que o ar circundante ao produto sofre muitas alterações durante o dia e principalmente durante o ano.

O teor de água de qualquer produto higroscópico, mesmo quando em equilíbrio com as condições psicrométricas do ar que o circunda, é chamado teor de água de equilíbrio e é

alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto se iguala à do ar que o envolve.

Para determinada condição psicrométrica do ar, o teor de água de equilíbrio de um material higroscópico é dependente do caminho utilizado para atingir este equilíbrio. Assim, para uma mesma temperatura e umidade relativa do ar, pode haver dois teores de água de equilíbrio dependendo das condições experimentais (adsorção ou dessorção). Isto ocorre uma vez que o material pode estar com teor de água menor ou maior que o de equilíbrio para as condições do ambiente. A diferença entre os valores dos teores de água obtidos por dessorção e por adsorção é denominada histerese (Wolf et al., 1972).

A dependência do teor de água de equilíbrio de determinado produto com a umidade relativa e temperatura de equilíbrio, pode ser expressa por equações matemáticas, que são denominadas isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico. Mulet et al. (1999) relatam que na literatura existem mais de duzentas equações propostas para representar o fenômeno de equilíbrio higroscópico dos produtos agrícolas. Esses modelos diferem na sua base teórica ou empírica e na quantidade de parâmetros envolvidos.

Diante do apresentado objetivou-se, neste trabalho, avaliar e modelar as curvas de equilíbrio higroscópico obtidas pelos processos de adsorção e dessorção para os frutos de *C. canephora* em diferentes condições psicrométricas do ar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar) localizado na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Com vista à obtenção do teor de água de equilíbrio dos frutos de café pelos processos de dessorção e adsorção, foi utilizado o método dinâmico gravimétrico. Os teores de água de equilíbrio para os processos de dessorção foram obtidos com os frutos de café maduros (cerejas) colhidos com teor de água inicial de aproximadamente 1,2 (b.s., base seca) enquanto que para os processos de adsorção foram utilizados frutos de café previamente secados com teor de água de aproximadamente 0,03 (b.s.).

Em todos os processos de sorção (dessorção e adsorção) foram utilizadas diferentes condições de temperatura (10, 20, 30, 40 e 50 ± 1 °C) e umidade relativa (entre 10 e 95 ± 2%) até que o produto atingisse o teor de água de equilíbrio com a condição do ar especificada. Para obter o produto seco e garantir que em todos os processos de adsorção houvesse ganho de água, as amostras na condição mais extrema foram secadas à 50 °C e 10% de umidade relativa. Para cada processo foram utilizadas pelo menos seis umidades relativas diferentes na faixa especificada.

As condições experimentais descritas foram fornecidas por uma unidade condicionadora de ar de fabricação da empresa Aminco (modelo Aminco-Aire). Foram colocadas, no equipamento, bandejas removíveis com fundo telado (para

permitir a passagem do ar) tal como as amostras do produto que foi submetido ao processo de sorção contendo, cada um, 50 g em três repetições. O fluxo de ar foi monitorado por um anemômetro de lâminas rotativas e mantido em aproximadamente 4 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. A temperatura e a umidade relativa foram monitoradas por meio de psicrômetro instalado próximo às bandejas contendo as amostras. As bandejas contendo o produto foram pesadas periodicamente em uma balança com resolução de 0,01 g e o teor de água foi considerado o de equilíbrio quando a variação da massa dos recipientes permaneceu constante por pelo menos três pesagens consecutivas. Metodologia semelhante foi utilizada por Sousa et al. (2013) para a determinação das isotermas de equilíbrio de nabo forrageiro.

O teor de água do produto foi então determinado pelo método gravimétrico utilizando-se uma estufa com circulação forçada de ar a 105 ± 1 °C por 24 h em três amostras de 40 g (Brasil, 2009).

Aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora* obtido para cada condição psicrométrica do ar foram ajustados os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos para representação das curvas de equilíbrio higroscópico

Designação do modelo	Modelo	
Chung-Pfost	$U_e = a - b \ln[-(T+c) \ln UR]$	(1)
Copace	$U_e = \exp[a - (bT) + (cUR)]$	(2)
Henderson Modificado	$U_e = \left\{ \ln(1-UR) / [-a(T+b)] \right\}^{1/c}$	(3)
Oswin Modificado	$U_e = (a + bT) / \left[ (1-UR) / UR \right]^{1/c}$	(4)
Sigma Copace	$U_e = \exp \left\{ a - bT + [c \exp(UR)] \right\}$	(5)
GAB	$U_e = \frac{(abcUR)}{[(1-cUR)(1-cUR+b cUR)]}$	(6)

em que:

$U_e$  - teor de água de equilíbrio, % b.s.

UR - Umidade relativa do ar expressa em decimal, adimensional

T - temperatura, °C

a, b, c - coeficientes de ajuste dos modelos que dependem do produto

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton e, para verificar o grau de ajuste dos modelos foram consideradas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE) e do erro médio relativo (P) sendo que, de modo geral, quanto menores forem as magnitudes desses índices melhor o ajuste do modelo aos dados observados. Os valores de P e SE para cada modelo foram calculados pelas Eqs. 7 e 8, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (7)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (8)$$

em que:

- Y - valor observado experimentalmente  
 Ŷ - valor estimado pelo modelo  
 η - número de dados observados  
 GLR - graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo)

Além do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa, foram considerados ainda a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o comportamento da distribuição dos resíduos (aleatório ou tendencioso).

Uma vez selecionado o melhor modelo para descrever os processos de dessorção e adsorção, a histerese (diferença entre os teores de água de equilíbrio da dessorção e adsorção) foi calculada considerando-se os valores estimados pelo modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos dados observados de equilíbrio higroscópico dos frutos de *C. canephora* obtidos por dessorção e adsorção, para as diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, com seus respectivos valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) do desvio padrão da estimativa (P) e do erro médio relativo (SE).

Buscam-se sempre, em uma modelagem matemática, modelos que apresentem o melhor ajuste possível aos dados experimentais, avaliando-se o erro de sua estimativa e a distribuição dos resíduos. No caso do erro associado à estimativa do modelo diversos autores argumentam que um modelo apresenta ajuste satisfatório aos dados se o valor do erro médio relativo (P) for menor que 10% (Madamba et al., 1996; Henao et al., 2009; Rosa et al., 2010); já para o caso do desvio padrão

da estimativa considerou-se como aceitável, neste trabalho, um desvio máximo da estimativa do modelo de 1% (b.s.). Desta forma e de acordo com os dados das Tabelas 2 e 3, dentre todos os modelos avaliados o modelo Sigma Copace foi o que apresentou as menores magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE) e do erro médio relativo (P) sendo o único que atendeu aos critérios utilizados para a descrição dos fenômenos da dessorção e da adsorção dos frutos de *C. canephora*.

Normalmente, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) apresenta maiores valores para aqueles modelos com melhor ajuste, como foi observado para o modelo Sigma Copace que apresentou valores acima de 99%. Todavia, este índice deve ser utilizado apenas como auxiliar e não como critério de avaliação de modelos não lineares (Cunningham et al., 2007; Kashaninejad et al., 2007; Goneli et al., 2010).

A distribuição dos resíduos apresentada pelo modelo Sigma Copace na descrição do fenômeno de dessorção e adsorção nos frutos de *C. canephora* está apresentada na Figura 1.

A tendência apresentada pelos resíduos do modelo Sigma Copace na descrição dos teores de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora* foi totalmente aleatória.

A distribuição dos resíduos, que são as diferenças entre os valores observados experimentalmente e os estimados pelo modelo, representados como uma função dos níveis estimados possibilita avaliar como o modelo estima os valores da variável em estudo. Esta é uma avaliação subjetiva mas, normalmente, um modelo é considerado aceitável se os valores residuais se encontram em uma zona horizontal perto de zero formando distribuições aleatórias. Se as distribuições dos resíduos formam figuras geométricas, apresentam regiões em que o modelo subestima ou superestima a condição real ou, se tendem a se acumular em um ponto fora do eixo, a distribuição dos seus resíduos é considerada tendenciosa e o modelo inadequado para representar o fenômeno em questão.

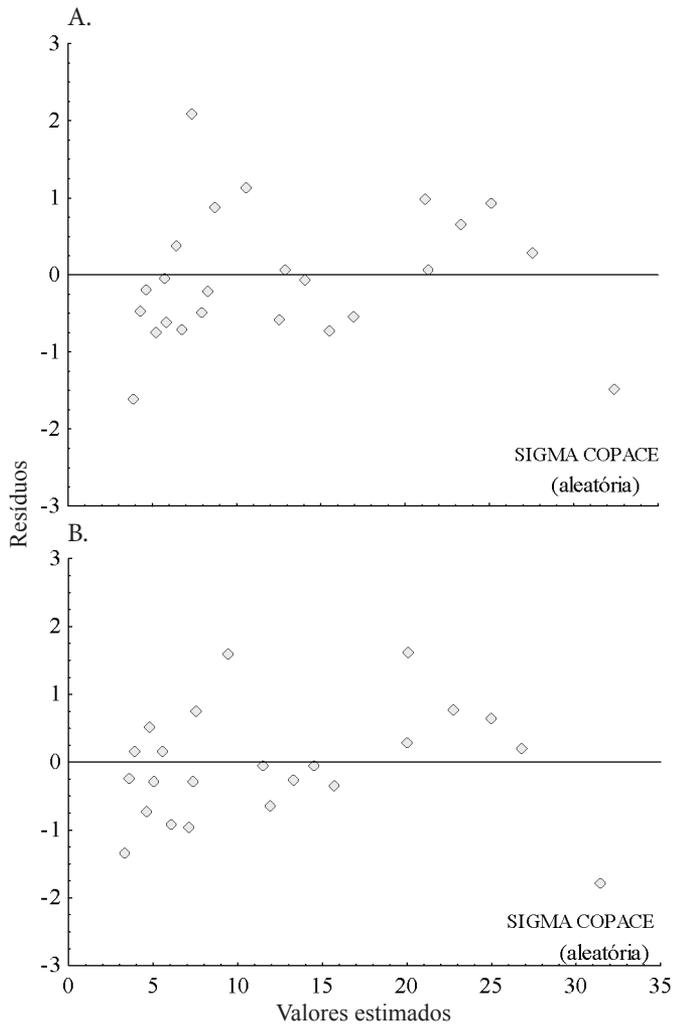
Assim, além de apresentar as menores magnitudes de erro, o modelo Sigma Copace também não se mostrou tendencioso

**Tabela 2.** Coeficientes de ajuste e parâmetros estatísticos dos modelos de equilíbrio higroscópico para os frutos de *C. canephora*, obtidos por dessorção

Modelo	Parâmetros			P (%)	SE (% b.s.)	R <sup>2</sup> (%)
	a	b	C			
Chung Pfost	33,1398	6,4085	23,6247	14,57	1,39	97,02
Copace	2,3390	1,3031	0,0092	9,88	1,11	98,41
GAB	6,3921	9,5649	0,8220	18,52	2,08	94,42
Oswin Modificado	12,8823	-0,1035	2,8761	12,52	1,49	97,15
Sigma Copace	0,5412	0,0089	1,1630	5,77	0,81	99,13
Henderson Modificado	0,0003	52,0277	1,4495	11,65	1,22	98,07

**Tabela 3.** Coeficientes de ajuste e parâmetros estatísticos dos modelos de equilíbrio higroscópico para os frutos de *C. canephora*, obtidos por adsorção

Modelo	Parâmetros			P (%)	SE (% b.s.)	R <sup>2</sup> (%)
	a	b	C			
Chung Pfost	33,0088	6,4091	29,2991	19,09	1,60	96,78
Copace	1,0106	0,0083	2,6059	10,94	1,03	98,66
GAB	6,3922	9,5649	0,8220	19,09	1,98	94,42
Oswin Modificado	11,6276	0,0899	2,7014	14,99	1,70	96,37
Sigma Copace	0,1863	0,0083	1,2873	9,08	0,88	99,04
Henderson Modificado	0,0003	52,0277	1,4495	12,87	1,32	97,81



**Figura 1.** Comportamento da distribuição dos resíduos do modelo Sigma Copace avaliado para obtenção das isotermas de dessorção (A) e adsorção (B) dos frutos de *C. canephora*

nas suas estimativas sendo o recomendado para a predição dos teores de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora*. O modelo Sigma Copace também representou, de forma satisfatória, a higroscopicidade do milho pipoca (Corrêa et al., 1998), sementes e fibras de algodão herbáceo (Corrêa & Almeida, 1999), café solúvel (Corrêa et al., 2000), sementes de jacarandá-da-bahia e angico-vermelho (Mesquita et al., 2001) e albumina (Christ et al., 2012).

Ressalta-se a importância de serem feitos estudos frequentes referentes à modelagem do equilíbrio higroscópico dos diferentes produtos agrícolas por mais que sejam semelhantes física e quimicamente. Na ausência de dados de equilíbrio higroscópico para frutos de *C. canephora* são utilizados, atualmente, dados para o *Coffea arabica*, o que pode resultar em erros consideravelmente significativos. Como exemplo, o teor de água de equilíbrio encontrado neste trabalho para o ar a 25 °C e 65% de umidade relativa (tipicamente relatada no armazenamento do café) é de 11,47%; valor inferior seria encontrado para frutos de *C. arabica* (14,57%) se baseado nos estudos de Afonso Júnior (2001).

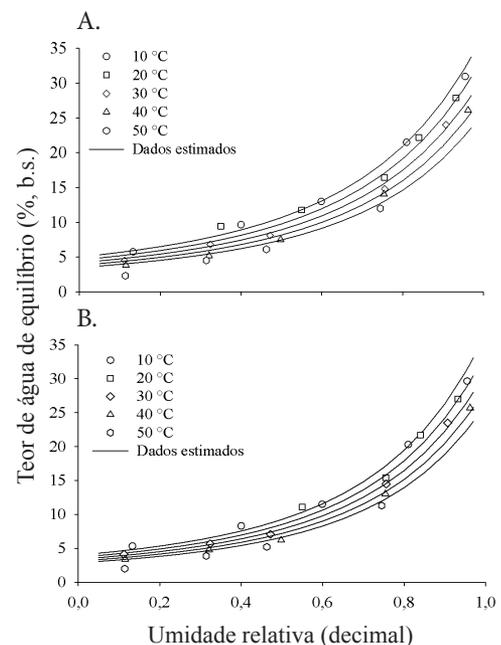
Na Figura 2 são apresentados os valores médios do teor de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora* para diferentes condições de temperatura e umidade relativa obtidos por dessorção (Figura 2A) e adsorção (Figura 2B) respectivamente, bem como as isotermas descritas pelo modelo Sigma Copace.

Analisando as isotermas da Figura 2, pode-se verificar a influência da temperatura sobre a higroscopicidade dos frutos de *C. canephora*, a qual está de acordo com o observado para a maioria dos produtos agrícolas. Para se atingir um mesmo teor de água de equilíbrio o aumento da temperatura requer o aumento da umidade relativa ou, de forma semelhante, para a umidade relativa o teor de água de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura.

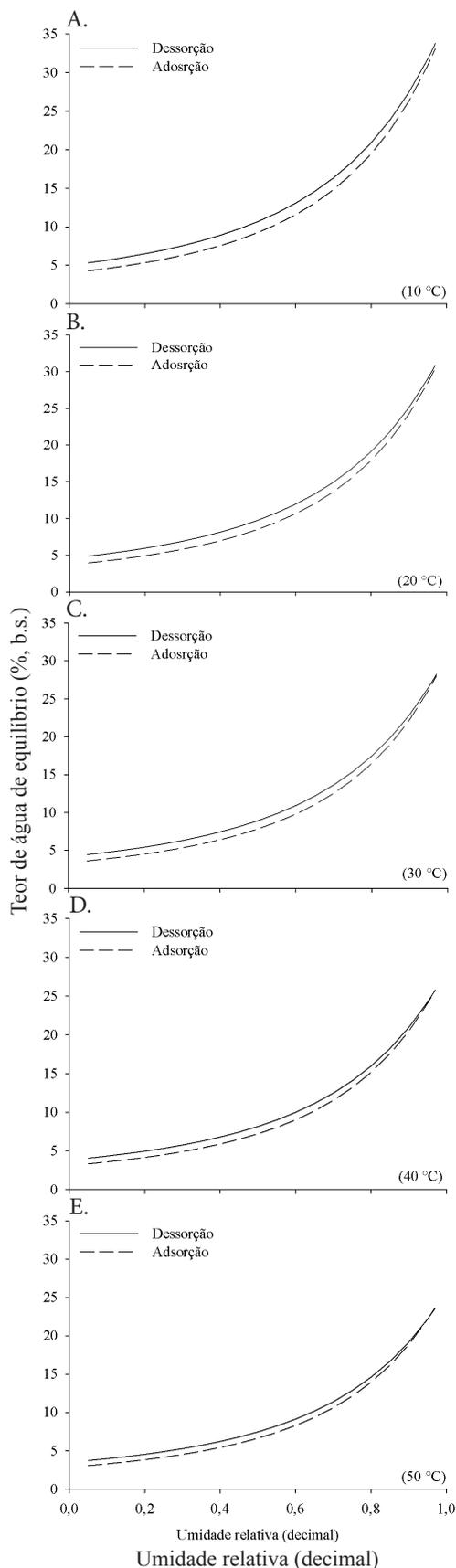
Palipane & Driscoll (1992) argumentam que com o aumento da temperatura as moléculas de água atingem maiores níveis energéticos tornando-se termodinamicamente menos estáveis favorecendo a quebra da ligação entre a água e os locais de sorção reduzindo, assim, o teor de água do produto.

Ainda analisando a Figura 2 verifica-se que houve boa correspondência entre os dados estimados pelo modelo recomendado e os observados experimentalmente sobretudo para as temperaturas entre 10 e 40 °C; além disto, como o modelo é fundamentalmente exponencial, não se observa inflexão da isoterma para predição de teores de água quando a umidade relativa tende a zero sendo, portanto, uma limitação deste modelo na estimativa dos teores de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora*.

Outra observação pertinente que pode ser feita comparando-se os dados experimentais ou as isotermas geradas é que, para todas as condições do ar utilizadas, os valores do teor de água de equilíbrio obtidos pela dessorção sempre foram maiores



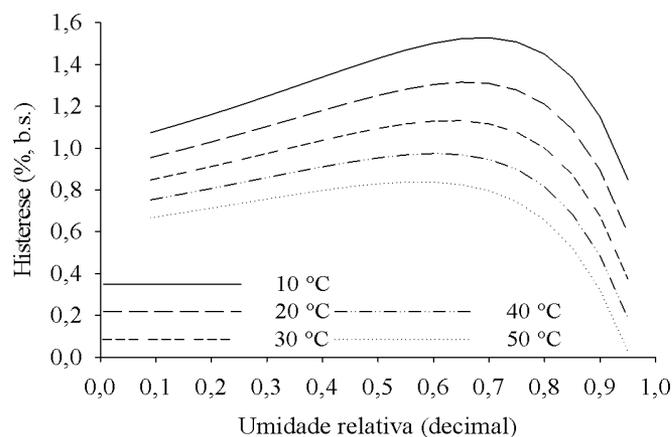
**Figura 2.** Valores observados e estimados pelo modelo Sigma Copace, do teor de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora*, obtidos por dessorção (A) e adsorção (B)



**Figura 3.** Valores estimados das isotermas de dessorção e adsorção dos frutos de *C. canephora*, para todas as temperaturas avaliadas, evidenciando o efeito da histerese

que os obtidos pela adsorção, fenômeno este conhecido por histerese (Figura 3).

A histerese foi mais pronunciada nas menores temperaturas (Figura 4) assim como também observaram Bahloul et al. (2008). Além disto, a histerese foi observada em toda a faixa de umidade relativa também conforme observaram Pena et al. (2010). As maiores magnitudes da histerese ocorreram entre 65 e 75% de umidade relativa tendendo a nulidade sempre que este índice tendeu a 100%, independentemente da temperatura analisada. Resultados semelhantes foram constatados por Chen (2000) avaliando isotermas de amendoins, e por Kaleemullah & Kailappan (2004) estudando higroscopicidade de pimentas vermelhas.



**Figura 4.** Efeito da temperatura e da umidade relativa na variação da histerese nos frutos de *C. canephora*

Uma das teorias mais aceitas para explicar o fenômeno da histerese sugere que, em condições de elevada quantidade de água, os locais de sorção da estrutura molecular do material estão quase todos completos com água. Após a secagem a quantidade de sítios de sorção disponíveis diminui devido à contração do produto. Isto faz com que ocorra redução da capacidade de ligação da água durante uma adsorção futura (Mohsenin, 1986).

## CONCLUSÕES

1. Verificou-se que o teor de água de equilíbrio dos frutos de café aumenta com a umidade relativa para dada temperatura e diminui com o aumento da temperatura para determinada umidade relativa, tanto na dessorção quanto na adsorção.

2. O modelo Sigma Copace é o que melhor descreve a variação dos teores de água de equilíbrio dos frutos de *C. canephora* em função da temperatura e da umidade relativa do ar.

3. Observou-se que a histerese, independente da temperatura, é mais pronunciada para umidades relativas do ar entre 65 e 75%.

## LITERATURA CITADA

Afonso Júnior, P. C. Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento. Viçosa: UFV, 2001. 384p. Tese Doutorado

- Bahloul, N.; Boudhrioua, N.; Kechaou, N. Moisture desorption-adsorption isotherms and isosteric heats of sorption of tunisian olive leaves (*Olea europaea* L.). *Industrial Crops and Products*, v.28, p.162-176, 2008.
- Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análises de sementes. Brasília: MAPA 2009. 399p.
- Chen, C. A rapid method to determine the sorption isotherms of peanuts. *Journal Agricultural Engineering Research*, v.75, p.401-408, 2000.
- Christ, D.; Cunha, R. L.; Menegalli, F. C.; Takeuchi, K. P. Coelho, S. R. M.; Nóbrega, L. H. P. Sorption isotherms of albumen dried in a spout fluidised bed. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.10, p.151-155, 2012.
- Corrêa, P. C.; Afonso Júnior, P. C.; Stringheta, P. C. Estudo do fenômeno de adsorção de água e seleção de modelos matemáticos para representar a higroscopicidade do café solúvel. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.2, p.19-25, 2000.
- Corrêa, P. C.; Almeida, F. de A. C. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 3, p.1-6, 1999.
- Corrêa, P. C.; Martins, J. H.; Christ, D.; Mantovani, B. H. M. Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.75-79, 1998.
- Cunningham, S. E.; Mcminn, W. A. M.; Richardson, P. S. Modelling water absorption of pasta during soaking. *Journal of Food Engineering*, v.82, p.600-607, 2007.
- Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Botelho, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. *Transactions of the ASABE*, v.53, p.191-197, 2010.
- Henao, J. D.; Queiroz, M. R.; Haj-Isa, N. M. A. Umidade de equilíbrio de café cereja descascado baseada em métodos estático e dinâmico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p. 470-476, 2009.
- Kaleemullah, S.; Kailappan, R. Moisture sorption isotherms of red chillies. *Biosystems Engineering*, v.88, p.95-104, 2004.
- Kashaninejad, M.; Mortazavi, A.; Safekordi, A.; Tabil, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, v.78, p. 98-108, 2007.
- Madamba, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, p.75-97, 1996.
- Marcolan, A. L.; Ramalho, A. R.; Mendes, A. M.; Teixeira, C. A. D.; Fernandes, C. F.; Costa, J. M. N.; Vieira Júnior, J. R.; Oliveira, S. J. M.; Veneziano, W. Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia. 3.ed., Porto Velho: Embrapa Rondônia; Emater-RO, 2009. 61p.
- Mesquita, J. B.; 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. *Cerne*, v.7, p.12-21, 2001.
- Mohsenin, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- Mulet, A.; Garcia-Reverter, J.; Sanjuán, R.; Bon, J. Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. *Journal of Food Science*, v. 64, p.64-68, 1999.
- Palipane, K. B.; Driscoll, R. H. moisture sorption characteristics of in shell macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, v.18, p.63-76, 1992.
- Pena, R. S.; Mendonça, N. B.; Almeida, M. D. C.; Comportamento higroscópico do açaí em pó. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.12, p.153-161, 2010.
- Rosa, G. S.; Moraes, M. A.; Pinto, L. A. A. Moisture sorption properties of chitosan. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, v.43, p.415-420, 2010.
- Sousa, K. A. de; Resende, O.; Costa, L. M. Isothermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.216-222, 2013.
- Wolf, M.; Walker, J. E.; Kapsalis, J. G. Water sorption hysteresis in dehydrated food. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v.20, p.1073-1077, 1972.