

## Secagem de polpa de *Annona squamosa* L.: cinética e avaliação de modelos empíricos

Deise Souza de Castro, Jarderlany Sousa Nunes, Luzia Marcia de Melo Silva, Francinalva Cordeiro de Sousa, Wilton Pereira da Silva, Josivanda Palmeira Gomes

Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, n. 882, Campus Universitário, CEP 58429-900 Campina Grande, PB, Brasil. E-mails: deise\_castro01@hotmail.com, jade\_nunes@hotmail.com, dluziamarcia@yahoo.com, francis\_nalva@yahoo.com.br, wiltonps@bol.com.br, josivanda@gmail.com

**Resumo:** A *Annona squamosa* L., popularmente conhecida como pinha, ata ou fruta do conde, originária da América Central, após ser introduzida no Brasil teve sua produção vertiginosamente crescente em várias regiões, com destaque para o Nordeste. A pinha é uma boa fonte de vitaminas C e do complexo B, importantes no metabolismo das proteínas, carboidratos e gorduras. É aconselhável para incrementar o cardápio com vitaminas e sais minerais, tornando-se inadequada para pessoas que fazem regime de emagrecimento, por ser rica em açúcares, conseqüentemente, muito mais calórica do que a maioria das frutas. O presente trabalho teve como objetivo descrever a cinética de secagem em camada fina da polpa de *Annona Squamosa* nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar, sendo aplicados quatro modelos de regressão não-linear com as determinadas equações: (1)  $RU = \exp(-k t^n)$ , (2)  $RU = a \exp(-k t^n) + b t$ , (3)  $RU = a \exp(-k t)$  e (4)  $RU = 1 - t / (a + b t)$ , para descrição do comportamento da cinética de secagem. O critério de avaliação utilizado foi o coeficiente de determinação e o qui-quadrado, sendo o quarto modelo equacional o que melhor se ajustou aos dados experimentais, seguidos do segundo e primeiro modelo de regressão não-linear, respectivamente. Para o quarto modelo empírico, foram obtidas expressões matemáticas para determinação da taxa e do tempo de secagem.

**Palavra chave:** Modelagem matemática, Taxa de secagem, Tempo de secagem.

### Drying of *Annona squamosa* L. pulp: kinetic and evaluation of empirical models

**Abstract:** The *Annona squamosa* L., popularly known as pine cone, ata or fruta-do-conde, originally from Central America, after being introduced in Brazil had dramatically increased their production in various regions, particularly the Northeast. The pine cone is a good source of vitamins C and, important in the metabolism of proteins, carbohydrates and fats B complex. It is advisable to increase the menu with vitamins and minerals, making it unsuitable for people who do slimming regime, being rich in sugars thus more calories than most fruits. This study aimed to describe the kinetics of thin layer drying the pulp of *Annona squamosa* in temperatures of 50, 60 and 70 ° C. Drying was carried out in greenhouse air circulation, and four of non-linear regression models were applied with the equations: (1)  $RU = \exp(-k t^n)$ , (2)  $RU = a \exp(-k t^n) + b t$ , (3)  $RU = a \exp(-k t)$  and (4)  $RU = 1 - t / (a + b t)$ , for describe the behavior of drying kinetics. The evaluation criterion used was the coefficient of determination and the chi-square test, with the fourth equation model being the best fit to the experimental data, followed by the second and first non-linear regression model, respectively. For the fourth empirical model, mathematical expressions were obtained to determine the rate and the drying time.

**Keyword:** Mathematical modeling, Rate of drying, Drying time.

## Introdução

Também conhecida como fruta-do-conde, pinha ou ata, a *Annona squamosa* é originária da América central, e foi introduzida no Brasil em 1626. Desde então a sua produção vem crescendo com destaque para a região Nordeste, graças aos recursos da irrigação, onde os aspectos climáticos permitem a obtenção de frutos durante todos os meses do ano (Cordeiro et al. 2000, Souza et al. 2008 & Morais et al. 2009).

Segundo Alves et al. (2000), apesar de não se dispor de dados estatísticos, é notória a demanda crescente, tanto no mercado interno, como no externo pelos frutos de *Annona squamosa*. Esse incremento na procura motivou os fruticultores e empresários, e tem forçado a pesquisa a desenvolver métodos para que o produtor possa acompanhá-la, tanto na qualidade como na quantidade de frutos ofertados.

*Annona squamosa* é rica fonte nutricional de vitamina C, vitaminas do complexo B e açúcar, sendo muito mais calórica que a maioria das frutas, tendo a cada 100g, 69 Kcal, sais como cálcio, potássio e ferro também fazem parte da sua composição (Alves 2000).

O fruto fresco apresenta vida de prateleira muito pequena, sendo a perda da firmeza uma das principais características do fruto, o que reduz a qualidade de comercialização. O armazenamento a frio do fruto não é algo promissor, devido ao desenvolvimento de uma cor castanho pouco atraente na polpa, o que diminui o valor de mercado (Benassi et al. 2003 & Shashirekha et al. 2008).

Com a capacidade de reduzir a atividade fisiológica, microbiológica, reações enzimáticas e não enzimáticas, a secagem é uma forte técnica de preservação de frutos, produzindo redução de volume, diminuindo custos com embalagem, armazenamento e transporte, além de agregar valor ao produto, bem como aumentar sua disponibilidade para consumo (Vasconcelos et al. 2012).

As principais vantagens da secagem de frutos estão no aumento da vida de prateleira, e na concentração de nutrientes permanecendo praticamente inalterados o sabor dos frutos. Essa característica da secagem de frutos favorece a incorporação dos produtos a novas tecnologias de produção e inovações tecnológicas (Fioreze, 2004).

Processos térmicos são muito importantes na indústria de alimentos e costumam ser representados por modelos matemáticos para garantir sua segurança e qualidade. Podem ser feitas análises através das curvas de secagem, que são fundamentadas na comparação da velocidade de secagem e conteúdo de umidade do alimento ao longo do tempo. O propósito destas análises é compreender o comportamento do material e verificar soluções adequadas para aumentar a vida de prateleira.

Segundo Silva et al. (2013), a descrição do processo de secagem apresenta sua importância na obtenção de produtos de boa qualidade. É através da cinética de secagem que se estabelece as equações de umidade em função do tempo de secagem para os diferentes períodos e taxas de secagem, possibilitando ainda a determinação do mecanismo predominante na transferência de massa do material para o fluido e as respectivas equações matemáticas correspondentes (Ferreira, 2004).

A modelagem matemática vem despertando o interesse de vários pesquisadores para os mais diversos produtos, assim é de fundamental importância o emprego de modelos matemáticos para representar o processo de secagem, pois as informações geradas são de grande valia no processo de desenvolvimento de equipamentos e predição de tempos de secagem (Silva et al. 2009 & Faria et al. 2012).

O presente trabalho teve como objetivo, descrever a cinética de secagem em camada fina da polpa de *Annona Squamosa* nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

## Material e métodos

Os dados experimentais foram obtidos no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas [LAPPA] da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB no período de agosto a setembro de 2013.

As pinhas (*Annona squamosa*) foram adquiridas no comércio local de Campina Grande, despulpadas manualmente e homogeneizadas em processador, em seguida, o teor de água inicial do produto foi determinado, segundo método padrão de estufa a  $105 \pm 3$  °C, utilizando três repetições da amostra, cada uma com aproximadamente 10 g, que permaneceram em

estufa por 24 h (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Após serem retiradas da estufa, as amostras foram resfriadas em dessecador por 15 min e pesadas em balança analítica, a determinação do teor de água foi determinado pela fórmula:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \quad (1)$$

em que:

$m_{H_2O}$  - massa de água;

$m_s$  - massa seca.

As amostras homogêneas foram acondicionadas em placas, cada placa contendo aproximadamente 100 g de polpa, que foram uniformemente espalhadas com auxílio de espátula de aço inoxidável, obtendo-se uma camada aproximada de 1,0 cm de espessura. O equipamento utilizado para secagem da polpa de *Annona squamosa* foi estufa de circulação de ar.

As curvas foram determinadas com três níveis de temperatura (50, 60, e 70 °C) em três

repetições. A umidade relativa média do ar ambiente foi de 48%. As leituras em relação à perda de peso da amostra foram realizadas em intervalos regulares, iniciando-se a cada 5 min, acompanhada até atingir peso constante. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade ( $X^*$ ):

$$X^* = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e}, \quad (2)$$

em que:

$X$  – teor de água, base seca, bs;

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, bs;

$X_0$  – teor de água inicial, bs.

Para descrição da cinética de secagem foram utilizados os modelos de regressão não-linear propostos por Page (1949), Midilli et al. (2002) e Henderson & Pabis (1961) as quais são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1-** Modelos de regressão não-linear utilizados para descrição da cinética de secagem.

Modelo	Equação
Page (1949)	$RU = \exp(-k t^n)$
Midilli et al. (2002)	$RU = a \exp(-k t^n) + b t$
Henderson & Pabis (1961)	$RU = a \exp(-k t)$
Peleg (1988)	$RU = 1 - t / (a + b t)$

t - tempo de secagem (min); k, - constantes de secagem; a, b, n - coeficientes dos modelos.

Os modelos de regressão não-linear de Page (1949), Midilli et al. (2002), Henderson & Pabis (1961) e Peleg (1988) foram ajustados aos dados experimentais da secagem da polpa de *Annona squamosa*. As curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional LAB Fit Curve Fitting software.

Os critérios de avaliação utilizados para melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o qui-quadrado ( $\chi^2$ ), calculado pela equação:

$$\chi^2 = \sqrt{\sum (X_{exp}^* - X_{pre}^*)^2} \quad (3)$$

em que:

$\chi^2$  - qui-quadrado

$X_{pre}^*$  - razão de umidade predita pelo modelo

$X_{exp}^*$  - razão de umidade experimental

A partir da escolha do melhor modelo dentre os aplicados mostrados na Tabela 1, foram determinadas expressões matemáticas para a taxa de secagem em função do tempo, e tempo de secagem para um teor de água adimensional.

## Resultado e discussão

As equações empíricas geralmente são vistas apenas como recurso para descrever a cinética de secagem em camadas delgadas, porém diversos métodos descrevem a secagem

em leitos profundos que dividem o domínio em muitas camadas finas. Desta forma, as equações empíricas são utilizadas para descrever o processo em cada camada fina envolvendo a taxa de secagem em função do tempo. Além disso, uma expressão envolvendo a taxa de secagem é necessária para descrever a penetração do calor no corpo durante a remoção de água com ar quente (Aregba et al. 2006, Dantas et al. 2011, Karim, Hawlader 2005, Mariani et al. 2008 & Silva

et al. 2013). Dessa forma fica evidenciada a importância das equações empíricas na descrição da secagem de produtos em camada fina.

O resumo dos resultados dos ajustes dos modelos por meio de regressão não-linear, aplicados aos dados experimentais da secagem da polpa de *Annona squamosa* em camada fina, considerando as diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Resumo dos ajustes dos modelos aos dados da secagem da polpa da *Annona squamosa*.

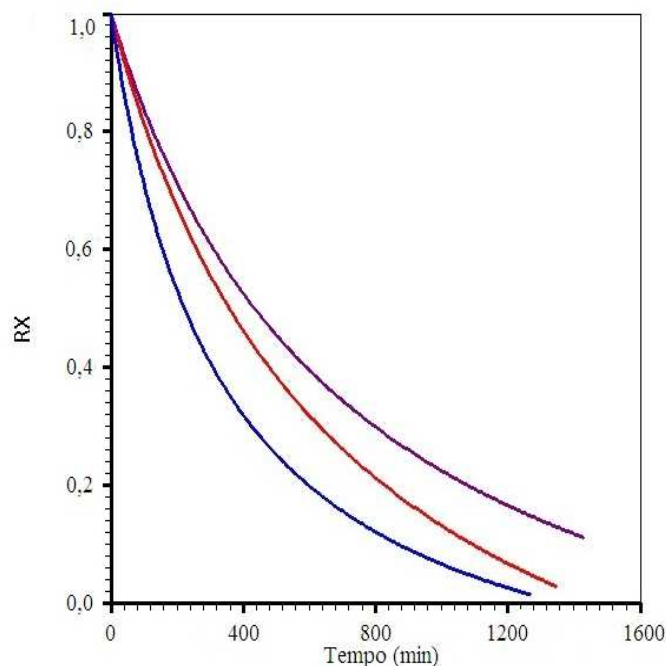
Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros				R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>
		a	b	k	n		
Page (1949)	50	-	-	0,0026	0,9629	0,9984	0,0083
	60	-	-	0,0028	0,9892	0,9938	0,0231
	70	-	-	0,0065	0,9080	0,9973	0,0091
Midilli et al. (2002)	50	1,0137	0,4591 <sup>-4</sup>	-0,0047	0,8564	0,9998	0,0018
	60	1,0192	-0,0002	0,0076	0,7848	0,9986	0,0050
	70	1,0305	-0,2956 <sup>-4</sup>	0,0101	0,8309	0,9989	0,0066
Henderson & Pabis (1961)	50	0,9884	-	0,0021	-	0,9991	0,0087
	60	0,9909	-	0,0026	-	0,9941	0,0225
	70	0,9839	-	0,0039	-	0,9952	0,0165
Peleg (1988)	50	408,781	0,7427	-	-	0,9997	0,0016
	60	354,959	0,6763	-	-	0,9988	0,0087
	70	199,001	0,8043	-	-	0,9987	0,0049

O teor de água inicial da polpa foi de 2,446 b.s, e os teores de água de equilíbrio de 0,5368 b.s, 0,4820 b.s e 0,2663 b.s para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Dentre os modelos empíricos aplicados aos dados experimentais, o de Peleg (1988) é o que melhor representa a cinética de secagem da polpa de *Annona Squamosa* seguido do modelo de Midilli et al. (2002) e Page (1949), quando analisados os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e o qui-quadrado para as temperaturas de 50, 60 e

70 °C. Vale ressaltar que todos os modelos aplicados, representaram bem a cinética de secagem da polpa de *Annona squamosa* com coeficiente dentro do limite de significância, superior a 95%, que segundo Mohapatra & Rao (2005), representa satisfatoriamente o fenômeno de estudo.

A Figura 1 possibilita observar as curvas de secagem da polpa de *Annona squamosa* para as diferentes temperaturas estudadas, obtidas a partir do modelo de Peleg (1988).

**Figura 1** - Representação gráfica do modelo de Peleg (1988).

De acordo com as curvas da Figura 1, tem-se perda de umidade constante durante todo o processo e tempo de estabilidade em função da temperatura de 1550, 1070 e 950, a 50, 60 e 70 °C respectivamente. Indicando o tempo necessário para retirar a água contida na polpa de pinha, empregando-se a temperatura de 50 °C o tempo necessário é 1,1 vezes maior do que o tempo requerido para temperatura de 70 °C.

Várias pesquisas foram realizadas na literatura (Furtado et al. 2010, Santos et al. 2010,

Janjai et al 2011 & Sousa et al. 2011) para verificar as melhores descrições da cinética de secagem em camada fina de frutos, utilizando modelos empíricos.

Além dos indicadores estatísticos favoráveis obtidos com o modelo de Peleg (1988), este modelo possibilita determinar expressões matemáticas para a taxa e o tempo de secagem conforme é dado na Tabela 3.

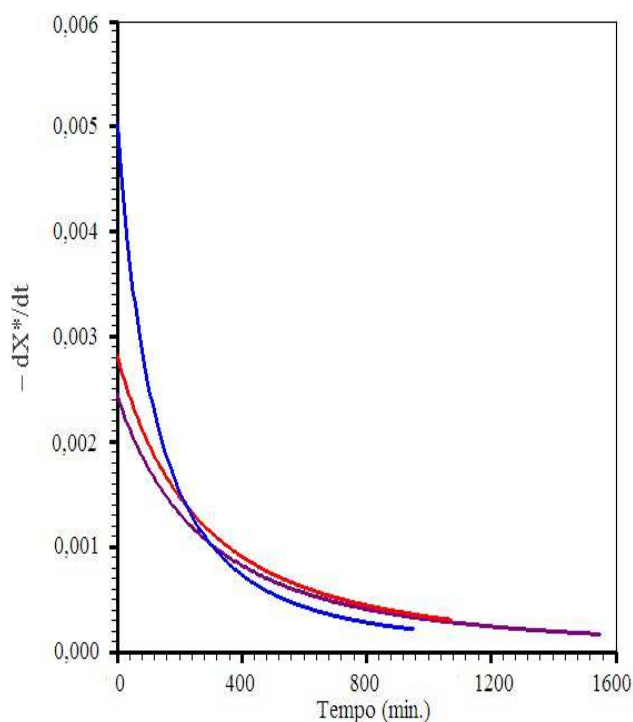
**Tabela 3** - Expressão da taxa e tempo de secagem, obtida para o modelo de Peleg (1988).

Modelo	Taxa de secagem	Tempo de secagem
Peleg (1988)	$dX^* / dt = -a / (a + bt)^2$	$t = a(1 - X^*) / (1 - b + b X^*)$

Usando a expressão da Tabela 3 e os parâmetros apresentados na Tabela 2, a taxa e o tempo de secagem foram determinados para o modelo de Peleg (1988), o qual representou melhor o processo da secagem da polpa de

*Annona squamosa*. A representação gráfica do processo pode ser observada na Figura 2.

A influência da temperatura sobre o tempo e velocidade da secagem, é perceptível ao analisarmos a Figura 2.

**Figura 2** - Taxa de secagem do modelo de Peleg (1988).

A elevação da temperatura do ar de secagem permite uma maior remoção de água da polpa (maior taxa de secagem na parte inicial do processo). Por outro lado, o tempo médio de secagem para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C foram de 1550, 1070 e 950 min. Respectivamente.

### Conclusão

A cinética de secagem da polpa de *Annona squamosa* decresce com o aumento da temperatura do ar de secagem.

Dentre os modelos aplicados, a equação de Peleg (1988), com apenas dois parâmetros de ajuste, foi uma das equações que melhor representou o processo, seguida das equações de Midilli et al. (2002) e Page (1949).

### Referências

Figueiras, H. A. C., Moura, C. F. H., & Alves, R. E. (2000). *Caracterização de frutas nativas da América Latina*. Jaboticabal: UNESP-SBF.

Aregba, A. W., Sebastian, P., & Nadeau, J. P. (2006). Stationary deep-bed drying: A comparative study between a logarithmic model

and a non-equilibrium model. *Journal of Food engineering*, 77 (1), 27-40.

Benassi, G., Correa, G. A. S. F., Kluge, R. A., & Jacomino, A. P. (2003). Shelf life of custard apple treated with 1-methylcyclopropene: an antagonist to the ethylene action. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46 (1), 115-120.

Cordeiro, M. C. R., PINTO, A. D. Q., & Ramos, V. H. V. (2000). O cultivo da pinha, fruta-do-conde ou ata no Brasil. *Planaltina: Embrapa Cerrados*.

Dantas, L. A., Mata, M. E. R., & Duarte, M. E. M. (2011). Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13 (3), 309-318.

de Faria, R. Q., Teixeira, I. R., Devilla, I. A., Ascheri, D. P., & Resende, O. (2012). Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16 (5), 573-584.

Ferreira, M. M. P. (2003). Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial.

Fioreze, R. (2004). *Princípios de secagem de produtos biológicos*. João Pessoa: Editora UFPB.

- Furtado, G. D. F., Silva, F. S., Porto, A. G., & Santos, P. D. (2010). Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 12 (1), 9-14.
- Henderson, S. M. (1961). Grain drying theory temperature effect of drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering*, 6, 169-174.
- Janjai, S., Precoppe, M., Lamlert, N., Mahayothee, B., Bala, B. K., Nagle, M., & Müller, J. (2011). Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food and Bioprocesses Processing*, 89 (3), 194-201.
- Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.. 4.ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v.1, 1020p.
- Karim, M. A., & Hawlader, M. N. A. (2005). Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. *Journal of food engineering*, 70 (1), 35-45.
- Mariani, V. C., De Lima, A. G. B., & dos Santos Coelho, L. (2008). Apparent thermal diffusivity estimation of the banana during drying using inverse method. *Journal of Food Engineering*, 85 (4), 569-579.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20(7), 1503-1513.
- Mohapatra, D., & Rao, P. S. (2005). A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of food engineering*, 66 (4), 513-518.
- Morais, O. M., Oliveira, R. H., Oliveira, S. L., Santos, V. B., & Silva, J. C. G. (2009). Armazenamento de sementes de *Annona squamosa* L. *Revista Biotemas*, Florianópolis, 22 (4), 33-44.
- Page, G. E. (1949). *Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers*. West Lafayette: Purdue University.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food science*, 53 (4), 1216-1217.
- Santos, C. T., Bonomo, R. F., Chaves, M. A., Fontan, R. D. C. I., & Bonomo, P. (2010). Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja: doi: 10.4025/actascitechnol. v32i3. 6048. *Acta Scientiarum. Technology*, 32 (3), 209-313.
- Shashirekha, M. N., Baskaran, R., Rao, L. J., Vijayalakshmi, M. R., & Rajarathnam, S. (2008). Influence of processing conditions on flavour compounds of custard apple (*Annona squamosa* L.). *LWT-Food. Science and Technology*, 41 (2), 236-243.
- Silva, A. S., Melo, K. S., Alves, N. M. C., Fernandes, T. K. S., & Farias, P. A. (2009). Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 11 (2), 129-136.
- Silva, W. P., e Silva, C. M., & Gomes, J. P. (2013). Drying description of cylindrical pieces of bananas in different temperatures using diffusion models. *Journal of Food Engineering*, 117 (3), 417-424.
- Sousa, F. C., de Sousa, E. P., Silva, L. M. D. M., Martins, J. J. A., Gomes, J. P., & da Rocha, A. P. T. (2011). Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. *Revista Educação Agrícola Superior*, Campina Grande, 26 (2), 108-112.
- Souza, M., Bevilaqua, C. M., Morais, S. M., Costa, C. T., Silva, A. R., & Braz-Filho, R. (2008). Anthelmintic acetogenin from *Annona squamosa* L. seeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80 (2), 271-277.
- Vasconcelos, J. I., Andrade, S. A., Maciel, M. I., Guerra, N. B., & Vasconcelos, M. A. (2012). Osmotic dehydration of the Indian fig (*Opuntia ficus indica*) with binary and ternary solutions. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(11), 2359-2365.

Recebido em: 24/01/2015  
Aceito em: 13/06/2017