

PARÂMETROS CINÉTICOS DA SECAGEM DE SUBPRODUTOS DA VINIFICAÇÃO

C.F. GONÇALVES¹, K.M. DEAMICI¹, A.B. ARGENTA², L.C. de OLIVEIRA³, G.S. ROSA⁴, E.G. de OLIVEIRA^{5*}

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos

² Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos

³ Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia

⁴ Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química,

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos

*E-mail para contato: elizangela.oliveira@ufrgs.br

RESUMO – A produção de vinhos de uvas *Vitis vinifera* em 2013 no Rio Grande do Sul foi cerca de 50.000 m³, gerando grandes volumes de subprodutos considerados pelas indústrias um problema de descarte. A secagem visa redução da umidade do material mantendo a qualidade e estabilidade para destinação como adsorventes e formulação de alimentos. O presente estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros cinéticos de secagem do bagaço de uva das variedades *Tannat* e *Cabernet franc*. A secagem das amostras foi realizada em secador de túnel com escoamento paralelo de ar nas condições de 50 e 70°C e 1 m/s durante tempo estimado em 130 min. O modelo da 2ª lei de Fick foi utilizado para descrever o comportamento da secagem e determinar a difusividade efetiva de umidade. A cinética de secagem apresentou períodos de taxa constante e decrescente. Os valores obtidos para as constantes de secagem foram entre 0,0086 e 0,0215 min⁻¹ e a faixa de difusividade efetiva para os bagaços foi 9,93.10⁻⁹ e 1,36.10⁻⁸ m².s⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul vem se destacando como pólo produtor de uvas. Apenas no ano de 2013 foram 611,100 milhões de kg de uvas processadas no Estado, segundo o Instituto Brasileiro do Vinho, o que representam quase 60% da produção nacional.

A partir do beneficiamento para elaboração de vinhos, ocorre a geração de subprodutos, que representa de 25 a 30% do total de resíduos obtidos após a fermentação, que também são conhecidos como bagaço (Ruberto *et al.*, 2007). Esse subproduto originário do processamento de vinho representa um grande problema ambiental, uma vez que produção de vinhos se torna um processo contínuo devido a alta demanda do produto (Shieber *et al.*, 2001).

Dos subprodutos gerados da elaboração de vinhos o bagaço é considerado o principal subproduto da vinificação, não só pela sua riqueza alcoólica e tartárica, mas também pelo interesse econômico de alguns dos seus componentes físicos. O bagaço é resultante da

prensagem das massas vínicas (partes sólidas das uvas) e pelo mosto que as embebe, formado pelo engaço, folhelhos (cascas) e grainhas (sementes) (Silva, 2007). O bagaço de uva possui um alto teor de fibras que pode corresponder até 60% do seu peso seco. Levando em consideração seu alto valor nutricional, aliado a facilidade de obtenção e baixo custo, alguns autores relevam a utilização deste na elaboração de novos produtos (Valiente *et al.*, 1995).

Uma das formas para utilização dessa matéria-prima é através da operação de secagem que contribui para a preservação da qualidade do produto durante o armazenamento e impede a proliferação de micro-organismos, além de diminuir o custo com transportes. Para a realização dessa operação se faz necessário a existência de gradientes de pressões parciais de vapor de água entre o material e o ar de secagem. Para as propriedades higroscópicas, o fluxo de vapor de água deve ocorrer no sentido da maior para menor pressão parcial de vapor, logo a redução da umidade relativa está relacionada principalmente pelo aquecimento do ar de secagem tendo como consequência aumento do potencial da retirada de água (Garcia *et al.*, 2004).

O processo de secagem quando levado em consideração produtos orgânicos é comumente dividido em período de taxa constante e período de taxa decrescente (Perry, 1963). O período de taxa constante está relacionado com a perda de água livre presente no material sendo facilmente evaporada. A taxa decrescente é caracterizada pela evaporação de água ligada aos demais componentes do material, em que a migração de umidade do interior do material para a superfície controla o processo. Para interpretar e estimar a cinética de secagem de produtos durante o período de taxa decrescente é utilizada a teoria da difusão de líquido ou vapor referenciada pela Segunda Lei de Fick (Vaccarezza *et al.*, 1974; Mowlah *et al.*, 1983; Almeida *et al.*, 2006).

A redução do teor de água em secadores de leito fixo é influenciada por parâmetros como o fluxo de ar, a espessura da camada e a temperatura de secagem, bem como o teor de água inicial e sua forma de distribuição no material. Esses fatores estão diretamente relacionados com o consumo de energia e o tempo de secagem da matéria-prima (Andrade, *et al.*, 2004).

Ante ao exposto e devido a grande importância do conhecimento e variabilidade existente nas propriedades físicas dos produtos agrícolas o objetivo do presente trabalho foi avaliar os parâmetros cinéticos de secagem do bagaço de uvas das variedades *Tannat* e *Cabernet franc* através de um secador de túnel com escoamento de ar paralelo nas temperaturas de 50 e 70°C.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Matéria-Prima

O subproduto utilizado neste trabalho foi o bagaço de uva fermentado das variedades *Tannat* e *Carbenet franc* proveniente da safra 2011/2012, fornecido por uma Vinícola localizada na cidade de Bagé – RS. Após recebimento o subproduto foi armazenado em sacos plásticos e acondicionado à temperatura de -18°C em freezer localizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa. A umidade inicial das amostras foi determinada segundo método descrito pela AOAC (1995) em estufa a 105°C por 24h.

Antes da realização do estudo da cinética de secagem as amostras (Figura 1) foram descongeladas em um refrigerador a uma temperatura de aproximadamente 4°C por 24 h, a fim de obter homogeneidade de temperatura nas amostras.



Figura 1: Bagaço de uva.

2.2 Operação de Secagem

Para realização da secagem utilizou-se um secador de túnel com escoamento paralelo de ar (Figura 2) localizado no Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa. Foram realizados ensaios nas temperaturas de 50 e 70°C, com velocidade do ar de secagem de 1 m/s e tempo de 130 min, sendo essas condições estabelecidas em testes preliminares.



Figura 2 – Secador de leito fixo.

O equipamento utilizado foi um secador composto por (1) soprador centrífugo, (2) psicrômetro, (3) painel elétrico que controla a temperatura do ar de secagem e as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar, (4) anemômetro que verifica a velocidade do ar de secagem, e no interior do túnel uma bandeja que se encontra acoplada na balança eletrônica (5) que realiza determinação das massas das amostras.

Para realização dos ensaios de secagem, verificou-se se o psicrômetro estava preenchido com água. O soprador foi ligado, ajustando a velocidade do ar de secagem requerida. Após atingir as condições de regime permanente, a bandeja com amostras foi inserida no interior do secador, registrando o peso inicial do conjunto. Foram monitoradas durante o experimento as condições massa da amostra, temperatura do bulbo seco e bulbo úmido com auxílio do psicrômetro, e a temperatura do ar de secagem, até massa constante, assim sendo finalizado o processo de secagem.

2.3 Metodologia de Cálculo

O processo de secagem foi analisado através das curvas de secagem que são apresentadas na forma de adimensional de água livre em função tempo, em que foram definidos os períodos de secagem. Para analisar o comportamento da cinética de secagem e determinar a constante de secagem (K), foi utilizado o modelo matemático da 2ª Lei de Fick conforme Equação 1, avaliado pelo método Quasi-Newton com auxílio de um *software* estatístico.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{L^2} \right] \quad (1)$$

em que $MR = (X - X_e) / (X_0 - X_e)$, X é a umidade média do sólido no instante t , em base seca (kg água/kg sólido seco); X_0 é a umidade inicial do sólido, em base seca (kg água/kg sólido seco); X_e é a umidade de equilíbrio do sólido, em base seca (kg água/kg sólido seco); D_{ef} é o coeficiente de difusão efetivo do líquido (m^2/s); L é a espessura da camada (m).

Através de uma analogia da 2ª Lei de Fick e a Equação 1, considerando uma placa plana, tempos longos de secagem e secagem em camada delgada pelos dois lados, pode-se considerar apenas o primeiro termo da série como significativo. A partir desta consideração foi possível obter a difusividade efetiva, através da Equação 2, a qual está relacionada com a constante de secagem (K, min^{-1}) e a espessura média da camada do subproduto ($L_m = 0,005 \text{ m}$).

$$D_{ef} = \frac{L_m^2 \cdot k}{\pi^2} \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do monitoramento das condições do ambiente durante os ensaios de secagem verificou-se que as condições externas foram: temperatura ambiente de 25°C e a umidade relativa do ar de 66%. A umidade inicial dos bagaços de uva *Tannat* e *Cabernet franc*, em base seca (b.s.) foram 1,77 e 1,63 kg.kg^{-1} (63,77% e 61,85% b.u.), respectivamente. A secagem dos subprodutos foi caracterizada pela curva apresentada na Figura 3, a qual relaciona a forma adimensional de água livre (MR) e o tempo total (t) que ocorreu a secagem.

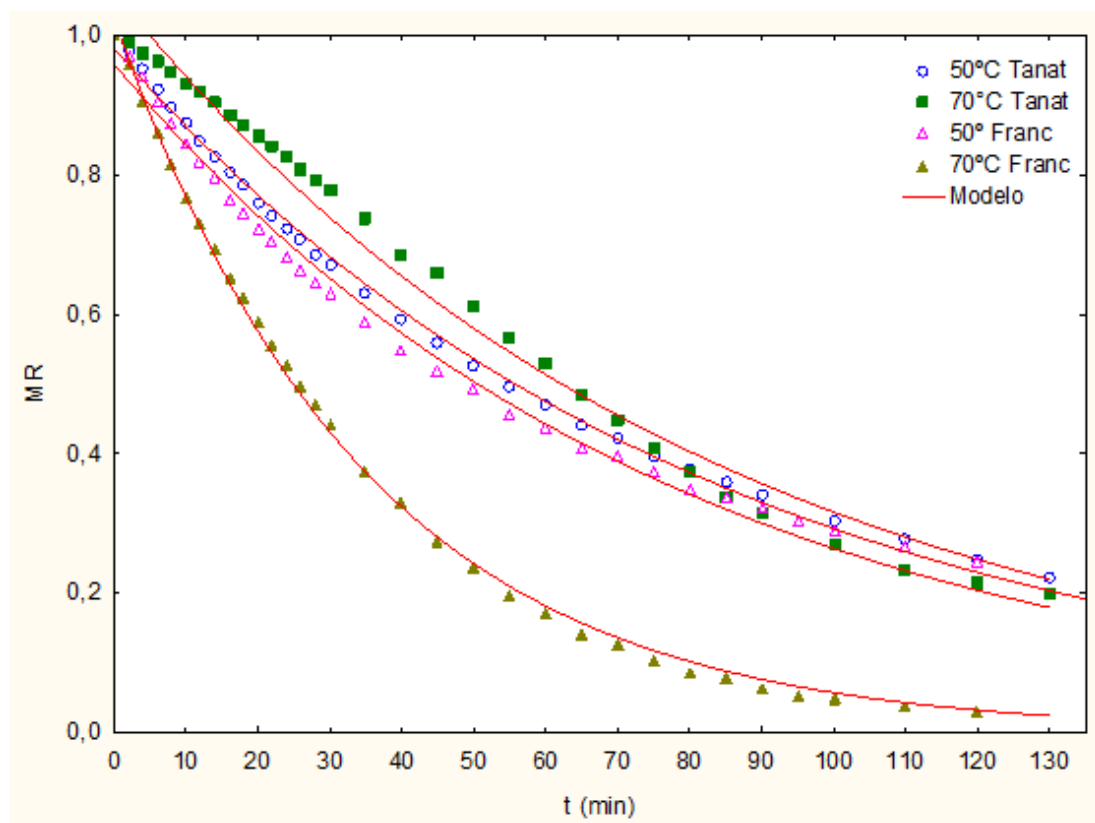


Figura 3: Adimensional de água livre em função do tempo para os bagaços de uva *Tannat* (T) e *Cabernet franc* (C) a 50 e 70 °C e 1 m/s.

Os resultados apresentados na Figura 3 indicam que as secagens ocorreram em dois períodos distintos, o período de taxa constante e o período de taxa decrescente. O primeiro período teve duração de aproximadamente 30 min, seguido da taxa decrescente que se estende até o final da secagem.

Na Tabela 1, estão apresentados os valores de umidade crítica (X_c) para os experimentos, correspondente ao instante de transição entre os períodos de secagem. A partir destes valores e pela visualização da curva obtida, é possível observar que o período de taxa decrescente é predominante durante o processo, com isso é possível dizer que a difusão é o mecanismo físico de controle do processo, ou seja, a taxa de secagem é controlada pela velocidade de difusão do líquido e do vapor através da estrutura do material, desprezando-se as resistências externas. Nos trabalhos como o de Ferrerira *et al.* (2012), Ferrari (2009) e Menezes (2010), para a secagem de bagaço de uva, laranja e de maracujá, respectivamente, apresentaram apenas período de taxa decrescente durante a secagem.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de X_e e X_c das amostras de bagaço de uva das duas variedades analisadas, as constantes de secagem (K) obtidas pelo ajuste do modelo apresentado na Equação 1, os coeficientes de determinação (R^2), também obtidos no ajuste do modelo e valores da difusividade efetiva (D_{ef}) obtida através da Equação 2.

Tabela 1: Caracterização da secagem para os bagaços de uva.

Bagaço uva	X_e (b.s.)	X_c (b.s.)	K (min^{-1})	R^2	D_{ef} (m^2s^{-1})
<i>Tannat</i> (50°C)	0,36	1,05	0,0086	0,93	$5,44 \times 10^{-9}$
<i>Tannat</i> (70°C)	0,15	1,16	0,0157	0,95	$9,93 \times 10^{-9}$
<i>Cabernet f.</i> (50°C)	0,37	1,15	0,0095	0,95	$6,01 \times 10^{-9}$
<i>Cabernet f.</i> (70°C)	0,04	0,72	0,0215	0,96	$1,36 \times 10^{-8}$

Os valores obtidos para X_c caracterizam que neste ponto a migração interna de água para a superfície não supre a taxa de evaporação da água livre de superfície e inicia-se a taxa decrescente, em que a migração de água do interior do material passa a controlar o processo de secagem até atingir a umidade de equilíbrio.

Através da aplicação do modelo baseado na 2ª lei de Fick foi determinado os valores de constante de secagem para os experimentos e obteve-se valores na faixa de 0,015 – 0,0382 min^{-1} . Os valores encontrados para a constante de secagem K estão de acordo com os valores reportados na literatura. Ferreira *et al.*, (2012) encontraram para o mesmo subproduto e temperaturas valores entre 0,008 – 0,015 min^{-1} . Ferrari (2009) determinou a constante de secagem K e obteve valores entre 0,016 e 0,032 min^{-1} para as mesmas temperaturas de secagem. Assim, os valores obtidos neste trabalho estão de acordo com os reportados na literatura.

Os valores da D_{ef} utilizando os valores da constante K foram entre $9,93 \cdot 10^{-9}$ e $1,36 \cdot 10^{-8}$ m^2s^{-1} . Esses valores de difusividade efetiva obtidos estão de acordo com valores para produtos agrícolas. Os valores estão de acordo com os obtidos por Ferreira *et al.*, (2012), para o bagaço de uva fermentado nas temperaturas de secagem entre 50 e 70 °C que foram na faixa de $1,00 - 1,81 \cdot 10^{-9}$ m^2s^{-1} . Esses valores reforçam a afirmativa de que a difusividade efetiva aumenta com o aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem. Os valores também estão de acordo com o trabalho realizado por Wang *et al.* (2007), na secagem de bagaço de maçã, em que encontraram valores de D_{ef} na faixa de $1,9082 - 3,9346 \times 10^{-9}$ m^2s^{-1} .

5. CONCLUSÃO

As cinéticas de secagem do bagaço de uva das variedades *Cabernet franc* e *Tannat* apresentaram os dois períodos distintos nas duas temperaturas estudadas. O período de taxa constante foi até o tempo de aproximadamente 30 min, seguido da taxa decrescente que se estendeu até o final da secagem. Os valores das umidades finais foram de 0,36 kg.kg^{-1} (b.s) para as duas variedades estudadas, na temperatura de 50°C. Na condição de 70°C foram obtidos os valores de 0,04 e 0,15 kg.kg^{-1} (b.s) para a *Cabernet franc* e *Tannat*, respectivamente. Os valores de D_{ef} obtidos para a variedades estudadas variaram entre $9,93 \cdot 10^{-9}$ e $1,36 \cdot 10^{-8}$ m^2s^{-1} .

6. NOMENCLATURA

Símbolo	Notação	Unidade
K	Constante de secagem	$[\text{min}^{-1}]$
D_{ef}	Difusividade Efetiva	$[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$
X_0	Umidade inicial do sólido	$[\text{Kg água}/\text{Kg}_{ss}]$
v	Velocidade do ar	$[\text{m.s}^{-1}]$
R^2	Coeficiente de correlação	$[-]$
T	Temperatura	$[\text{°C}]$
UR	Umidade Relativa	$[\%]$
X_e	Umidade de equilíbrio	$[\text{Kg água}/\text{Kg}_{ss}]$
X_c	Umidade crítica	$[\text{Kg água}/\text{Kg}_{ss}]$

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. DE A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. *Rev. Biol. Ciên. Terra*. v. 6, p. 145-151, 2006.

ANDRADE, E. T.; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMEN J. de F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Eng.*, v. 8, p. 83-95, 2006.

Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). “*Official Methods of Analysis*”, v. 1, ed. 14, 1995.

BRASIL. Instituto Brasileiro do vinho (IBRAVIN). Avaliação Setorial 2013. Bento Gonçalves – RS, 2013.

FERRARI, L. D. F. Remoção de corante de efluentes da indústria têxtil utilizando processos com membranas e adsorção em bagaço de laranja. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

FERREIRA, L.F.D.; PIROZI, M.R. et al. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 47, n.6, 855 – 862, Brasília, jun. 2012.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. *Ciênc. Rural*, v. 34, p. 603-608, 2004.

MENEZES, M. L. de. Remoção de corante reativo azul 5G a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço do maracujá amarelo como adsorvente. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOI, I.; OBARA, T. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas. *Lebensm Wiss Technol.* v. 16, p. 103-107, 1983.

PERRY, J. H. Chemical Engineer's Handbook. V.1, 6 ed. N.Y. Mc Graw-Hill, 1963. 1v.

RUBERTO, G; RENDA, A.; DAQUINO, C.; AMICO, V.; SPATAFORA, C.; TRINGALI, C.; DE TOMMASI, N. Polyphenol Constituents and Antioxidant Activity of Grape Pomace Extrates from Sicilian Red Grape Cultivares. *J. Food Chem.*, v.100, p.203-210, 2007.

SHIEBER, D. F.; STINTZING, C.; CARLE, R. By-products of Plant Food Processing as Source of Functional Compounds-Recent Developments. *Trends Food Sci Technol.*, v. 12, p. 401-413, 2001.

SILVA, LUIS MANUEL LOPES RODRIGUES. *Caracterização de Subprodutos da Vinificação*. Escola Superior Agrária de Viseu. (Departamento das Indústrias Agro-Alimentares), Viseu – Portugal, p. 124-131, 2007.

VACCAREZZA, L.M.; LOMBARDI, J.L.; CHIRIFE, J. Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. *J. Food Technol.*, v. 9, p. 317-327, 1974.

VALIENTE, C., ARRIGONI, E., ESTEBAN, R. M., AMADO, R. Grape Pomace as Potential Food Fiber. *J. of Food Sci.*, v. 60, p. 818-820, 1995.

WANG, Z.; SUN, J. *et.al.* Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Science Direct*, 40, 39 – 46, 2007.