

ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DO RESÍDUO DE MALTE GERADO NA PRODUÇÃO DE CERVEJA

EVANDRO ALVES BATISTA¹; NEWTON CARLOS SANTOS^{2*}; RAPHAEL LUCAS JACINTO
ALMEIDA³; MÁRCIA RAMOS LUÍZ⁴; MARCELO MAIA DE ALMEIDA⁵.

¹Graduado em Química Industrial, UEPB, Campina Grande-PB, evandroalves17.eab@gmail.com;

²Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com;

³Mestrando em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com;

⁴Dra. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, UEPB, Campina Grande-PB,
marciarluiz@yahoo.com.br

⁵Dr. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, UEPB, Campina Grande-PB,
marcelo_maia2000@yahoo.com.br.

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O bagaço de malte é um resíduo oriundo da indústria cervejeira representando a maior parte do total dos subprodutos gerados e é quantitativamente o principal rejeito do processo cervejeiro. Assim sendo, este trabalho tem como objetivo estudar a cinética de secagem em diferentes temperaturas com variações de massa de secagem, avaliadas a partir das curvas de secagem, utilizando-se de modelos matemáticos para descrever o comportamento da cinética de secagem. A secagem convectiva foi realizada a partir de um planejamento fatorial completo 2² com três repetições no ponto central. Os modelos matemáticos utilizados foram Midilli e Page e os resultados obtidos mostraram forte influência da temperatura no tempo de secagem, comprovado pelo comportamento das curvas de secagem para três temperaturas estudadas. A análise estatística apontou para o modelo matemático de Page, obtendo o melhor ajuste para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem do bagaço de malte, com coeficiente de determinação acima de 0,9996, em todas as condições testadas.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos matemáticos, secagem convectiva, bagaço.

STUDY OF THE DRYING PROCESS OF MALTE WASTE GENERATED IN BEER PRODUCTION

ABSTRACT: Malt bagasse is a waste from the brewing industry representing most of the total by-products generated and is quantitatively the main waste from the brewing process. Therefore, this work aims to study drying kinetics at different temperatures with drying mass variations, evaluated from the drying curves, using mathematical models to describe the behavior of drying kinetics. Convective drying was performed from a complete factorial design 2² with three replicates at the central point. The mathematical models used were Midilli and Page and the results obtained showed a strong influence of the temperature in the drying time, proven by the behavior of the drying curves for three temperatures studied. The statistical analysis pointed to the mathematical model of Page, obtaining the best fit to describe the function of relative humidity with the time of drying of malt bagasse, with coefficient of determination above 0,9996, in all conditions tested.

KEYWORDS: Mathematical models, convective drying, bagasse.

INTRODUÇÃO

O beneficiamento e industrialização de alimentos na agroindústria gera grande quantidade de resíduos, conseqüentemente o descarte desses resíduos no meio ambiente contribui para a contaminação do ecossistema. Com isso, a crescente preocupação com o meio ambiente incentiva a

viabilização de projetos que levam à sustentabilidade do sistema de produção industrial (Alexandre et al., 2013).

O bagaço de malte é o principal resíduo da indústria cervejeira. Rico em fibras e proteínas e é considerado um material lignocelulósico contendo aproximadamente 17% de celulose, 28% de hemicelulose e 28% de lignina (Mello et al., 2013). Este resíduo apresenta elevado teor de umidade, o que torna o material propício para o crescimento de microrganismos indesejáveis. A secagem tem por objetivo reduzir a umidade para a conservação do material, o armazenamento por um longo período de tempo e a redução dos custos de transporte (Boffo et al., 2014).

A secagem de produtos alimentícios requer alguns cuidados devido à possibilidade de alteração da qualidade do produto durante o processo de secagem. Um dos importantes parâmetros do material que será seco é o teor de umidade do produto, definido como a proporção direta entre a massa de água presente no material e a massa de matéria. O teor de umidade é a quantidade de água que pode ser removida do material sem alterações da estrutura molecular do sólido. A secagem do bagaço de malte apresenta-se como uma alternativa na redução dos rejeitos agroindustriais gerados na produção de bebidas alcoólicas e um ingrediente alternativo que pode ser utilizado na elaboração de novos produtos além da ração animal (Bourscheidt et al., 2011).

Portanto, esse trabalho objetivou-se determinar as curvas e o tempo de secagem do resíduo gerado pelo processo de fabricação da cerveja e ajustar os modelos matemáticos de secagem em camada fina aos dados experimentais obtidos em diferentes temperaturas de secagem, definindo o melhor modelo matemático.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Físico-Química do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB.

A matéria prima utilizada foi o resíduo de malte de cevada utilizada na produção de cerveja tipo *Pilsen*. Para a realização dos experimentos foi coletado o resíduo filtrado adquirido após o processamento enzimático do amido na etapa da mosturação numa produção artesanal de cerveja produzida na Universidade Estadual da Paraíba no mesmo Laboratório.

Os experimentos de secagem foram realizados nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, com variação de peso nas amostras 100, 200 e 300g. A cinética de secagem foi estudada mediante as curvas do adimensional de umidade em função do tempo de processo, bem como pelas curvas de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras. Os resultados experimentais das cinéticas de secagem foram usados para alimentar os modelos matemáticos, buscando-se o melhor ajuste para representar os dados experimentais.

A secagem convectiva em estufa com circulação de ar do resíduo úmido de cerveja com intervalos de 15 em 15 minutos registrou-se o peso com o uso de uma balança semi-analítica com precisão de $\pm 0,01g$ até atingir uma hora. A partir de uma hora, as pesagens procederam-se em um intervalo de 30 minutos. Este procedimento foi realizado até obter peso constante da amostra. Foi realizada a partir de um planejamento fatorial (Tabela 1) completo 2^2 com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram temperatura do ar de secagem (T) e massa do produto (M). A variável dependente analisada neste trabalho foi a constante de secagem obtida a partir de modelos de secagem empíricos.

Tabela 1. Condições operacionais para os experimentos

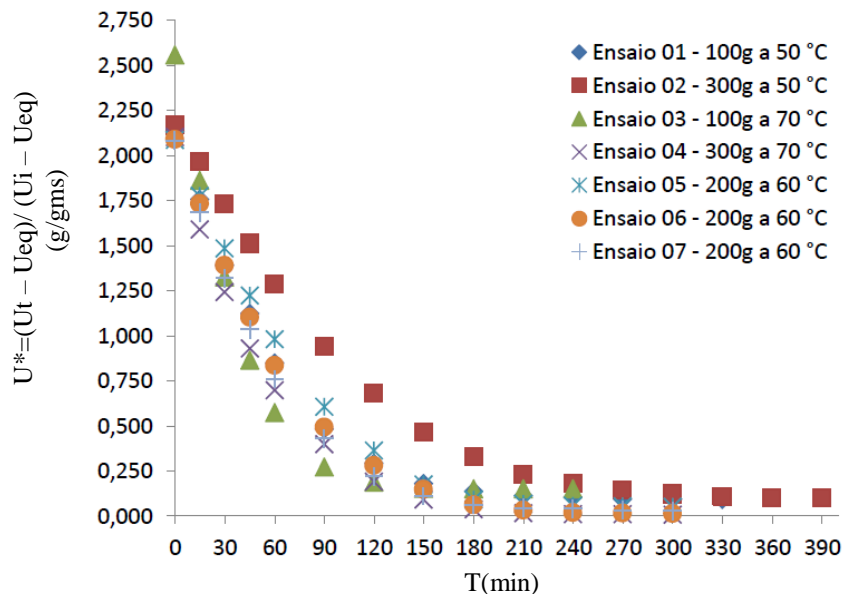
ENSAIO	TEMPERATURA (°C)	MASSA (g)
01	50	100
02	50	300
03	70	100
04	70	300
05	60	200
06	60	200
07	60	200

Após o fim da secagem na estufa com circulação de ar, atingindo-se peso constante, recolheu-se uma amostra, de cada ensaio. Em seguida, todas as amostras foram levadas para a estufa a 105°C durante 24h (IAL, 2008) para verificar a umidade do produto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas da cinética de secagem do resíduo úmido cervejeiro, nas condições estabelecidas.

Figura 1. Cinética de secagem do resíduo úmido de cerveja



O estudo da cinética de secagem mostrou que o acréscimo da temperatura favoreceu a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem (Bacural, 2013).

Verifica-se que para o ensaio 02, onde as condições operacionais são as de menor valor de temperatura do ar de secagem e maior massa do material a ser seco, a secagem ocorreu mais lentamente, assim como predito por Martins et al., (2014).

Por outro lado, o ensaio 03 em condições opostas, observa-se que a secagem do resíduo úmido cervejeiro ocorreu mais rapidamente. Boffo et al. (2014), em seu estudo sobre a cinética de secagem da mistura bagaço de malte e levedura observaram que há uma grande influência da temperatura do ar quanto ao tempo de secagem. A medida que a temperatura é elevada há uma queda no tempo de secagem da mistura, atingindo resultados semelhantes ao obtido neste experimento.

Os ensaios 05, 06 e 07 representam os experimentos realizados nas condições do ponto central, desta maneira é possível observar uma boa reprodutibilidade dos dados experimentais obtidos, onde as curvas praticamente se sobrepõem umas às outras.

Para o ensaio 02 verifica-se que, inicialmente, a amostra passa por um rápido período de aquecimento com evaporação da água da superfície obtendo-se altas taxas de secagem. Em seguida, observa-se, nitidamente, que a secagem ocorreu apenas em período de taxa decrescente.

Os modelos matemáticos de Midilli e de Page foram utilizados para representar os dados experimentais. Para a escolha do modelo, utilizou-se do Critério de Informação de Akaike (Akaike's Information Criterion – AIC, 1973),

A Tabela 2 apresenta os valores de R^2 , SE (Erro Padrão), AIC (método de Akaike) e os valores encontrados para os parâmetros dos modelos utilizados.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros dos modelos empíricos e análise estatística

MODELO	ENSAIO	PARAMETROS				R ²	SE (%)	AIC
		a	k	n	b			
	-	a ₁	k ₁	n ₁	b ₁	-	-	-
Midilli	01	0,995804	0,007470	1,194249	0,000007	0,9998	0,6067	-137,0931
	02	0,997676	0,003382	1,241038	-0,000007	0,9999	0,4124	-169,8493
	03	0,996868	0,012206	1,204901	0,000026	0,9998	0,6788	-104,0444
	04	0,995091	0,014539	1,058913	-0,000031	0,9997	0,7625	-120,9567
	05	0,990307	0,004640	1,252960	-0,000035	0,9994	1,0560	-112,4907
	06	0,997886	0,007586	1,168720	-0,000014	0,9999	0,4327	-135,6893
	07	0,995793	0,008339	1,174929	-0,000011	0,9998	0,5895	-127,6478
	-	-	k ₂	n ₂	-	-	-	-
Page	01	-	0,007835	1,183355	-	0,9998	0,6288	-140,0943
	02	-	0,003381	1,242438	-	0,9999	0,4393	-171,8231
	03	-	0,012841	1,190835	-	0,9997	0,7686	-105,3107
	04	-	0,014234	1,067937	-	0,9996	0,9099	-120,3617
	05	-	0,004749	1,253417	-	0,9996	1,2296	-112,5333
	06	-	0,007513	1,172835	-	0,9999	1,2296	-112,5333
	07	-	0,008454	1,173719	-	0,9998	2,6377	-129,8530

R² – coeficiente de determinação; SE – erro padrão. AIC – método de Akaike; a, k, n e b – parâmetros do modelo.

Conforme a Tabela 2, os dois modelos analisados apresentaram valores de coeficiente de determinação (R²) acima de 0,999 o que significa, segundo Boffo et al. (2014), um bom ajuste para a representação do fenômeno de secagem.

Para o ensaio 01, os dois modelos Page e Midilli se aproximaram dos valores experimentais, apresentando, ambos, coeficiente de determinação de 0,9998, porém o modelo de Page obteve valores mais representativos de acordo com os resultados do teste AIC, obtendo o menor valor comparando com os resultados do modelo de Midilli. O modelo de Page obteve um valor de AIC de -140,0943 e o modelo de Midilli -137,0931 no teste AIC.

Para o ensaio 02, os dois modelos se ajustaram aos dados experimentais o modelo de Page, com coeficiente de determinação no valor de 0,9999. Quanto aos valores obtidos no teste AIC, o modelo que melhor representou os dados experimentais do ensaio 02 foi o de Page, com um valor de -171,8231, o menor entre os dois modelos, como demonstrado na Tabela 1.

Para o ensaio 03, o modelo de Midilli com a melhor representação dos dados, com coeficiente de determinação de 0,9998 e para 0,9997 obtido pelo modelo de Page, porém quanto aos valores do teste AIC, o modelo de Page foi o mais representativo com um valor de -105,3107 contra -104,0444 para o valor do teste AIC do modelo de Midilli.

No ensaio 04, o modelo que melhor representou os dados experimentais foi o modelo de Midilli com coeficientes de determinação de 0,9997, para um valor de 0,9996 do coeficiente de determinação do modelo de Page. Esse fato se repetiu também nos valores obtidos no teste Akaike, obtendo o modelo de Midilli um valor de AIC de 120,9567 e Page -120,3617.

Para o ensaio 05, mais uma vez os dois modelos de Midilli e Page representaram os dados experimentais, com coeficientes de determinação de 0,9994 e 0,9996, respectivamente, obtendo o modelo de Page valores mais significativos que o de Midilli. No teste Akaike o modelo de Midilli obteve um valor de AIC de -112,4907 e o modelo de Page -112,5333. Com tudo, observa-se que os dois modelos se aproximaram dos resultados experimentais.

Estudando a cinética de desidratação e caracterização do bagaço de malte Lopes et. al., (2015) conseguiram verificar resultados semelhantes. Concluíram que pela avaliação dos modelos cinéticos de secagem avaliados, Page apresentou o melhor ajuste para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem do bagaço de malte.

Sousa et al. (2016), ao estudarem 11 diferentes modelos matemática da secagem do bagaço de malte. Concluíram que o modelo de Wang e Singh foi o mais adequando para apresentar as condições de secagem do resíduo.

Boffo et al. (2014), observaram resultados semelhantes ao estudar a cinética de secagem da mistura de bagaço de malte e levedura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Seus resultados revelaram que nos ajustes dos modelos matemáticos testados, o modelo de Page se apresentou com os melhores resultados com coeficiente de determinação acima de 0,9998, em todas as condições testadas. Entretanto, o modelo matemático de Midilli também se apresentou como um bom representativo dos dados experimentais, com coeficiente de determinação de aproximadamente 0,9995.

CONCLUSÃO

O planejamento experimental 2² com três pontos centrais utilizado na secagem demonstrou resultados bastante significativos para o modelo matemático de Page, obtendo o melhor ajuste para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem, com coeficiente de determinação acima de 0,9996, em todas as condições analisadas, assim como, os valores obtidos pelo teste estatístico de Akaike (AIC) foram os mais negativos. Bem como o modelo matemático de Midilli também se apresentou como um bom representativo dos dados experimentais, com coeficiente de determinação de aproximadamente 0,9994 e valores do teste Akaike (AIC) bastante próximos aos encontrados pelo modelo de Page. Sendo assim os ensaios 2 e 6 apresentaram os melhores coeficiente de determinação com valor de aproximadamente 0,9999 para os dois modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

- ADOLFO, LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. Núcleo de Informação e Tecnologia - NIT /IAL, IV edição 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008.
- Alexandre, H. V.; Silva, F. L. H. da.; Gomes, J. P.; Silva, O. S. da.; Carvalho, J. P. D.; Lima, E. E. de. Cinética de Secagem do Resíduo de Abacaxi Enriquecido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.6, p.640–646, 2013.
- Akaike, H. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. Proc. 2nd International Symposium on Information Theory (eds. B. N. Petrov and F.Csaki), 267–281, Akademiai Kiado, Budapest, 1973.
- Bacurau, I. M. Estudo da Cinética de Secagem do Mesocarpo da Melancia (*Citrullus Lanatus*). Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2013.
- Boffo, E. V.; Silva, G. M. C. da; Klagenboech, R.; Tonel, J. J. Modelagem Matemática para Descrição da Cinética de Secagem da Mistura de Bagaço de Malte e Levedura (*Saccharomyces Cerevisiae*). In: XX Congresso de Engenharia Química, 2014, Santa Catarina. Anais... Florianópolis: COBEQ, 2014.
- Bourscheidt, C. T.; Oliveira, B. H.; Gonçalves, G. da C.; Silva, G. M. C da. Estudo da Secagem do Bagaço de Malte Resíduo Úmido Obtido do Processo Industrial de Cervejaria. In: II International Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management, 2011, Paraná. Anais... Foz do Iguaçu: SIGERA, 2011.
- Lopes, C. R., de; Queiroz, A. M. da; Silva, K. C.; Mendes, E. C. S.; Silvério, B.; Ferreira, M. M. P. Estudo cinético de desidratação e caracterização do bagaço de malte resíduo da indústria. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2015, São Paulo. Anais... Campinas: COBEQ IC, 2015.
- Martins, J. J. A.; Marques, J. I.; Santos, D. C.; Rocha, A. P. T. Mathematical modeling of the drying of husks mulungu. Biosci. J., Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1652-1660, 2014.
- Mello, L. R. P. F.; Vergílio, R. M.; Mali, S. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. Biochemistry and Biotechnology Reports - ISSN 2316-5200 Numero Especial v.2, n.3, p.191-194, 2013.
- Sousa, F. T.; Silva, M. A. P.; Oliveira, D. E. C.; Plácido, G. R.; Carginin, C.; Moura, L. C.; Souza, D. G.; Caliari, M.; Lima, M. S. Modelagem matemática da secagem e propriedades físicas e funcionais do bagaço de malte. Gl. Sci Technol, Rio Verde, v.09, n.03, p.51 – 61, 2016.