

## APROVEITAMENTO EFICIENTE DE BAGAÇO DE MALTE UTILIZANDO SECADOR SOLAR

Jaciara M. Ribeiro<sup>1</sup> (IC), Maisa T. B. Perazzini (a) (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Energia, resíduo agroindustrial, secagem, sustentabilidade.

### Introdução

A produção de cerveja no Brasil vem crescendo nos últimos anos, em 2021 registrou-se a produção de 14,1 bilhões de litro de cerveja, onde a maior parte da produção concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, com cerca de 85,8% de cervejarias operando nessas regiões (CERVBRASIL, 2022). Acompanhando o crescimento da produção e consumo da bebida, há o aumento dos resíduos gerados no processo para obtenção do produto final. Um desses subprodutos é o bagaço de malte, que a cada 100 litros de cerveja produzidos, gera-se 20kg de bagaço, com cerca de 70% a 80% de umidade (KUNZE, 2014), ou seja, aproximadamente 2,88 milhões de toneladas de bagaço.

As cervejarias atualmente, destinam esse resíduo para produção de ração animal, como por exemplo a Ambev, que dá esse destino para os seus resíduos e já deixou de descartar 1,5 milhão de toneladas de lixo (O GLOBO, 2016). As pequenas cervejarias seguem o mesmo caminho, uma cervejaria artesanal de Maringá-PR, situado em uma das regiões mais produtoras, realizou um estudo do destino sustentável dos resíduos para uma granja de suínos, onde concluiu-se a satisfação do reaproveitamento (VERDE et al., 2018). Porém, devido a umidade presente há alguns problemas a serem enfrentados, como, por exemplo, o transporte e a contaminação do bagaço. Nesse sentido a secagem se torna essencial para um bom manejo do subproduto.

Estudos de reaproveitamento do bagaço de malte para fins energéticos tem sido realizados. Como por exemplo, o estudo de produção de bioetanol por meio da hidrólise termo ácida e enzimática, fermentação e destilação de bagaço de malte com casca de cacau (GARCIA et al., 2020), e a produção de biogás, que é um produto da fermentação anaeróbica do resíduo (DA SILVA et al., 2019). Antes de qualquer produção energética com o bagaço de malte a secagem do material se faz necessária, uma vez que, ele é um resíduo úmido. No entanto, no processo de secagem há um consumo muito grande de energia o que torna um processo caro, neste sentido, faz-se necessário o estudo de processos de secagem com fontes de energia mais limpas e com menor custo.

A secagem por meio do secador solar é uma alternativa mais viável economicamente além de ser mais sustentável. Algumas vantagens de se usar esse tipo de secador são: o baixo custo de operação; se comparado com secagem solar ao ar livre não há contaminação por microrganismos; é uma excelente alternativa para não uso de combustíveis fósseis, entre outras. No entanto, é importante destacar que desvantagens também estão associadas a essa abordagem, tais como a impossibilidade de realizar a secagem do material durante a noite e a potencial interferência das chuvas, dentre outros desafios.

Dessa forma, vê-se a importância do estudo do tema, visto que os combustíveis fósseis vão se tornando escassos ao longo do tempo, além de serem caros e prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, o reaproveitamento de resíduos se faz necessário, uma vez que quando o país se desenvolve aumenta o número de resíduos gerados. Dessa forma, objetivo geral deste trabalho foi a construção e adequação do secador solar para reaproveitamento do bagaço de malte, oriundo da produção de cerveja artesanal na região de Itajubá-MG.

### Metodologia

Neste trabalho foram utilizados o bagaço de malte (Figura 1) proveniente da etapa de clarificação do processo de produção de cerveja, fornecido pela MusA Cervejaria e Destilaria Juru, de Itajubá – MG.

Os resíduos foram separados em sacos plásticos individuais e armazenados no freezer. 24 horas antes da realização do experimento as amostras eram colocadas na geladeira para descongelar e 30 minutos antes deixados em temperatura ambiente.

Figura 1 – Bagaço de malte

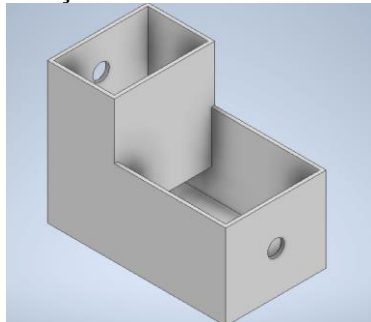


Fonte: Autoria própria.

Foi realizada a construção do secador, estrutura sem o vidro é apresentada na Figura 2, seguindo o modelo apresentado pelo estudo de FERREIRA et al. 2014.

O secador foi instalado na Universidade Federal de Itajubá, em Itajubá-MG, latitude de S 22°24'43,49" e longitude de W 45°27'0,57", segundo os dados obtidos pela plataforma *Suncalc.org*.

Figura 4 – Ilustração secador solar



Fonte: Autoria própria.

O secador foi construído com placas de madeira com espessuras de 1 cm. As dimensões do secador são: comprimento de 80 cm, largura de 42 cm, na parte maior possui altura de 42 cm e na parte menor altura de 26,5 cm, possui furos de diâmetro 6 cm e a placa de madeira no interior têm 31 cm de altura. O isolamento foi realizado com lã de vidro e finalizado com placas metálicas, posteriormente foi realizada a pintura com tinta preto fosco, para que absorva o calor. Na parte superior é utilizado vidro temperado para tampa-lo e permitir a passagem da radiação solar. Ventoinhas foram instaladas nos furos para a circulação forçada de ar.

Existe uma tela instalada no interior do secador para amostra, porém é de difícil remoção para a pesagem. Nesse sentido, foi necessário a construção de células para alocação das amostras para secagem, com diâmetro de 6,5 cm e altura de 3,8 cm, sendo mais fáceis de serem retiradas para pesagem.

O funcionamento do secador consiste em a radiação solar atravessar o vidro chegando à câmara de secagem, o ar em temperatura ambiente entra por uma ventoinha e é aquecido. Em seguida, o ar quente se desloca para a câmara de secagem, onde estão as células com os resíduos. O ar remove a umidade do bagaço de malte e sai por outra ventoinha instalada.

Para fins comparativos, realizou-se a secagem do bagaço em estufa de secagem e esterilização, nas temperaturas de 50°, 60° e 70°C, em triplicata cada procedimento. Além disso, foram os realizados os ensaios de determinação do coeficiente de arraste e permeabilidade, pelo método de fluidização em leito fixo.

Calculou-se os coeficientes a partir dos dados experimentais e por modelos empíricos, apresentados nas

Tabelas 1 e 2, para analisar se os modelos utilizados condizem e com o experimento realizado.

Tabela 1 – Correlações para coeficiente de permeabilidade

Nº da Correlação	Equação	Condição	Referência
I	$K = \frac{(\psi \times d_{sv})^2 \varepsilon_b^3}{36 \times \beta \times (1 - \varepsilon_b)^2}$	$36 \times \beta = 150 (\psi = 1)$ $36 \times \beta = 180 (\psi \neq 1)$	Massarani (2002)
II	$c = \frac{0,143}{\varepsilon_b^{3/2}}$	$10^{-10} \leq K \leq 10^{-8} [m^2]$ $0,35 \leq \varepsilon_b \leq 0,45$	Ergun (1952)
III	$c = \varepsilon_b^{-3/2} \times \left[ \left( 0,13 \times \left( \frac{K_0}{K} \right)^{0,37} \right) + \left( 0,10 \times \left( \frac{K_0}{K} \right)^{0,01} \right) \right]^{0,98}$	$K_0 = 10^{-10} [m^2]$ $10^{-13} \leq K \leq 10^{-7} [m^2]$ $0,10 \leq \varepsilon_b \leq 0,75$	Ergun, Costa e Massarani (1982)

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Correlações para coeficiente de arraste

Nº da Correlação	Equação	Condição	Referência
I	$C_d = \frac{24}{Re_p}$	$Re_p < 0,4$ (Regime de Stokes)	Kunii e Levenspiel (1977)
II	$C_d = \frac{10}{\sqrt{Re_p}}$	$0,4 < Re_p < 500$ (Regime Intermediário)	
III	$C_d = 0,43$	$500 < Re_p < 200000$ (Regime de Newton)	Morsi e Alexander (1972)
IV	$C_d = \frac{46,5}{Re_p} - \frac{116,67}{Re_p^2} + 0,6167$	$10 < Re_p < 100$	
V	$C_d = \frac{98,33}{Re_p} - \frac{2778}{Re_p^2} + 0,3644$	$100 < Re_p < 1000$	

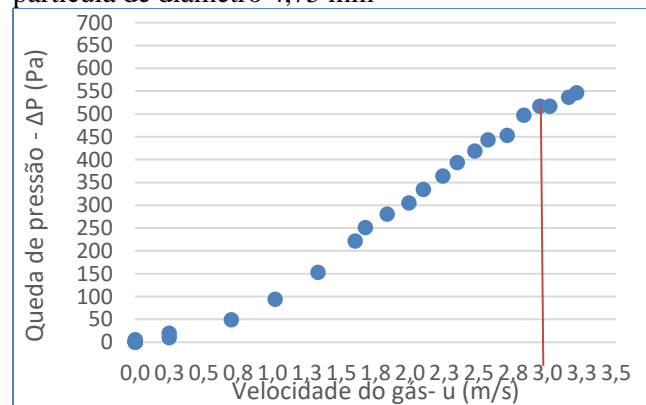
Fonte: Autoria própria.

## Resultados e discussão

A caracterização do coeficiente de arraste ( $C_d$ ) e coeficiente de permeabilidade ( $K$ ) do bagaço de malte foi realizada para diferentes diâmetros de partículas. No entanto, com relação ao diâmetro não houve certa divergência entre os dados obtidos.

Na Figura 5 podemos observar a variação da pressão pela velocidade do fluido, nesse caso utilizado ar. Por meio da análise gráfica e dos dados podemos obter a velocidade de mínima fluidização.

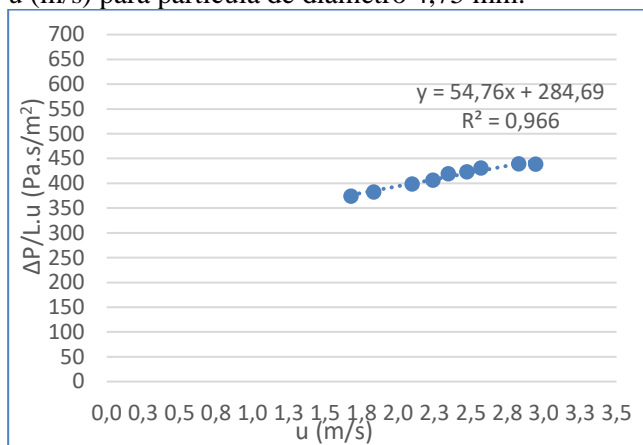
Figura 5 – Teste de Fluidização -  $\Delta P$  (Pa) x  $u$  (m/s) para partícula de diâmetro 4,75 mm



Fonte: Autoria própria.

Para obter o valor do K é necessário manipular a Equação de Forchheimer e a partir da relação  $\Delta P/L.u$  e a velocidade traçamos os pontos e obtemos a equação da reta, apresentada no gráfico da Figura 6. A partir dela voltamos na Equação de Forchheimer para termos o coeficiente de permeabilidade.

Figura 6 – Equação de Forchheimer-  $\Delta P/L.u$  (Pa.s/m<sup>2</sup>) x u (m/s) para partícula de diâmetro 4,75 mm.



Fonte: Autoria própria.

Com isso, montou-se a Tabela 1 com os resultados do coeficiente experimentais. Comparando com os resultados experimentais, houve uma diferença entre os valores.

Tabela 1 – Resultados experimentais e dos modelos para coeficiente de arraste e permeabilidade

K exp. [m <sup>2</sup> ]	K – correlação Massarini (2002) [m <sup>2</sup> ]	C <sub>d</sub> exp. [-]	C <sub>d</sub> – correlação Kunii e Levenspiel (1977) [-]	C <sub>d</sub> – correlação Morsi e Alexander (1972) [-]
6,6x10 <sup>-8</sup>	5,1x10 <sup>-8</sup>	2,72	0,43	0,48

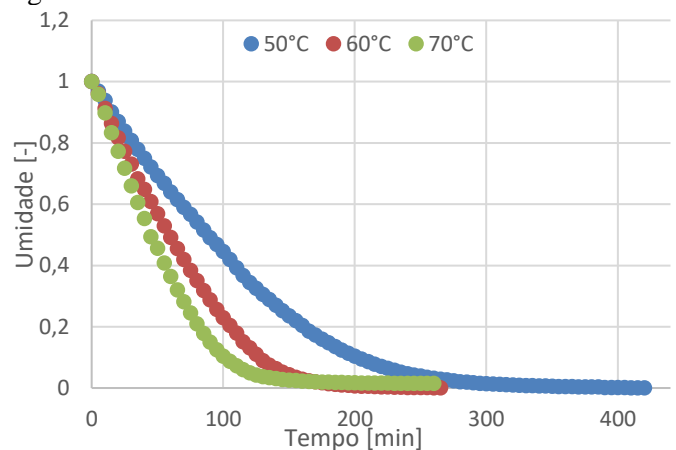
Fonte: Autoria própria.

Isso pode ter acontecido, pelo fato dos modelos empíricos não levarem em considerações as perdas, em relação a pressão e energia, na realização dos cálculos. Em contrapartida, no experimento houveram algumas dificuldades com relação a medida da pressão, uma vez que nas medidas iniciais o manômetro não era sensível o suficiente para captar a variação da pressão, o que pode ter ocasionado erros.

Os resultados do procedimento experimental de secagem na estufa estão apresentados na Figura 7. É possível observar que a temperatura tem relação direta com o tempo necessário para a secagem. Temperaturas maiores ocasionam em um tempo de secagem menor. A temperatura de 70°C, comparada com as de 50°C e 60°C,

teve um tempo de secagem menor, sendo de aproximadamente 250 minutos. Estando coerente com o trabalho de ROCHA et al. 2020, onde analisa a secagem em diferentes temperaturas tendo como conclusão que em maiores temperaturas menor o tempo de secagem.

Figura 7 – Umidade adimensional

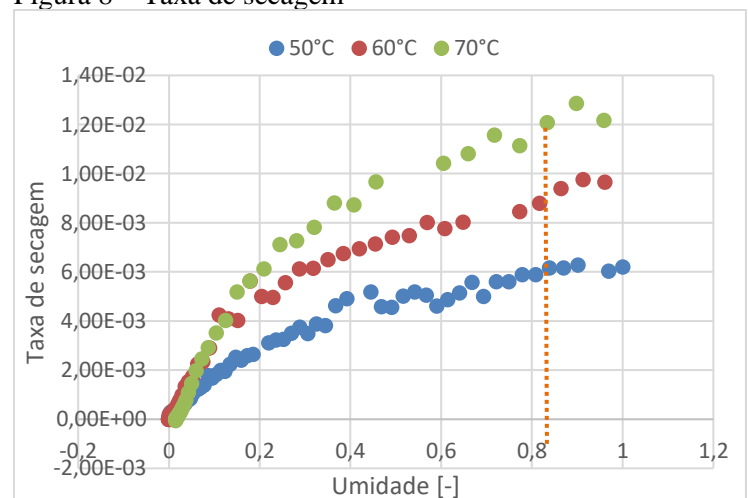


Fonte: Autoria própria.

A taxa de secagem do bagaço de malte corresponde à variação de umidade pela variação do tempo (Figura 8).

É possível observar que, a taxa de secagem é maior para maiores temperaturas, o que era esperado. Comportamento também observado no estudo de ROCHA et al. 2020, onde as temperaturas dos experimentos foram de 50° a 100°C, variando de 10°C, as maiores taxas de secagem foram de 90°C e 100°C dentre as analisadas.

Figura 8 – Taxa de secagem



Fonte: Autoria própria.

Em relação a construção e secagem no secador solar, o equipamento está pronto para uso e já foi instalado (Figura 9). O local de instalação foi próximo ao

laboratório de apoio, onde acontecerá a pesagem das amostras, a incidência solar é constante durante o dia e não há prédios ao redor que façam sombras no secador. Testes iniciais estão sendo realizados e foi necessário a instalação de termopares no interior do equipamento para analisar a temperatura. Os demais experimentos de secagem estão programados para acontecer no mês de setembro de 2023.

Figura 9 – Secador solar.



a) vista superior

b) vista frontal

Fonte: Autoria própria.

### Conclusões

Pode-se concluir que os experimentos realizados demonstraram êxito, uma vez que os resultados obtidos estiveram em conformidade com o esperado.

Além disso, observou-se que a temperatura exerce uma influência significativa no processo de secagem, tendo em vista que para temperaturas mais elevadas, o tempo de secagem diminui e a taxa de secagem aumenta.

A determinação dos coeficientes de arraste e permeabilidade revelou-se uma abordagem interessante para avaliar a consistência dos modelos com a realidade, especialmente considerando que as perdas no processo não foram quantificadas. No entanto, devem ser realizadas melhorias no manômetro para que as quedas de pressões iniciais sejam contabilizadas e o experimento seja mais preciso.

Por meio de revisão bibliográfica, foi constatada a importância do aproveitamento do resíduo de bagaço de malte para a produção de bioenergia, devido à considerável quantidade gerada desse resíduo. Além disso, o crescente aumento populacional fará com que os resíduos gerados aumentem, sendo necessário alternativas para o destino deles de maneira sustentável.

Ademais, vale ressaltar a importância do estudo do secador solar, uma vez que, o consumo de energia é quase zero e pode ser aplicada a uma variedade de resíduos e materiais que necessitem de secagem.

### Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade e incentivo técnico e financeiro. Agradeço também a Professora Dra. Maisa Tonon Bitti Perazzini pelas orientações e apoio durante todo o projeto de pesquisa.

### Referências

BRASIL, Cerv. **Dados do setor**. Cerv Brasil - Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/dados-do-setor/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/)>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DA SILVA, Maria Carolina Miranda Ferreira; DO NASCIMENTO, Mylena Andrade; ELIZÁRIO, Sayonara Andrade. PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS RESÍDUOS DE UMA CERVEJARIA ARTESANAL

ERGUN, Sabri. Fluid flow through packed columns. **Chemical engineering progress**, v. 48, n. 2, p. 89, 1952.

FERREIRA, André Guimarães; GONÇALVES, Lindomar Matias; MAIA, Cristiana Brasil. Solar drying of a solid waste from steel wire industry. **Applied thermal engineering**, v. 73, n. 1, p. 104-110, 2014.

GARCIA, Gabriel A. et al. PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DO EMPREGO DE RESÍDUOS DE CERVEJARIA E CASCAS DE CACAU. **72ª Reunião Anual da SBPC**, 2020

KUNII, Daizo; LEVENSPIEL, Octave. **Fluidization engineering**. Butterworth-Heinemann, 1991.

KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. 5. ed. Berlin: **VLB Berlin**, 2014

MASSARANI, Giulio. **Fluidodinâmica em sistemas particulados**. Editora e-papers, 1997.

MORSI, S. A. J.; ALEXANDER, A. J. An investigation of particle trajectories in two-phase flow systems. **Journal of Fluid mechanics**, v. 55, n. 2, p. 193-208, 1972.

ROCHA, Amanda Alves et al. Secagem de resíduos de malte em uma estufa solar e em um secador solar de leito fixo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e447974335-e447974335, 2020.

ROGERO, Tiago. **Bagaço do malte é reaproveitado pela Ambev**. Anselmo - O Globo. Disponível em: <<https://blogs.oglobo.globo.com/ancelmo/post/bagaco-do-malte-e-reaproveitado-pela-ambev.html>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

VERDE, Aline de Almeida et al. DESTINO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CERVEJARIA ARTESANAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA GRANJA DE SUÍNOS. **Revista Valore**, v. 4, p. 84-93, 2019.