

**ESTUDO COMPARATIVO DA SECAGEM EM LEITOS DE JORRO  
E FLUIDIZADO DE SEMENTES DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.)  
COMPARATIVE STUDY OF DRYING IN SPOUTED AND FLUIDIZED  
BED OF BARLEY SEEDS (*Hordeum vulgare* L.)**

Vicente Debortoli dos Santos<sup>1</sup>  
Lucas Bittencourt Borba<sup>2</sup>  
Sabrina Bresolin<sup>1</sup>  
Maurício Strelow Zarnot<sup>1</sup>  
André Ricardo Felkl de Almeida<sup>3</sup>

**RESUMO:** A cevada é uma das principais culturas de inverno e o Rio Grande do Sul é responsável por grande parte da produção. Entretanto, para manter a qualidade das sementes que serão plantadas é necessário que se garanta as melhores condições fisiológicas da cevada. Para o grão poder ser armazenada é necessário mantê-lo com baixa umidade o que pode ser feito com secadores industriais. Para tanto, o presente trabalho aborda um comparativo entre os métodos de secagem em leitos móveis, fluidizado e jorro, de grãos de cevada (*Hordeum vulgare* L.), utilizando um mesmo lote de matéria-prima, proporcionando uma análise do método de reumidificação e da cinética de ambos os leitos utilizados. Os resultados mostram que a temperatura de secagem de 60°C apresentou os melhores resultados de vigor e germinação, para ambos os leitos, sendo a melhor condição dentre as estudadas.

**Palavras-chaves:** Cevada; Germinação; Secagem.

**ABSTRACT:** The barley is one of the most cultivated winter cultures and the Rio Grande do Sul state a large responsible for its production. However, to maintain the quality of the seeds are necessary that the best physiological conditions of the barley are guaranteed. To store the grain its necessary to keep it in a low humidity, what can be achieved by the use of industrial dryers. Therefore, this present article aims a

1 Pós-Graduando em Engenharia, Universidade Federal do Pampa.  
2 Graduando em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.  
3 Doutor em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.

comparative essay on the use of fluidized bed and spouted bed of barley grains (*Hordeum vulgare* L.), using a same batch of raw material, with an analysis of the humidification and kinetics of both beds. The results shown that in the temperature of 60 °C was the one with the better results in the germination process, for both drying methods, being the best condition in this article.

**Keywords:** Barley; Drying; Germination.

## 1. INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é um dos cereais mais consumidos do mundo, fica atrás, em produção, apenas para o trigo, o milho e o arroz. É empregada como matéria-prima na produção de cerveja e derivados e seu cultivo é incentivado para sustentar a indústria de malte do Brasil. As mudanças genéticas realizadas ao longo dos anos têm auxiliado na manutenção da importância do cereal no cenário mundial. (EMBRAPA, 2015; AGOSTINETTO, 2011).

Na América Latina apenas a Argentina produz mais cevada que o Brasil, entretanto o país produz apenas metade do total de demanda da indústria. A produção do ano de 2017 foi de 368 mil t do cereal, queda de 3,7% em relação ao ano anterior devido a um menor rendimento do grão. (IBGE/CEPAGRO, 2017). No país o maior produtor é a região Sul, principalmente o Rio Grande do Sul e o Paraná que representam 98% da produção nacional. (IBGE, 2017).

Aproximadamente 90% da produção de cevada é destinada ao processo de malteação por possuir características como textura firme do grão e casca que protege o grão durante a germinação. Para se atingir a plenitude do poder germinativo a cevada deve ser armazenada por 4 a 6 semanas, é importante uma boa homogeneização durante a armazenagem para garantir que as enzimas responsáveis pela germinação estejam ativas. Sendo assim a qualidade do grão de cevada está diretamente relacionado com a maturação fisiológica, o momento da colheita, o cultivar e as etapas do beneficiamento do grão. (SILVA, 2017). No momento que se atinge a germinação o processo deve ser interrompido com a secagem (FAO, 2014; TSCHOPE, 1999).

A secagem é uma operação unitária onde ocorrem a transferência simultânea de massa e calor, a transferência de calor se dá pela evaporação do composto volátil e

a transferência de massa é dada pela remoção de vapor ou líquido da superfície. (GEANKOPOLIS, 1993).

Em secadores industriais deseja-se secar sólidos com a utilização de gás aquecido, normalmente ar, para a preservação das características naturais do sólido. No caso específico de sementes a secagem de a finalidade de preservar as características físico-químicas do material (COSTA, 2012).

Neste sentido a escolha de um secador adequado pode ser crucial para a estrutura e qualidade final do grão de cevada. Entre as características que influenciam na escolha do equipamento deve-se levar em consideração a eficiência energética e uma boa homogeneização. Para tanto a utilização de um secador do tipo leito fluidizado gera um eficiente contato entre o material e o fluido de secagem, reduzindo o tempo e aumentando a rapidez na remoção da umidade (FREITAS, 2016). Essas mesmas características podem ser atingidas utilizando um secador do tipo leito de jorro, entretanto, este possui a desvantagem da estabilidade do regime de jorro.

Para tanto, este trabalho tem como objetivo principal a comparação entre a utilização dos dois tipos de leito (de jorro e fluidizado) para realizar a secagem de sementes de cevada. O principal parâmetro de comparação foi a taxa de germinação dos grãos antes e após a secagem.

## 2. METODOLOGIA

Para este estudo foram utilizados grãos de cevada (*Hordeum vulgare* L.) de um lote disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA/TRIGO, da cidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Os experimentos de secagem foram realizados nos laboratórios de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FISIOLÓGICA

Os grãos estudados foram estudados com relação as suas propriedades físicas como o diâmetro médio de Sauter ( $d_s$ ) por peneiramento; massa específica real ( $\rho_{real}$ ) por picnometria gasosa com Hélio; massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ) por ensaio de proveta; porosidade do leito ( $\epsilon$ ) pela relação entre  $\rho_{real}$  e  $\rho_{ap}$ ; esfericidade ( $\varphi$ ) pela

relação entre a área das partículas, medidas com o auxílio de um paquímetro, e a área de uma esfera com o mesmo volume; o ângulo de repouso ( $\theta$ ) pelo método do funil fixo; a umidade das sementes pelo método gravimétrico da Association of Official Agricultural Chemists – AOAC (1997) e o índice de germinação e vigor através das Regras de Análises de sementes (BRASIL, 1992).

## 2.2 ESTUDO DE REUMIDIFICAÇÃO

Os grãos fornecidos haviam sido beneficiados, para atender às condições de mercado, portanto, foi necessário submetê-los a um processo de reumidificação. A metodologia utilizada foi a proposta por Arnosti Jr. (1997), que consiste em banhos termostatizado em equipamento da marca Quimis, modelo Q215M2, nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C, criando um ambiente saturado. Em intervalos de 12 h foram medidas as umidades das sementes e os índices de germinação e vigor.

## 2.3 CINÉTICA DE SECAGEM

Para o estudo de cinética de secagem dos grãos de cevada foram utilizados dois tipos de leitos, ambos localizados no Laboratório de Fenômenos de Transporte, sala 1111, do curso de Engenharia Química da UNIPAMPA/Campus Bagé.

A caracterização fluidodinâmica dos grãos de cevada fora obtida em trabalhos anteriores que se encontram em Zarnott *et al* (2017) e Bresolin *et al* (2017). Em ambos os leitos foram utilizados 500 g de grão de cevada para as curvas fluidodinâmicas obtidas nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

O processo de secagem ocorre com as amostras de sementes que foram reumidificadas com o intuito de replicar a umidade de sementes recém colhidas.

As variáveis coletadas durante o experimento foram coletadas, a cada dois minutos, a temperatura do ar na entrada dos leitos ( $T$ ), as temperaturas de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) e bulbo úmido ( $T_{bu}$ ) e com esses valores foram determinados, através do software Computer-Aided Thermodynamic Tables 2, a umidade relativa do ar de secagem ( $UR$ ). Nos primeiros 10 minutos em foram realizadas quatro coletas de amostra dos grãos. Mais seis coletas no intervalo de 10 a 40 minutos e mais duas no intervalo de 40 a 60

minutos. Dessas amostras foram medidos os teores de umidade em base úmida dos grãos ( $U_{bu}$ ). Também foram determinados os índices de germinação e vigor.

A Tabela 1 contém os parâmetros utilizados das condições aplicadas no processo de secagem estudado.

Tabela 1: Matriz de planejamento experimental fatorial  $2^2$  com ponto central.

Temperatura [°C]	Temperatura [°C]	$U_{ar}$ secagem [m/s]
1	40	1,1 $U_{mf}$
2	40	1,3 $U_{mf}$
3	50	1,2 $U_{mf}$
4	50	1,2 $U_{mf}$
5	50	1,2 $U_{mf}$
6	60	1,1 $U_{mf}$
7	60	1,3 $U_{mf}$

Fonte: Autores, 2018.

### 2.3.1 Leito de Jorro

O equipamento utilizado possui 0,2 m de diâmetro e 0,5 m de altura; de base cônica com ângulo de  $60^\circ$ , altura de 0,15 m e diâmetro de alimentação de ar de 0,035 m.

Na Tabela 2 estão listados os valores médios da velocidade de mínima fluidização obtidas nas 3 temperaturas estudadas.

Tabela 2: Velocidades de mínima fluidização.

Temperatura [°C]	$U_{mf} \pm \text{desvio}$ [m/s]
40	15,14 $\pm$ 0,59
50	15,41 $\pm$ 0,37
60	15,04 $\pm$ 0,42

Fonte: Zarnott *et al*, 2017.

### 2.3.2 Leito Fluidizado

O equipamento utilizado possui as dimensões de 0,2 m de largura; 0,1 m de espessura e 0,1 m de altura de leito de grãos, essa altura de leito foi a atingida pela massa de 0,5 kg de grãos.

A Tabela 3 contém as velocidades de mínima fluidização realizada para as 3 temperaturas do estudo.

Tabela 3: Velocidades de mínima fluidização.

Temperatura [°C]	$U_{mf} \pm \text{desvio}$ [m/s]
40	1,03 $\pm$ 0,03
50	1,00 $\pm$ 0,03
60	0,99 $\pm$ 0,01

Fonte: Bresolin *et al*, 2017.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos a partir das análises das sementes *in natura* e após o processo de secagem, bem como os resultados do processo de reumidificação dos grãos.

A Tabela 4 apresenta as características físicas e fisiológicas das sementes *in natura*.

Tabela 4: Caracterização das sementes de cevada (*Hordeum vulgare L.*).

<i>Propriedade</i> [unidade]	<i>Valor médio</i> ± desvio
$d_s$ [mm]	3,63 ± 0,085
$\rho_{real}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,319 ± 0,001
$\rho_{ap}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,67 ± 0,001
$\varepsilon$	0,49 ± 0,01
$\varphi$	0,84 ± 0,01
$\theta$ [°]	29,07 ± 0,68
$U_{bu}$ [%]	12,63 ± 0,1
<i>Germinação</i> [%]	95,75 ± 1,7

Fonte: Autores, 2018.

Pela análise da Tabela 4, pode-se observa que os grãos de cevada possuem pequeno ângulo de repouso  $\theta$  podendo ser classificados como partículas que apresentam boa fluidez. De acordo com Jong *et al* (1999) este fato favorece as condições de escoabilidade. Os valores do diâmetro de Sauter ( $d_s$ ), esfericidade ( $\varphi$ ), massa específica aparente ( $\rho_{real}$ ) e massa específica real ( $\rho_{ap}$ ) são próximos aos encontrados por Corrêa *et al* (2013) que trabalhou também com a caracterização de sementes de cevada. Segundo Kunze (2004) para armazenamento de grãos o mesmo deve possuir teores de umidade abaixo de 13% como os encontrados por este trabalho.

O processo de reumidificação foi realizado para obter-se sementes com características mais próximas as de sementes recém colhidas. Para isso a Tabela 5 mostra os resultados obtidos após o processo de reumidificação conduzido.

Tabela 5: Umidades e índices de Vigor e Germinação das sementes após a reumidificação.

<i>Temperatura</i> [°C]	<i>Ubu final</i> [%]	<i>Vigor</i> ± desvio [%]	<i>Germinação</i> ± desvio [%]
30	19,00	93,75 ± 2,87	94,00 ± 2,45
35	18,95	95,75 ± 1,26	95,75 ± 1,26
40	21,07	92,25 ± 3,09	95,20 ± 3,11

Fonte: Autores, 2018.

Pelo exposto na Tabela 5 os valores de germinação são muito próximos aos encontrados nas sementes *in natura* que foram tratadas para o comércio. Portanto, pode-se afirmar que o processo de reumidificação não causou uma diminuição ou dano fisiológico nas sementes. Em trabalhos futuros os processos de reumidificação serão padronizados e realizados na temperatura de 35 °C.

Os resultados obtidos pelos experimentos de secagem são apresentados na Tabela 6. São apresentados os resultados da umidade final em base úmida e o índice de germinação final após o processo de secagem. Pelo exposto na Tabela 6 os resultados obtidos nos dois diferentes tipos de leite estudados podem ser comparados.



Tabela 6: Resultados obtidos pelos experimentos de secagem.

Ensaio	Temperatura [°C]	Leito de Jorro		Leito Fluidizado	
		$U_{bu}$ [%]	Germinação [%]	$U_{bu}$ [%]	Germinação [%]
1	40	12,78	95,25	14,08	96,00
2	40	13,06	93,75	14,64	98,25
3	50	10,97	95,00	12,23	98,00
4	50	11,58	95,00	12,27	97,75
5	50	11,06	94,50	12,14	95,50
6	60	9,99	96,25	11,25	98,50
7	60	9,92	96,75	11,30	98,25

Fonte: Autores, 2018.

Os resultados expostos na Tabela 6 mostram que com relação a umidade final das sementes ambos os leitos conseguem reproduzir resultados próximos a umidade final exigida para a armazenagem de grãos. Entretanto, percebe-se também que o leito de Jorro apresentou resultados de umidade mais baixo, isso deve-se ao fato de nesse tipo de leito ocorrer uma melhor distribuição do calor devido ao movimento dos sólidos.

Com relação a germinação após a secagem nota-se que o leito fluidizado aumenta o índice em comparação com as sementes *in natura*; resultados na Tabela 4; e reumidificadas; resultados na Tabela 5. O que consiste em vantagem em relação a utilização desse tipo de leito.

Em todos os ensaios realizados com o aumento da temperatura ocorreu em valores menores no índice de umidade o que era esperado pelo aumento de calor fornecido pelo ar às sementes. Nota-se também que todos os índices de germinação após o processo de secagem ficaram acima de 94%, valor este utilizado pelo

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento para determinar a qualidade de sementes.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em relação ao processo de secagem nota-se que em temperaturas e vazões de ar mais elevadas obteve-se menores teores de umidade final nas sementes de cevada, isto se deve ao fato do aumento da energia colocada no sistema de secagem pelo aumento dessas variáveis.

Com base nos resultados de germinação pode-se perceber que a utilização de ambos os leitos eleva os índices de germinação e podem ser utilizados em processos de secagem, entretanto, industrialmente opta-se por leitos fluidizados pela dificuldade de manter-se as sementes em um sistema de jorro constante.

Em comparação direta dos leitos tanto o leito de jorro quanto o fluidizado produzem sementes com umidades faixa de umidade menor que 13% e com índices de germinação superiores a 94%, ambas, portanto, atendem as demandas de qualidade fisiológica exigidas pela indústria.

## **Agradecimentos**

A Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA pelo espaço e apoio a pesquisa realizada.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, L. Danos e controle químico da mancha marrom e do oídio da cevada. Dissertação (mestre em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias. Lages/SC, 2011.
- AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. **Official methods of analysis**. 16th ed. Washington D.C.; AOAC, V.2, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria 691/1996. 1996.
- BRESOLIN, S.; ZARNOTT, M.; CAGLIARI, A.; ALMEIDA, A. R. F. **Caracterização Física e Fisiológica, Análise das Isotermas de Dessorção e Avaliação do Comportamento Fluidodinâmico de Grão de Cevada (*Hordeum vulgare L.*) em Leito Fluidizado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Bagé/RS, 2017.
- CORRÊA, C.; GOUVÊA, L. F. C.; FREIRE, J. T.; MAIA, G. D. **Caracterização física e fisiológica de sementes de cevada brasileira para fins de produção de malte cervejeiro**. Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. V.1, p 106-115, Macéio/AL, 2013.
- COSTA, A. B. S. **Secagem de Folhas de Hortelã da Espécie (*Mentha vilosa H.*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos/SP, 2012.
- EMBRAPA. **Indicações Técnicas para a produção de cevada cervejeira: safras 2015-2016**. Passo Fundo, RS: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2015.
- FAO – Food Agricultural Organization of the United Nations. **BARLEY: Post-Harvest Operations**, 2014.
- GEANKOPOLIS, C. J. **Transport process and separation process principles (includes unit operation)**. 4 ed., Prentice Hall. New Jersey, 1993.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2017.
- JONG, J. A. H.; HOFFMANN, A. C.; FINKERS, H. J. **Properly determine powder flowability to maximize plant output**. Chemical Engineering, v. 78, p. 413-421, 2007.
- SILVA, F. da. Avaliação do teor e da composição química do óleo essencial de plantas medicinais submetidas a processos de secagem e armazenamento. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2005. 168 p.
- TSCHOPPE, E. C.; NOHEL, F. **A malteação da Cevada**. SENAI. Vassouras/RJ, 1999. 272 p.
- ZARNOTT, M.; BRESOLIN, S.; CAGLIARI, A.; ALMEIDA, A. R. F. **Caracterização Física e Fisiológica, Análise das Isotermas de Dessorção e Avaliação do Comportamento Fluidodinâmico de Grão de Cevada (*Hordeum vulgare L.*) em Leito de Jorro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Bagé/RS, 2017.