

## ESTUDO DA SECAGEM DAS PARTÍCULAS DE SEMENTES DE *Lottus Corniculatus L.* (CORNICHÃO) EM LEITO FLUIDIZADO

\*BERTOI, J., VARGAS, D.

Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química

E-mail: \*julianabertoi.aluno@unipampa.edu.br.

**RESUMO** – Na região sul, a grande maioria da economia é focada na atividade pecuarista, onde as sementes de cornichão (*lottus corniculatos L.*) são de vital importância. A operação de secagem é uma etapa antecessora ao armazenamento, reduzindo o teor de umidade. A finalidade deste estudo é realizar uma análise fluidodinâmica das sementes de cornichão em leito fluidizado operando em condição de processo definida, foram determinadas as umidades inicial e final das sementes, as curvas de umidades relativa e absoluta do ar de secagem e do adimensional de umidade, em função do tempo, a constante de secagem e a difusividade efetiva do processo. O estudo foi realizado a uma temperatura de 40°C e velocidade do ar de 0,494 m/s. Obtendo uma umidade inicial e final de 10,84% e 9,84% respectivamente, na curva de umidade relativa em função do tempo foi possível observar quando a amostra atingiu a umidade de equilíbrio, já na curva da umidade absoluta não houve uma mudança significativa, visto que a umidade na semente é inferior em relação grandeza da umidade do ar, no ajuste do adimensional o modelo de Henderson se mostrou mais adequado, com uma constante de secagem de  $2,6 \times 10^{14} \text{h}^{-1}$  e difusividade efetiva de  $1,25 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{h}$ .

### INTRODUÇÃO

A atividade pecuarista tem grande destaque na economia regional do estado. Isto implica em uma crescente necessidade de utilização de espécies de sementes forrageiras de estação fria nesta região. A demanda crescente de tecnologia de manuseamento de grãos se deu pela atual distribuição da população mundial. O cornichão (*Lotus corniculatus L.*) é uma forrageira exótica muito resistente ao frio e versátil, preferindo climas de temperaturas amenas a temperaturas medianas. É uma espécie facilmente adaptada à maioria dos solos e regiões do Rio Grande do Sul, sendo assim é uma das leguminosas preferenciais para a região da Campanha (CARVALHO *et al.*,

2010). Além da adaptação climática, as sementes de cornichão apresentam um papel importante no desenvolvimento do campo nativo, melhorando a qualidade, quantidade e sustentabilidade das pastagens. Desta forma processo envolvendo plantio, colheita e armazenagem das sementes necessitam uma atenção especial no controle dos parâmetros de produtividade. Segundo Marcos Filho (1987), para se obter resultados significativos no cultivo é necessário o uso de sementes dentro dos padrões colocados pelo mercado e de grande qualidade. Visto isso, a secagem atua como uma etapa de grande importância na produção de sementes com qualidade, permitindo a redução do teor de água após a colheita, permitindo melhores condições de

armazenagem para a comercialização, além disso esse método também preserva as características das sementes sem que haja modificações em suas composições químicas e físicas. Desta forma, a secagem se apresenta como o método mais usual para atuar na preservação os grãos, conservando o produto por intermédio da redução do teor de água. Neste caso, onde trata-se de materiais orgânicos, a redução no teor de água deve ser efetuada de maneira bem controlada, necessitando um estudo e análise da operação aplicada ao material, se a mesma for realizada forma incorreta pode acarretar na perda do material. O secador em leito fluidizado é utilizado na aplicação de secagem, apresentando vantagens como, redução do tempo de secagem, alta capacidade de secagem sendo eficiente na transferência de massa e de energia, entre outras. Já o leito fluidizado com escoamento gás-sólido é aplicável em inúmeros processos industriais, com destaque para o de secagem de partículas (LUZ, 2015). As sementes podem ser caracterizadas como higroscópicas quando perdem ou ganham água em um processo em relação a umidade relativa do ar (PESKE, ROSENTHAL, ROTA et al. 2003). Para cada umidade relativa numa temperatura específica, a semente terá um teor de água e através de isotermas de sorção podem ser feitos estudos que descrevem, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio entre uma quantidade de água absorvida pela semente e a umidade relativa, a uma determinada temperatura. Algumas empresas da região Sul aplicam a secagem artificial devido às vantagens desse processo, porém, é uma operação que pode ocasionar danos que podendo ser irreversíveis caso a operação for realizada de forma errônea, sem conhecimentos e cuidados necessários de preservação de sementes (FREITAS, 2016).

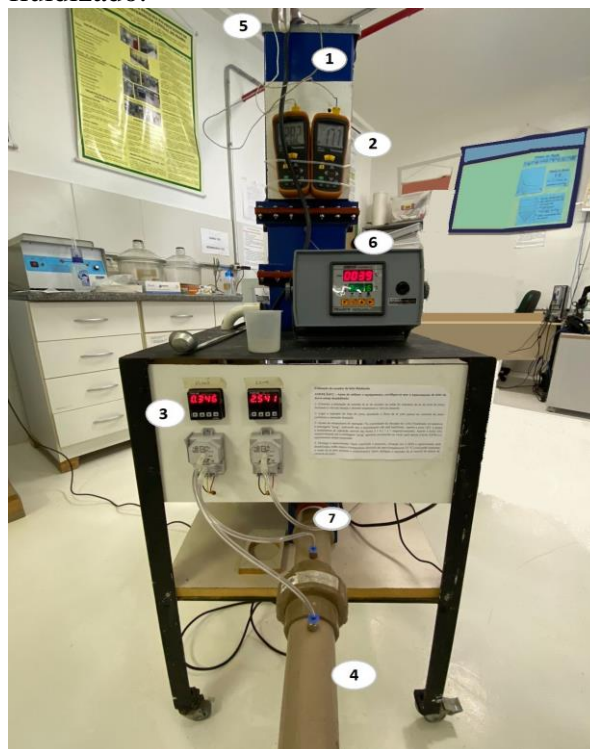
Assim, o objetivo deste trabalho é realizar o processo de secagem da *lottus corniculatus L.* em leito fluidizado, com o intuito de se obter êxito no processo sem que haja a degradação da amostra.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do procedimento experimental de secagem em leito fluidizado, foram utilizadas as sementes de cornichão como partículas e uma corrente de ar como fluido.

A Figura 1 ilustra o módulo didático utilizado no experimento de secagem em leito fluidizado, onde: (1) Leito das partículas; (2) Termômetros; (3) Transdutor de pressão; (4) Placa de orifício; (5) Suporte para termopar  $T_{b,u}$  e  $T_{b,s}$  (6) Controlador *Flyever* e (7) Fonte de aquecimento e distribuição de ar para o sistema.

Figura 1: Módulo didático da secagem em leito fluidizado.



Fonte: Autoras (2022)

Na figura 2 é possível observar as sementes úmidas previamente pesadas e acondicionadas em uma bandeja, onde passarão por um processo de secagem em estufa e posterior a esse processo, a pesagem novamente.

Figura 2: Sementes úmidas após a pesagem.



Fonte: Autoras (2022)

Inicialmente foi realizada a pesagem de aproximadamente 1500 g de sementes de cornichão.

O procedimento experimental se iniciou quando o módulo didático, Figura 1, foi ligado juntamente com o soprador, o qual era responsável por levar a corrente de ar quente ao sistema, e então se ajustou a temperatura e velocidade do ar desejado. Em seguida com o leito alimentado com as sementes de cornichão e sofreu uma regulagem na velocidade do ar para que o sistema operasse em fluidização.

Durante o processo experimental foram medidas as massas dos cadinhos vazios onde as amostras eram acondicionadas e também na coleta das sementes.

Essas coletas aconteceram em duplicatas de tempos distintos (0, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 e 55 minutos), totalizando 22 amostras. Em seguida foram pesadas e depositadas em uma bandeja conforme a Figura 2, onde passaram por um processo de secagem a estufa durante 24 horas a uma temperatura definida. Ao término do processo, ocorreu novamente a pesagem das amostras afim de quantificar a umidade em base úmida e seca.

De forma paralela a esse procedimento, foram apontadas as temperaturas de bulbo seco e úmido do ambiente no início do processo e também no decorrer da secagem a cada 2 minutos na saída do leito com o intuito de realizar o tratamento dos dados.

### Metodologia de Cálculo

Para o ensaio de umidade foram calculadas as umidades em base úmida e base seca conforme descritas nas Equações 1 e 2 respectivamente.

$$U_{B.U} = \frac{M_u - M_s}{M_u} \cdot 100 \quad (1)$$

$$U_{B.S} = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (2)$$

onde  $U_{B.U}$  (%) e  $U_{B.S}$  ( $kgH_2O/kg ss$ ) são as umidades em base úmida e base seca respectivamente e  $M_u$  e  $M_s$  (g) são respectivamente as massas da amostra úmida e a da amostra seca.

A atividade de água presente nas sementes foi calculada conforme descrito na Equação 3.

$$aw = \frac{UR}{100} \quad (3)$$

onde  $aw$  ( $kgH_2O/kg ss$ ) é a atividade de água nas sementes de cornichão e  $UR$  (%) é a umidade relativa ambiente, obtida através de dados inseridos no *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3*.

A umidade de equilíbrio foi calculada usando o modelo matemático de Peleg conforme descrito na Equação 4.

$$xe = k_1 \cdot aw^{n1} + k_2 \cdot aw^{n2} \quad (4)$$

onde  $xe$  é a umidade em equilíbrio,  $aw$  é a atividade de água e  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n1$  e  $n2$  são parâmetros utilizados para ajustar ao modelo em uma temperatura de 40°C.

Foi calculado o teor de umidade para o ensaio de secagem através da Equação 5.

$$x = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (5)$$

onde  $x$  é o teor de umidade ( $kgH_2O/kg ss$ ) e  $M_u$  e  $M_s$  (g) são respectivamente as massas da amostra úmida e a da amostra seca.

A umidade livre foi calculada conforme descrito na Equação 6.

$$x_L = x - xe \quad (6)$$

onde  $x_L$  é a umidade livre,  $x$  é o teor de umidade e  $x_e$  é a umidade de equilíbrio.

O adimensional de umidade livre foi calculado através da Equação 7.

$$adim = \frac{x_{Li} - x_e}{x_{Lf} - x_e} \quad (7)$$

onde  $adim$  é o adimensional de umidade livre,  $x_e$  é a umidade de equilíbrio e  $x_{Li}$  e  $x_{Lf}$  são respectivamente as umidades livres inicial e final.

O coeficiente de difusividade efetiva foi calculado conforme descrito na Equação 8.

$$Def = \left(\frac{\pi}{r}\right)^2 \cdot \frac{1}{k} \quad (8)$$

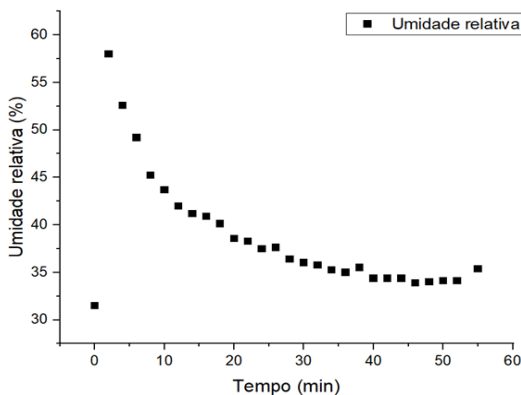
onde  $Def$  é o coeficiente de difusividade efetiva,  $r$  (m) é o raio da partícula e  $k$  ( $h^{-1}$ ) é a constante de secagem obtida através do ajuste gráfico do modelo de Henderson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio da análise de umidade foram encontrados os valores de 10,84% de umidade inicial e 9,84% de umidade final.

A Figura 3, representa a curva da umidade relativa em função do tempo para o ensaio de secagem.

Figura 3- Curva de umidade relativa em função do tempo.



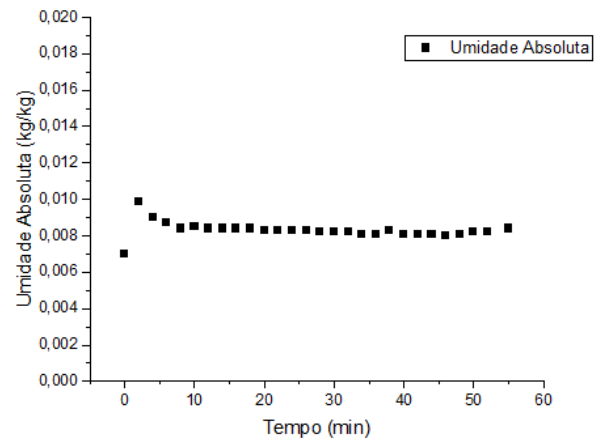
Fonte: Autoras (2022)

Através da curva foi possível observar que no instante inicial, houve um aumento na umidade relativa, onde neste momento não

existia a presença de sementes no leito e a temperatura do fluido que alimentava esse leito era maior que a temperatura das sementes. Com a inserção das sementes no leito as temperaturas do fluido e das sementes se modificaram e ocasionou um decaimento de forma exponencial na taxa de troca de calor fazendo com que o sistema entrasse em equilíbrio. Esse comportamento gráfico se assemelha ao encontrado no estudo de Freitas (2016).

A Figura 4 representa a curva da umidade absoluta em função do tempo para o ensaio de secagem.

Figura 4: Curva da umidade em função do tempo.



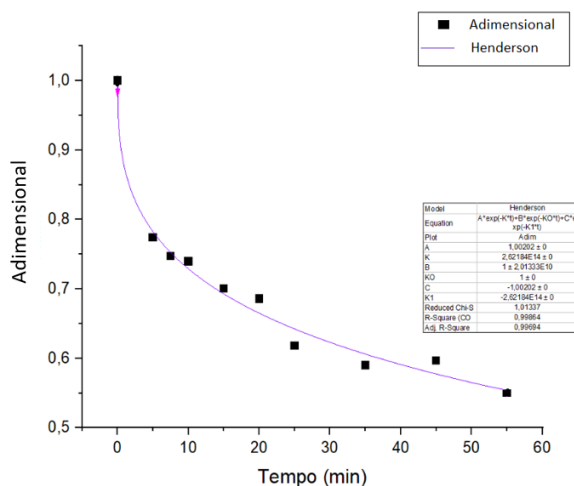
Fonte: Autoras (2022)

Através da curva foi possível observar que não houve uma mudança significativa na umidade, visto que o teor de umidade presente nas sementes é muito pequeno, estando sujeito a grandes quantidades de ar e temperaturas elevadas. Esse comportamento é observado em Freitas (2016).

A Figura 5, representa a curva do adimensional em função do tempo para a cinética.

Figura 5: Adimensional da umidade livre em função do tempo.





Fonte: Autoras (2022)

Para a curva do adimensional em função tempo, foi utilizado o ajuste do modelo de Henderson, o qual através dele se obteve o parâmetro da constante de secagem. O modelo matemático de Henderson foi o que melhor se adequou ao conjunto de dados experimentais, possuindo um coeficiente de determinação de 0,998. Freitas (2016) realizando o mesmo ensaio e partículas encontrou no mesmo ajuste um coeficiente de determinação em 0,991 e salientou a importância deste parâmetro ser superior a 0,98.

Através da constante de secagem foi calculada a difusividade efetiva do material. Esse valor foi aproximadamente  $1,25 \times 10^{-7}$  mostrando que o material possui uma boa remoção de água, porém quando comparado com de Freitas (2016), o resultado apresentou uma pequena diferença. Ainda assim, de acordo com Madamba, (2003), a difusividade efetiva para materiais orgânicos está em uma faixa entre  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$ .

## CONCLUSÃO

A análise da cinética de secagem permite concluir que para o mesmo valor de umidade inicial, o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura. Esta diminuição deve-se ao fato do ar ter maior energia disponível para evaporar a umidade interna das sementes. Além disso, o estudo possibilitou resultados satisfatórios durante todo o procedimento experimental, proporcionando uma notável redução na

quantidade de água presente nas sementes de cornichão.

## NOMENCLATURA

Sigla	Descrição	Dimensão
$adim$	Adimensional de umidade livre	Adimensional
$aw$	atividade de água	[-]
$D_{ef}$	Difusividade efetiva	$[L^2T^{-1}]$
$k_1, k_2$	Constantes	[-]
$M_u$	Massa amostra úmida	[M]
$M_s$	Massa amostra seca	[M]
$n1, n2$	Constantes	[-]
$U_{B,U}$	Umidade em base úmida	$[MM^{-1}]$
$U_{B,S}$	Umidade em base seca	$[MM^{-1}]$
$UR$	Umidade relativa	[-]
$xe$	Umidade de equilíbrio	[-]
$x_L$	Umidade livre	[-]
$x_{Li}$	Umidade livre no tempo inicial	$[MM^{-1}]$
$x_{Lf}$	Umidade livre no tempo final	$[MM^{-1}]$
$x$	Teor de umidade livre	[-]

## REFERÊNCIAS

ALBINI, G. et al. Modelagem e simulação da transferência de calor e massa: estudo de caso para secagem de grão de cevada. Simpósio comemorativo dos 40 anos - SimAPI, 2019.

FREITAS, Reginaldo Paz de. Estudo experimental e da simulação da secagem de sementes de cornichão (*Lotus corniculatus L.*) em leite fluidizado. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia)- Universidade Federal do Pampa. Programa de Pós-Graduação Stricto sensu em Engenharia, Bagé, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/bitstream/riiu/2432/1/Dis%20Reginaldo%20Freitas%202016.pdf>. Acesso em: 8 de jun. de 2022.

MADAMBA, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. *Drying technology*, v.21, p.1759-1780, 2003.

PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A.; BARROS, A.C.S.A. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 2.ed., Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 2006, p.16-59.

PESKE. S; ROSENTHAL. M; ROTA. G. R. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas – RS, 2003.p. 13 – 15.

SANTOS, J. S. et al Estudo de Leito Fluidizado. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 07, Vol. 02, pp.106-130. Julho de 2019. ISSN: 2448-0959.

SOUZA, L. G. Influência dos parâmetros de reversão na homogeneidade de um leito durante a secagem de alumina. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Engenharia Química, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15942/TCC-Lucas-Guellis-de-Souza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 de jun. de 2022.

TEIXEIRA NETO, R.O.; QUAST, D.G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. ITAL, v.8, p. 141-197, 1993.