

SECAGEM COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA DE GRÃOS DE *Moringa oleifera* Lam PARA UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Vânia Rosal Guimarães Nascimento¹, João Domingos Biagi² e Rafael Augustus de Oliveira³

¹Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, Dep. de Engenharia, Instituto de Tecnologia, UFRRJ, Seropédica-RJ, Fone: (24) 98170-4716, vaniarosal@yahoo.com.br

²Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP

³Eng. Agrícola, Prof. Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017 30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Grãos de *Moringa oleifera* L. podem ser utilizados como coagulante natural no tratamento de água, representando potencial substituto aos coagulantes químicos. A secagem desses grãos é frequentemente realizada antes do preparo da solução coagulante. No entanto, a literatura carece de informações a respeito das condições adequadas para a realização da secagem. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da secagem de grãos de moringa quanto ao tempo de secagem, teor de proteína e à eficiência na remoção da turbidez de água. Realizaram-se ensaios de secagem convectiva com aplicação de radiação infravermelha, utilizando temperatura do ar entre 30 e 58 °C e tempo de aplicação dessa radiação de 2 a 4,8 min. O planejamento dos ensaios foi de acordo com delineamento composto central rotacional. A temperatura do ar e o tempo de radiação apresentaram efeito significativo (95% de confiança) sobre o tempo de secagem, teor de proteína e turbidez da água. Conclui-se que a temperatura do ar de 44°C e o tempo de aplicação da radiação infravermelha de 3,4 min resultaram em maior concentração de proteína nos grãos e melhor remoção da turbidez de água.

PALAVRAS-CHAVE: coagulante natural, turbidez de água, teor de proteína

INFRARED RADIATION DRYING OF *Moringa oleifera* Lam GRAINS FOR USE IN WATER TREATMENT

ABSTRACT: *Moringa oleifera* L. grains can be used as natural coagulants in the water treatment, representing potential substitute to chemical coagulants. Drying of these grains is commonly performed prior to the preparation of the coagulant solution. However, the literature lacks information about the appropriate conditions for drying. In this context, the objective of this work was to evaluate the effect of moringa grains drying on processing time, protein content and water turbidity removal efficiency. Experiments of convective drying with application of infrared radiation were carried out using air temperature between 30 and 58 °C and radiation time of 2 to 4.8 min. The planning of the experiments was according to the central composite rotatable design. It was found that the air temperature and the radiation time had a significant effect (95% confidence) on drying time, protein content and water turbidity. It was concluded that, under the conditions studied, the air temperature of 44 °C and the application time of the infrared radiation of 3.4 min resulted in a higher protein concentration in the grains and better removal of water turbidity.

KEYWORDS: natural coagulant, water turbidity, protein content

INTRODUÇÃO: Dentre outras aplicações, os grãos de *Moringa oleifera* L. podem ser utilizados na clarificação de águas, sendo potencial substituto ao sulfato de alumínio e outros coagulantes químicos, devido a vantagens relacionadas à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodo residual (Madrona, 2010), além de não afetar significativamente o pH e a condutividade elétrica de águas após o tratamento. Na etapa de preparo da solução coagulante à base de grãos de *Moringa oleifera* L. geralmente realiza-se a secagem desses grãos, no entanto, na literatura científica não existe recomendação sobre as condições de operação desse processo. A secagem convectiva em associação com a secagem com radiação infravermelha é mais eficiente do que quando são realizadas isoladamente. Durante o processo, a radiação aquece diretamente o produto exposto, com poucas perdas com aquecimento do ar circundante, o que favorece uma maior eficiência energética e, além disso, atinge rapidamente altas taxas de aquecimento, promovendo redução do tempo de secagem. A convecção de ar aquecido atua removendo a umidade evaporada e substituindo o ar saturado por ar seco (KOCABIYIK, 2011). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura do ar e do tempo de aplicação da radiação infravermelha sobre a secagem de grãos de *Moringa oleifera* L. quanto ao tempo de secagem, teor de proteína e à eficiência na remoção da turbidez de água.

MATERIAL E MÉTODOS: Os ensaios de secagem foram realizados no Laboratório da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. Para isso, utilizou-se secador multicomposto, no qual é possível utilizar o método de secagem convectivo associado com a aplicação de radiação infravermelha. Esse equipamento apresenta câmara de secagem cilíndrica, posicionada na horizontal, com 0,50 m de diâmetro e 1,20 m de comprimento. O secagem era composto por ventilador centrífugo (1,5 kW, Asten, Brasil), bateria de resistências elétricas, com potência total de 6 kW, resistências radiantes de infravermelho com tubo de quartzo (modelo CQZ 10, Corel, Brasil) de potência total 4500 W, posicionadas na parte superior da câmara do secador, encobrendo todo o leito de secagem. Inversor de frequência foi utilizado no ajuste da rotação do ventilador para fornecimento de velocidade do ar de $0,93 \text{ m s}^{-1}$. Ensaios de secagem convectiva com aplicação de radiação infravermelha foram realizados de acordo com o planejamento experimental apresentado na Tabela 1. As respostas estudadas foram: tempo de secagem, teor de proteína dos grãos e eficiência na remoção da turbidez de água. Os grãos de *Moringa oleifera* L. apresentavam teor de água inicial de 10% (b.u.) e a secagem foi conduzida até teor de água de 4% (b.u.). Planejamento experimental fatorial completo com dois fatores (2^2) foi utilizado para definir as condições dos ensaios de secagem. Os fatores estudados foram: temperatura do ar de secagem (T) e tempo de aplicação da radiação infravermelha (t). Acrescentaram-se 4 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabelas 1). Os emissores de radiação infravermelha foram acionados manualmente durante o tempo definido no planejamento experimental. O monitoramento da perda de massa das amostras foi realizado em intervalos de 15 min por pesagens em balança de precisão. A análise estatística dos resultados foi realizada através do software STATISTICA, versão 9.0. Aplicou-se o teste F (95% de confiança), realizou-se Análise de Variância (ANOVA) e do coeficiente de correlação (R^2). Após a secagem dos grãos, determinaram-se o teor de proteína dos mesmos e realizou-se o tratamento de água com soluções coagulantes obtidas com esses grãos secos. O teor de proteína dos grãos sem o tegumento e na forma pulverizada foi determinado pelo método de Kjeldahl (Método 960.52 – AOAC 1998). Quanto ao tratamento de água, após remoção do tegumento e moagem dos grãos para obtenção do pó, realizou-se o preparo da solução coagulante (concentração de 2%, massa/volume). Água com turbidez sintética (60 NTU) foi preparada e tratada com essas soluções coagulantes (dosagem 10 mL L^{-1}) em reatores estáticos (Jar-Test) pela realização de operações de coagulação, floculação e sedimentação. A

etapa de coagulação foi operada sob condição de gradiente médio de velocidade 400 s^{-1} e tempo de mistura rápida de 60 segundos, enquanto que a floculação ocorreu sob gradiente médio de velocidade 40 s^{-1} e tempo de mistura lenta de 10 min (ARANTES, 2010). A etapa final de sedimentação consistiu do repouso por 60 min, sendo que amostras da água foram coletadas nos tempos zero, 10, 20, 30, 45 e 60 min para determinação da turbidez remanescente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os menores tempos de secagem (0,5 horas) foram observados nos ensaios 4, 6 e 8, nos quais a temperatura de secagem e o tempo de aplicação da radiação infravermelha foram: $55 \text{ }^\circ\text{C}$ e 4,4 min; $58 \text{ }^\circ\text{C}$ e 3,4 min; $44 \text{ }^\circ\text{C}$ e 4,8 min, respectivamente. Verifica-se que esses ensaios apresentam os níveis mais elevados dos fatores, explicando assim, o porquê dos mesmos terem ocorrido mais rapidamente que os demais. Ao contrário, o ensaio 1 (34°C e 2,4 min) correspondem à combinação dos menores níveis desses fatores e que, portanto, demandou maior tempo de secagem (2 h) (Tabela 1).

TABELA 1. Planejamento experimental dos ensaios de secagem com fatores: temperatura do ar (T) e tempo de aplicação da radiação infravermelha (t), e respostas: tempo de secagem, teor de proteína dos grãos e turbidez remanescente da água.

Ensaio	Fatores		Respostas		
	T ($^\circ\text{C}$)	t (min)	Tempo de secagem (h)	Teor de proteína (%)	Turbidez remanescente (NTU)
1	34 (-1)	2,4 (-1)	2,00	34,93	5,76
2	54 (1)	2,4 (-1)	1,00	36,33	1,91
3	34 (-1)	4,4 (1)	0,75	35,80	1,36
4	54 (1)	4,4 (1)	0,50	37,06	1,51
5	30 (-1,41)	3,4 (0)	1,50	35,65	5,20
6	58 (1,41)	3,4 (0)	0,50	36,62	1,45
7	44 (0)	2,0 (-1,41)	1,25	36,85	2,49
8	44 (0)	4,8 (1,41)	0,50	36,19	1,49
9	44 (0)	3,4 (0)	0,75	37,93	1,55
10	44 (0)	3,4 (0)	0,75	37,19	1,50
11	44 (0)	3,4 (0)	0,75	37,66	1,54

Pela análise estatística observou-se que tanto a temperatura do ar, quanto o tempo de aplicação da radiação infravermelha, apresentaram efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre o tempo de secagem dos grãos de *Moringa oleifera* L., de forma que a elevação da temperatura do ar e do tempo de aplicação da radiação infravermelha influenciaram na redução do tempo de secagem. NOWAK e LEWICKI (2004) compararam a secagem de fatias de maçã utilizando radiação infravermelha com a secagem convectiva, realizadas sob condições equivalentes. Constataram que o tempo de processo pôde ser reduzido até 50% quando o aquecimento foi realizado com a energia da radiação infravermelha. O teor de proteína dos grãos variou entre 34,93% (ensaio 1) e 37,93% (ensaio 9) (Tabela 1). Esses valores foram superiores aos encontrados por MADRONA (2010), 26,72%, mas coerentes aos obtidos por CAMPAORÉ *et al.* (2011), $35,37 \pm 0,07\%$. Tanto a temperatura do ar quanto o tempo de radiação apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre o teor de proteína. A partir da superfície de resposta do teor de proteína (Figura 1A), pode-se compreender graficamente esses efeitos. Observa-se que o aumento da temperatura do ar até certo ponto (aproximadamente $47 \text{ }^\circ\text{C}$) propiciou aumento da concentração do teor de proteína, mas a partir desse ponto a elevação da temperatura do ar propiciou redução dessa resposta. O mesmo comportamento é observado com o tempo de aplicação da radiação infravermelha. Dessa forma, pode-se afirmar que a condição de secagem mais favorável para o teor de proteína está compreendida na região do ponto central do planejamento experimental. Em

relação à turbidez de água tratada com solução de grãos de *Moringa oleifera* L., é possível verificar na Tabela 35, que os efeitos da temperatura do ar, do tempo de aplicação da radiação infravermelha e da interação entre eles foram significativos ($p \leq 0,05$) sobre essa resposta. Esse efeito foi negativo, indicando que o aumento da temperatura do ar e do tempo de radiação provoca redução da turbidez remanescente, o que é desejado em sistemas de tratamento de água.

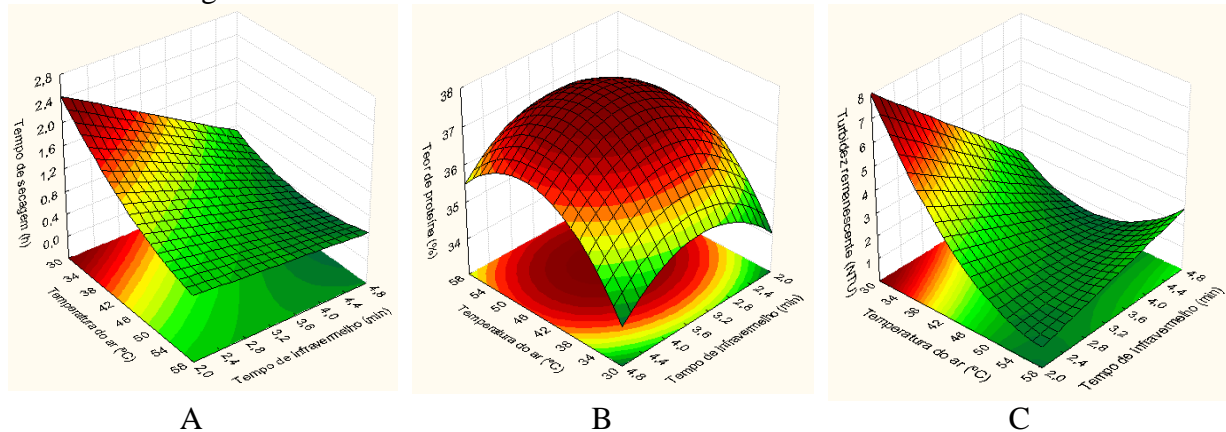


FIGURA 1. Superfície de resposta do tempo de secagem (A), teor de proteína dos grãos de moringa (B) e turbidez remanescente de água tratada com os grãos secos (C).

CONCLUSÕES: A utilização dos maiores níveis de temperatura do ar de secagem e tempo de aplicação da radiação infravermelha proporcionou aumento do aquecimento do ar na câmara de secagem e no interior dos grãos, o que conseqüentemente, aumentou a taxa de secagem e reduziu o tempo do processo. Os níveis intermediários de temperatura do ar de 44°C e o tempo de aplicação da radiação infravermelha de 3,4 min proporcionaram maior concentração do teor de proteína dos grãos e melhor solução coagulante para a redução da turbidez de água.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, C.C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas.** 109p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C. **Official methods of analysis.** 16 ed. Washington, 1998. 1018 p.
- MADRONA, G.S. **Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de Água para consumo humano.** 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- NOWAK, D.; LEWICKI, P.P. Infrared drying of apple slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, p. 353– 360, 2004.
- KOCABIYIK, H. Combined infrared and hot air drying. In: PAN, Z.; ATUNGULU, G. G. **Infrared Heating for Food and Agricultural Processing.** New York: CRC Press, Cap. 6, p. 101 – 116, 2011.
- COMPAORÉ, W.R.; NIKIÈMA, P.A.; BASSOLÉ, H.I.N.; SAVADOGO, A.; MOUECOUCOU, J.; HOUNHOUGAN, D.J.; TRAORÉ, S.A. Chemical composition and antioxidative properties of seeds of *Moringa oleifera* and pulps of *Parkia biglobosa* and *Adansonia digitata* commonly used in food fortification in Burkina Faso. **Current Research Journal of Biological Sciences**, 3, 64-72, 2011.