

ESTUDO DE METODOLOGIAS DE SECAGEM DE SEMENTES DE COPAÍBA (*COPAIFERA LANGSDORFFII*) COM POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO POR COMUNIDADES COLETORAS

A. L. M. C. de SOUZA e G. D. MAIA

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: analucard@terra.com.br

RESUMO – A Copaíba (*Copaifera langsdorffii*) é uma espécie amplamente utilizada para reflorestamento. A coleta dessas sementes para comercialização está frequentemente ligada às atividades de comunidades coletoras que sobrevivem desse comércio. Considerando as limitações em termos de tecnologia para o beneficiamento dessas sementes, o presente trabalho teve por objetivo o estudo de metodologias simples de secagem que atendam às restrições enfrentadas por essas comunidades e que tenham pronta aplicação. As metodologias estudadas foram a secagem solar, secagem em estufa a 40°C e 50°C e a secagem por luz infravermelha a 40°C e 50°C. As curvas cinéticas de secagem permitiram avaliar que a secagem por luz infravermelha apresentou melhor desempenho baseado no tempo de secagem. Foi possível observar que a secagem solar não é adequada em função do maior tempo para se atingir a umidade de equilíbrio, incapacidade de controle térmico e da sua dependência de fatores externos.

1. INTRODUÇÃO

Uma nova despesa deve ser considerada no orçamento do produtor rural: a do reflorestamento das Áreas de Proteção Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL). O Ministério do Meio Ambiente estima que 35 milhões de hectares no país tenham de ser restaurados – replantados ou induzidos à recuperação – para que as fazendas atendam às normas do novo Código Florestal, e o preço dessa conta pode chegar a R\$ 350 bilhões, calculados a partir do custo médio do reflorestamento com mudas (R\$ 10 mil por hectare) (Taguchi, V.; 2015).

Entretanto, não há sementes disponíveis para suprir essa demanda. A mão de obra disponível para a coleta de sementes é rara e há poucos viveiros de mudas nativas regularizados no país, o que torna evidente a existência de um nicho de investimento pouco explorado. Do ponto de vista acadêmico, poucos estudos podem ser encontrados na literatura encarando essas sementes como um produto que necessita de beneficiamento, processamento e armazenagem.

Considerando a natureza das comunidades coletoras, é imperativo que as alternativas de processamento dessas sementes sejam constituídas de métodos simples de secagem, uma vez que há uma necessidade de adequação à realidade dessas comunidades.

Entre as espécies mais utilizadas no reflorestamento está a *Copaifera langsdorffii* (Carvalho 2003). A Copaíba é uma espécie secundária tardia a clímax, caracterizando-se como espécie heliófita tolerante a sombra. Pode ser encontrada em vários estágios de sucessão, desde áreas totalmente degradadas até aquelas com dossel em fechamento (Rossi et al., 2008).

Sua ocorrência engloba regiões fitoecológicas distintas, tais como: Cerrado, Cerradão, Caatinga, Floresta Estacional Semideciduado, Decidual, Ombrófila Densa, na formação Aluvial, Montana e Submontana, na Campinarana e nos campos rupestres.

O óleo-resina de *Copaifera langsdorffii* é extraído do tronco, podendo ser utilizado, in natura como combustível para motores diesel e também na medicina popular como anti-séptico, cicatrizante, expectorante, diurético, laxativo, estimulante, emoliente e tônico. (Rossi, et al., 2008)

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar três metodologias simples de secagem, a saber: solar, em estufa e por luz infravermelha, a fim de se avaliar qual tem maior potencial de aplicação para as comunidades coletoras, levando em conta a cinética de secagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metodologias de secagem

As sementes de *Copaifera langsdorffii* utilizadas nestes experimentos foram adquiridas através da Rede de Sementes do Xingu e umidificadas durante 24 horas a 5°C por imersão.

Os ensaios de secagem solar foram conduzidos em um caixote de madeira de 45x30 cm com frestas laterais para circulação de ar. O tampo superior foi construído com uma tampa de vidro a fim de impedir que a massa das amostras fosse alterada ao longo do experimento pelo acúmulo ou depósito de material indesejado. A temperatura foi monitorada ao longo do experimento, apresentando um valor médio de 25,3°C

Para os ensaios em estufa utilizou-se um equipamento de convecção natural da marca Tecnal modelo TE-394/1. As amostras foram dispostas em vidros de relógio e periodicamente rotacionadas no interior da estufa a fim de se evitar o gradiente de temperatura natural que se forma no interior do equipamento.

As medidas de massa foram realizadas em uma balança semi analítica da marca Gehaka modelo BG440 com precisão de 0,001g, em intervalos de 5 minutos na primeira meia hora. Na segunda meia hora o intervalo aumentou para 10 minutos e os intervalos de pesagem foram aumentando conforme a diferença de massa entre duas medidas consecutivas diminuía

O método de secagem por luz infravermelha utilizou uma lâmpada infravermelha de 350W de potência. As amostras foram acondicionadas sobre o foco da lâmpada e a temperatura foi controlada pela distância da lâmpada em relação à amostra. Durante o

experimento a temperatura foi monitorada por um termopar disposto no mesmo nível da amostra. O procedimento foi conduzido em sala fechada a fim de se minimizar os efeitos convectivos associados ao deslocamento de ar. Os ensaios foram conduzidos em triplicata e tanto os ensaios em estufa quanto os ensaios de secagem por luz infravermelha foram realizados nas temperaturas de 40°C e 50°C.

2.2. Modelo Matemático

Com base na formulação pseudo-homogênea, a transferência de massa em sistemas particulados pode ser tratada a partir do modelo difusivo. Considerando geometria esférica, assumindo constantes as propriedades do sólido, a difusividade efetiva de umidade global (Perazzini et al., 2013), tem-se que:

$$\frac{\partial X(r,0)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \cdot D_{eff,G} \cdot \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right] \quad (1)$$

A Equação 1 está sujeita à seguinte condição inicial (para $t > 0$ e $0 \leq r \leq R$):

$$C.I : X(r,0) = X_i \quad (2)$$

A condição de contorno tradicionalmente empregada na Equação 1 é aquela na qual o conteúdo de umidade no interior da partícula é finito, ou seja (para $t > 0$ e $r = 0$):

$$C.C.1: \left. \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (3)$$

Assumindo que a superfície da partícula atinge instantaneamente o equilíbrio com a fase gasosa, tem-se (para $t > 0$ e $r = R$):

$$C.C.2: X(r,t) \Big|_{r=R} = X_e \quad (4)$$

Supondo desprezível o encolhimento do material, considerando a difusividade efetiva como um parâmetro constante, o conteúdo de umidade inicial uniforme e aplicando as condições inicial e de contorno (Equações 2 a 4), chega-se à solução analítica do modelo difusivo por separação de variáveis, considerando a concentração média espacial de umidade durante a secagem (Crank, 1975; Perazzini et al., 2014):

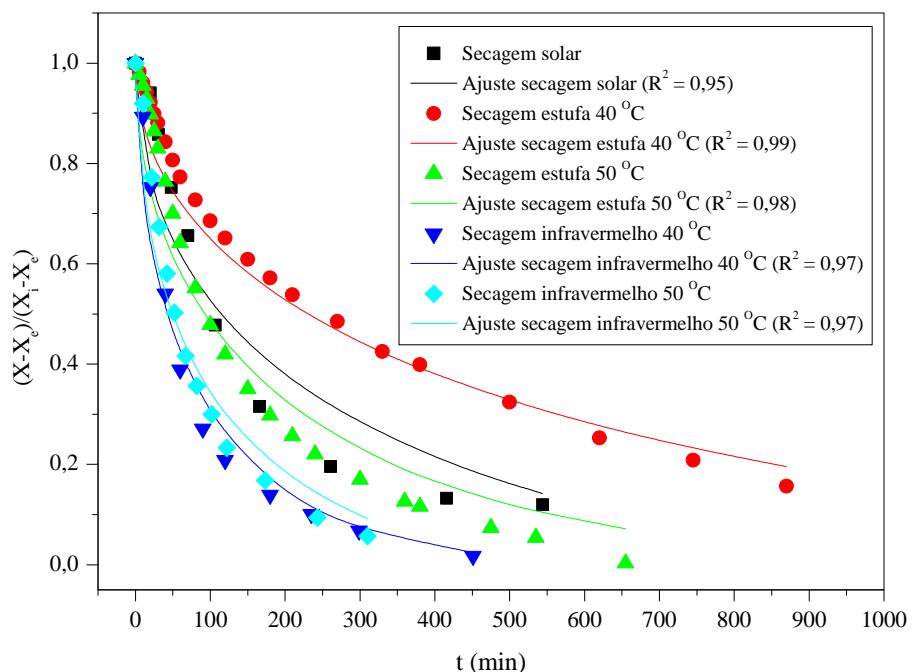
$$\frac{X_{(r,t)} - X_e}{X_i - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n} \right)^2 \exp \left[- \left(\frac{n\pi}{R} \right)^2 D_{eff,G} \cdot t \right] \quad (5)$$

O modelo proposto tem por objetivo avaliar os valores de D_{eff} a fim de se avaliar quais metodologias apresentam melhores condições de secagem do ponto de vista cinético.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as cinéticas de secagem para todas as metodologias empregadas no presente estudo.

Figura 1 – Cinéticas de secagem de sementes de *Copaifera langsdorffii*



Através dos gráficos da Figura 1 é possível observar que a secagem solar demanda uma maior quantidade de tempo para se atingir o patamar de umidade de equilíbrio, considerando uma temperatura média de secagem de 25,3°C.

Ainda que a secagem solar seja empregada com frequência em atividades agrícolas, como, por exemplo, na secagem de café, a ausência de controle da temperatura, sua dependência das condições climáticas e seu elevado tempo em relação às demais metodologias torna essa técnica pouco atrativa para a utilização por comunidades coletoras.

Além disso, no caso das sementes florestais, o ambiente disponível para a secagem solar apresenta elevada umidade relativa, o que torna ainda mais complexo o controle da secagem.

Do ponto de vista da cinética, a secagem por luz infravermelha apresentou convergência para os valores de umidade de equilíbrio no menor espaço de tempo, cerca de 500 min, para ambas as temperaturas.

A secagem por luz infravermelha, além de apresentar uma temperatura de secagem significativamente superior à média observada na secagem solar, permite uma transferência de calor por radiação e convecção mais controlada e com maiores taxas de transferência em função da temperatura de operação em relação à secagem solar.

A secagem em estufa, intermediária entre as duas cinéticas anteriormente citadas, possui primordialmente efeitos convectivos e de condução na transferência de calor. Entretanto, quando comparadas nas mesmas temperaturas, a secagem por luz infravermelha apresentou melhores resultados, o que indica que o efeito da radiação, desprezível na secagem em estufa, contribui significativamente para a melhoria do processo de secagem nessas condições.

Deve-se levar em conta, também, para a escolha da melhor metodologia para a utilização por comunidades coletoras, o fato de que a secagem por luz infravermelha necessita, a rigor, apenas das lâmpadas e o secador pode ser instalado desde que haja energia elétrica disponível. No caso da secagem em estufa há necessidade de construção ou aquisição de uma estufa específica, o que demanda custos mais elevados de instalação e manutenção.

Ensaios preliminares mostraram que o poder germinativo das sementes de copaíba não apresentou mudanças significativas entre as diferentes metodologias empregadas considerando a mesma temperatura. Para a temperatura de 50°C foi possível observar ligeiro declínio na capacidade germinativa, o que sugere que a temperatura de 40°C seja utilizada para esse fim. Considerando que os ensaios germinativos foram realizados em caráter preliminar, seus valores e o tratamento dessas informações não constam do presente estudo pois carecem de informações complementares para que sua análise completa seja possível.

As difusividades efetivas foram calculadas utilizando 25 termos da Equação 5. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Difusividades efetivas para cada metodologia de secagem empregada.

<i>Método de secagem</i>	<i>T(°C)</i>	<i>D_{eff,G} x 10¹⁰(m²/s)</i>
Estufa	40	0,54
	50	1,38
Luz infravermelha	40	2,46
	50	2,58
Solar	25,3	1,13

Conforme observado pela Tabela 1, foi possível determinar que a difusividade efetiva não apresenta valores iguais para os ajustes realizados. Isso ocorre uma vez que o modelo difusivo não representa na integralidade os fenômenos que se processam durante a secagem nas diferentes metodologias, ainda que os coeficientes de correlação sejam maiores que 0,95 para todos os ajustes. O modelo difusivo clássico não leva em conta a possibilidade de encolhimento durante a secagem nem a mobilidade da matriz porosa das sementes, o que alteraria as resistências internas à transferência de massa. É possível também que os diferentes métodos de secagem possam afetar as características físicas da casca da semente, alterando a resistência à transferência de massa, mas na superfície da semente.

É importante salientar que o objetivo do presente estudo não leva em conta o tratamento rigoroso e clássico da difusividade e não tem por finalidade estabelecer um estudo sistemático do modelo de secagem em si. Sua utilização tem por objetivo tão somente estabelecer uma análise qualitativa fundamentada no modelo difusivo clássico, que permita a inferência da metodologia que apresenta melhores condições de secagem do ponto de vista cinético.

Deixamos como sugestões para trabalhos futuros o estudo sistematizado e rigoroso dos fenômenos de transferência de calor e massa.

4. CONCLUSÃO

Face ao exposto é possível concluir que, dentre as metodologias empregadas para a secagem de sementes de Copaíba, a mais promissora é a secagem por luz infravermelha. Os testes demonstraram que a cinética de secagem é a que transcorre em menor tempo até a condição de umidade de equilíbrio. Além disso, a difusividade efetiva obtida para a secagem em luz infravermelha apresentou o maior valor em relação às demais metodologias estudadas. Foi possível constatar também que a secagem solar não é indicada para o beneficiamento de sementes de Copaíba, uma vez que não há uniformidade térmica durante o processo, a secagem se torna dependente das intempéries e das condições climáticas.

5. NOMENCLATURA

$D_{eff,G}$	Difusividade efetiva global (m ² /s)
r	Coordenada radial (-)
R	Raio da partícula (m)
t	Tempo de secagem (min)
T	Temperatura (°C)
$X_{(r,t)}$	Umidade do sólido (kg/kg)
X_i	Umidade inicial do sólido (kg/kg)
X_e	Umidade de equilíbrio (kg/kg)

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, P. *Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Colombo-PR: EMBRAPA/CNPQ, 2003.
- CRANK, J. *The mathematics of diffusion*. Oxford: Clarendon Press, 1975
- PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Difusão de umidade na secagem de partículas porosas em leito vibro-fluidizado. In: *Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*, 36. 2013, Maceió. Anais, UFAL, 2013.
- PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Secagem de partícula porosa em leito vibro-fluidizado. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Química XX COBEQ*, Florianópolis. Anais, UFSC, 2014.
- ROSSI, T.; BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, P. H. Identificação de espécies florestais: *Copaiba langsdorffii* (Copaíba). Disponível em <<http://www.ipef.br/identificacao/copaifera.langsdorffii.asp>>, 2016.
- TAGUCHI, M.; Fábrica de Árvores. *Revista Globo Rural*, 2015. Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,ERT332272-18282,00.html>>, 2016.