

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DO PROCESSO DE SECAGEM DE PLACAS DE GESSO: ESTUDO PARAMÉTRICO

## **Jacek S. Michalewicz**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [jacek.ufpe@bol.com.br](mailto:jacek.ufpe@bol.com.br)

## **José Carlos Charamba Dutra**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [charamba@ufpe.br](mailto:charamba@ufpe.br)

## **Jorge R Henriques**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [rjorgeh@demec.ufpe.br](mailto:rjorgeh@demec.ufpe.br)

## **Kamal A. R. Ismail**

Depto de Engenharia. Térmica e Fluidos - FEM - Unicamp – Cid. Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas-SP, Brasil, Fax: 55-19-32893722, [kamal@fem.unicamp.br](mailto:kamal@fem.unicamp.br)

**Resumo:** *O estado de Pernambuco detém a quase totalidade das reservas de gipsita do Brasil. A exploração comercial destas reservas numa escala nacional não tem mais de três décadas. A consciência de que era necessário agregar valor ao gesso, e a seus produtos derivados, fez com que as empresas do pólo gesseiro de Pernambuco, buscassem desenvolvimento tecnológico para processo e produtos. Numa tentativa de cooperar com o desenvolvimento do setor gesseiro, a UFPE vem desenvolvendo vários trabalhos de pesquisa. Detectada a carência de tecnologia de secagem na elaboração dos produtos moldados de gesso, foi iniciado este trabalho que foi realizado num secador construído especificamente para secagem de placas plana de gesso, que é composto de um túnel de seção quadrada com uma seção de testes, e um ventilador. O fluxo de ar é uniformizado, e aquecido por um banco de resistência. Para levantar dados sobre a secagem, foram colocados sensores de umidade, temperatura e pressão. As aquisições dos dados foram feitas por um sistema Labview. Foram medidas pressão, vazão de ar, umidade, e temperatura. A temperatura foi medida no interior da placa, através de termopares. Foi avaliada também a influência do espaçamento entre as placas na transferência de calor e massa.*

**Palavras-chave:** *Secagem, Placas de gesso, teor de umidade, transferência de calor e massa, taxa de secagem*

## **1. INTRODUÇÃO**

O gesso é obtido a partir da gipsita, um mineral abundante no Brasil, distribuídas da seguinte maneira: 94% da produção brasileira esta localizada no estado de Pernambuco, e em menores proporções nos estados do Piauí e Ceará (Peres et al, 2001). A gipsita é um sulfato de cálcio Bi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), extraído da jazida através de britagem, depois é moído, peneirado e calcinado em fornos e autoclaves em temperaturas variando entre 110 a 900 °C para se obter produtos diferenciados. O principal produto desse processo é o sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) comumente conhecido como gesso.

O gesso obtido após a calcinação da gipsita, é largamente empregado em pré-moldados como placas, blocos, elementos decorativos como sancas, estatuetas etc. O processo consiste em adicionar água ao gesso em pó até obter uma mistura com consistência pastosa, conformação em fôrmas e régua e finalmente a secagem. No estado pastoso o gesso volta a apresentar a sua forma bi-hidratada acontecendo uma reação química que aumenta a sua temperatura e também um leve aumento no seu volume, transformando o estado pastoso em sólido. De acordo com Peres et al (2001) a quantidade de água utilizada na preparação do gesso é de aproximadamente 18% em relação ao peso do pó, o que deve dar uma consistência à pasta regulada pela norma NBR 12128 (1991). Depois que a pasta for pré-moldada parte da água utilizada em sua preparação deverá ser eliminada através de um processo de secagem.

O processo de secagem é um complexo processo térmico na qual ocorre simultaneamente transferência de calor e massa. Neste processo, o calor é transferido por convecção desde o ar quente para o produto aumentando, a temperatura tanto deste quanto da água nele contida na forma de umidade. A transferência de massa ocorre quando a umidade presente emigra na forma de líquido ou vapor do interior do produto para a superfície em contato com o ar quente e então se evapora, sendo transferido para o ar na forma de vapor de água. Usualmente é desejado estimar em que condições operacionais de temperatura e umidade do ar, e qual o tempo necessário para alcançar a secagem requerida. Parâmetros como velocidade, temperatura e umidade relativa do ar claramente influenciam a taxa de secagem, assim, um controle adequado das condições higrotérmicas é crucial ao sucesso do processo de secagem (Keey, 1978).

Sabe-se que a secagem é de vital importância para diferentes processos de produção. No setor agroindustrial a secagem de produtos tais como grão, sementes e alimentos em geral, reduz a atividade microbiológica e outras reações que possam causar decomposição dos produtos, permitindo uma redução das perdas, um maior tempo de estocagem e menores custos com transporte (Moreira, 2002; Silva, 2000; Leon et al, 2002). De forma similar, na indústria madeireira, a secagem é a operação intermediária que mais contribui para agregar valor aos produtos manufaturados da madeira, eliminando os efeitos visuais como rachaduras, empenamentos, colapsos e manchas (Jankowsky et al, 2001). A secagem também é importante na construção civil, como no caso da produção de tijolos, argamassa, telhas, concreto, arenito e o gesso (Mendes et al, 1996). Assim, devido a extensa aplicação das técnicas de secagem e a sua importância nos diferentes processos, muitos estudos teóricos e experimentais sobre técnicas de secagem, parâmetros envolvidos e modelos matemáticos e numéricos para simulação do processo têm sido realizadas e publicados na literatura.

Leon et al, (2002) apresentaram um estudo onde revisam os diferentes parâmetros usados para testar e avaliar os diferentes tipos de secadores solares para secagem de produtos alimentícios. Baseados nesse estudo os autores propõem uma metodologia de análise, as condições de ensaios e uma planilha de avaliação simples contendo os parâmetros mais significativos. Na mesma linha de trabalho El-Sebaii et al, (2002-a; 2002-b) realizaram estudos experimentais com secador solar para diferentes condições ambientais, registrando-se a radiação solar incidente, a temperatura e umidade relativa do ar ambiente, a temperatura na entrada e saída do aquecedor e a distribuição de temperatura em diferentes partes do sistema. Baseados nesses estudos experimentais os autores propõem algumas correlações para a cinética da secagem.

Glounnec et al, (2002) também desenvolveram um estudo experimental onde usam tecnologia de energia radiante para o processo de secagem. Foi utilizado um protótipo de forno onde a secagem é regulada por mecanismos de convecção, radiação térmica e radiação de microondas. São estudadas a cinética de secagem e o efeito na distribuição de temperatura na amostra.

Sahin et al, (2000) apresentaram um método gráfico simples para determinar a difusividade mássica e o coeficiente de transferência de massa para produtos sólidos a partir de dados experimentais. O trabalho mostra a validação do método e como essa metodologia pode ser utilizada para aplicações práticas.

Ratti et al, (1997) desenvolveram um código numérico baseado no método de diferenças finitas para simular e prever o desempenho de um secador solar tipo leito fixo sob condições de

temperatura do ar na entrada variando com o tempo. Todos os parâmetros envolvidos no modelo foram obtidos de dados experimentais sobre secadores solares. Resultados de ensaios numéricos realizados com o modelo apresentam uma boa concordância com resultados experimentais sobre secagem de pedaços de cenouras com formatos cilíndricos.

Algumas correlações baseadas no número de Dincer e o número de Biot; e número de Biot e o número de Reynolds, foram desenvolvidas recentemente por Dincer et al, (2002-a) e Dincer et al (2002-b) respectivamente para aplicações de secagem de sólidos nos formatos cilíndricos, esféricos e planos. Estas correlações podem ser usadas posteriormente para a determinação da difusividade mássica e o coeficiente de transferência de massa. Valores obtidos sob esta metodologia concordam bem com resultados experimentais.

Na região produtora de gesso do estado de Pernambuco, existem grandes, médias e pequenas empresas trabalhando na produção de pré-moldados de gesso, sendo a maioria delas é composta por pequenas empresas. O processo de secagem em placas de gesso comumente utilizado é a secagem ao ar livre, que leva até 72 horas, dependendo das condições climáticas da região e do período. Este processo de secagem além de lento não comporta nenhum controle de qualidade que permita, em última análise, obter produtos com características de fabricação homogêneas que aumentem o seu valor agregado.

Neste estudo foram investigadas as melhores condições de secagem dos produtos manufaturados de gesso tomando como base de estudo a secagem de placas pré-moldadas. Com esta finalidade foi construído um dispositivo experimental que consiste num túnel de vento de seção retangular, de 40 cm de lado e 6 m de comprimento, instrumentado com sensores de temperatura, umidade e vazão, e contendo dispositivos de controle que permitiram variar os diversos parâmetros envolvidos na secagem e, conseqüentemente, avaliar a sua influência no processo. Entre outros, será investigada a influência da temperatura e velocidade do ar no tempo de secagem, assim como a melhor distância necessária entre as placas. Os dados experimentais serão futuramente utilizados também para calibrar e validar os modelos matemáticos propostos, de forma a contar com uma ferramenta de análise rápida e eficiente. Objetiva também a transferência dos resultados desta pesquisa aos produtores da região, contribuindo dessa maneira para melhoria dos processos de secagem.

## **2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Os ensaios experimentais apresentados neste trabalho foram realizados em um túnel de vento construído com essa finalidade, onde as amostras foram placas de gesso preparadas em laboratório, a partir de uma mistura de gesso em pó e água, conforme a norma NBR 12128 (1991), a qual define a consistência normal da pasta de gesso. A proporção água e gesso utilizada, para fabricação das amostras foi de 1,5/2,75, de acordo com a norma recém citada. A pasta após estar pronta, foi despejada em um molde chamado de “régua”, comumente utilizado pelos gesseiros.

O dimensionamento das placas para os ensaios experimentais foi feito a partir da idéia que se tinha de placas comercialmente disponíveis como padrão do mercado e cujas dimensões de altura por largura são 60 x 60 cm com espessura não uniforme devido a seu formato construtivo. Verificase 3 regiões de espessuras diferentes 1, 2 e 3 cm na mesma placa, sendo um dos lados da placa liso e o outro tendo um aspecto de um quadro com nervuras ligando suas laterais. Assim, o valor da espessura para a placa teste foi escolhido com sendo o maior valor de espessura da placa comercial padrão, que seria teoricamente a região da placa comercial que levaria mais tempo para secar.

A placa a ser ensaiada foi colocada na seção de teste do túnel num arranjo que simule as condições encontradas nas indústrias do Araripe, no interior de Pernambuco, onde a secagem ocorre ao ar livre e é feita com um distanciamento fixo médio de 8 cm entre placas. Resolveu-se utilizar arranjos de placas maciças com dimensões de 40 x 40 cm e distâncias entre placas variando de 5, 7 e 10 cm conforme mostrado na Fig. (1).

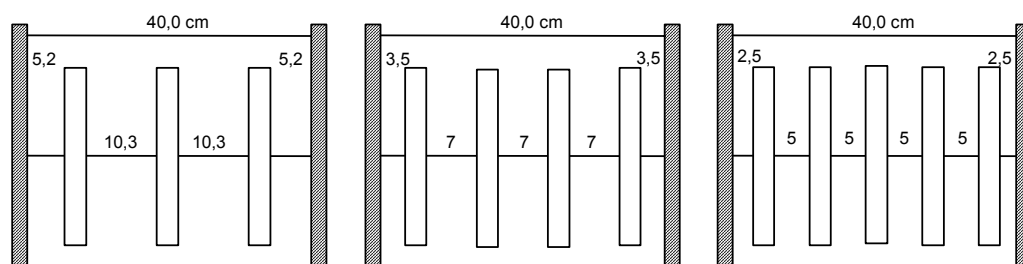


Figura 1. Arranjo das placas na seção de teste do túnel de vento.

Um dos aspectos do experimento é que apenas uma das placas foi monitorada. A placa monitorada teve duas hastes filetadas presas a uma base, que ficou em cima de uma balança de pesagem. As demais placas também receberam duas hastes filetadas, mas com a diferença de serem fixadas no corpo do túnel, de modo a ficarem rígidas em seu lugar.

O túnel de vento foi dimensionado de acordo com as normas ISO 5801 (1997). Para a confecção foi utilizada madeira do tipo compensado naval, com isolamento térmico de uma única parede em “Isopor”. O compensado naval foi escolhido devido a sua baixa higroscopicidade, isto é, a capacidade de absorver umidades, o que seria uma variável a menos a se preocupar. Uma outra preocupação foi diminuir a rugosidade dentro do túnel. Para isto, optou-se por revestir seu interior com “fórmica lisa” que além de dar um bom acabamento, acrescentou mais um elemento de isolamento térmico. A Fig. (2) mostra um esquema do protótipo construído no laboratório, indicando-se as diversas seções do túnel cujo comprimento total é de 6 m.

O escoamento de ar dentro do túnel foi obtido através de um ventilador de seis pás com diâmetro total de 375 mm acionado por um Motor de 1/20 CV com rotação de 1700 rpm. De acordo com as normas foi confeccionado um bocal de entrada do ventilador. Este bocal foi confeccionado em chapa de alumínio com 1 mm de espessura preparado para o diâmetro do ventilador e com dimensões externas de 40 x 40 cm

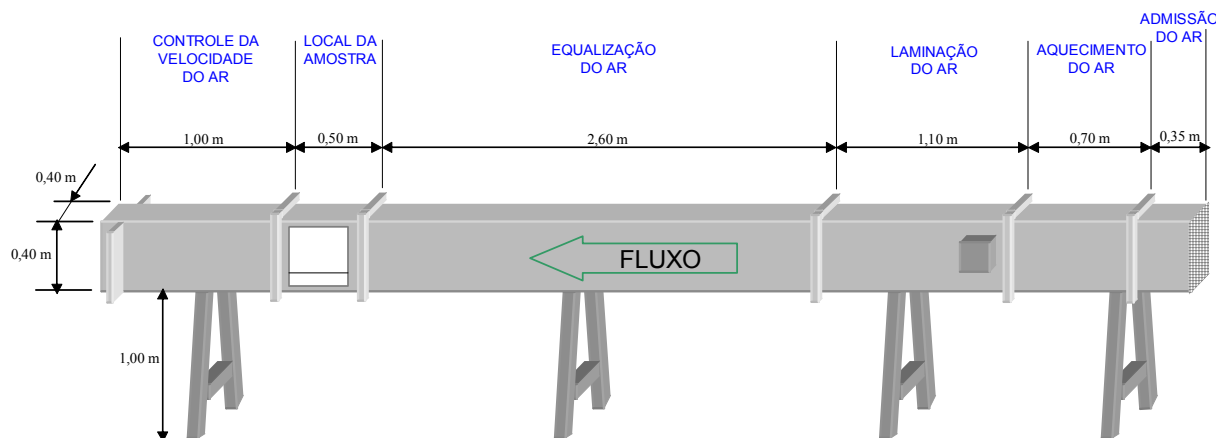


Figura 2. Esquema do túnel de vento e as diferentes seções.

Para o aquecimento do ar foi utilizado um conjunto de três resistências elétricas numa potência total de 8 kW, construídas em forma senoidal e aletadas. Estas são dispostas de forma alternada uma da outra, funcionando como chicanas de modo a aumentar a troca térmica. Por medidas de segurança, resolveu-se confeccionar a seção do túnel que contem as resistências em chapa de aço galvanizada. Na entrada do ar foi colocada uma grade de proteção, a fim de evitar acidentes ou a aspiração indesejada de elementos que possam causar danos ao sistema interno. Para a regulação da vazão de ar foi colocado um dumper logo após a grade de proteção. Na sequência foi colocado o motor-ventilador, fixo em uma base, em seguida as resistências elétricas e posteriormente um laminador.

Durante os ensaios foram medidas as temperaturas internas da placa de gesso, a temperatura e umidade do ar antes e depois das placas na seção de teste, velocidade do ar insuflado e o peso da placa de gesso a cada instante de tempo para monitorar a taxa de remoção de umidade.

Nas medições de temperatura da placa de gesso foram utilizados termopares revestidos tipo “T” (cobre-constantan) com diâmetro de 3 mm e comprimentos de 125 e 200 mm, e como elemento de ligação fios de compensação. Para as medições de temperatura e umidade relativa do ar no túnel, foram utilizados dois sensores tipo capacitivo, com saída de 4-20 mA, com comprimento de haste para leitura de 220 mm e diâmetro de 12,5 mm e como elemento de ligação fios de compensação. Para as medições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente no laboratório foi utilizado um higrotermógrafo digital portátil. Para as medições de peso foi utilizada uma balança digital e para as medições de velocidades, foi utilizado um anemômetro digital, com diâmetro das hélices de 25 mm. Os dados da balança e do higrotermógrafo foram capturados por uma câmera digital, em intervalos de 10 min, para posteriormente serem transcritos para uma planilha de cálculo.

O experimento foi concebido em função do teor de umidade inicial e final das placas, como também a movimentação da umidade durante o processo de secagem. Neste trabalho decidiu-se trabalhar com a umidade na base seca, que por definição é dada como a relação entre a diferença do peso da placa úmida e seca, dividida pelo peso da placa seca.

Foram consideradas no experimento, todas as variáveis que pudessem influenciar na umidade, tais como: a distancia entre as placas, umidade relativa do ar, temperatura do ar e pressão no túnel. Também foi decidido investigar o comportamento da temperatura no interior da placa visando a análise da transferência de calor e massa.

Para gerar um banco de dados que permitisse uma análise confiável do experimento, foi traçado o seguinte plano de experimentos: Variar a distancia entre placas, em 5, 7 e 10 cm, com o uso de 5, 4 e 3 placas respectivamente; Variar a temperatura de secagem, em 50, 65 e 80 °C; Variar a velocidade do ar nas placas, em 1 e 2 m/s.

Estas três condições foram permutadas entre si, perfazendo um total de 18 experimentos. Os dados foram capturados por um “Logger” e uma “Webcam” ambos ligados a um computador.

De posse dos dados, foram levantadas curvas para: Umidade da placa versus Tempo; Taxa de secagem versus Tempo; Temperatura interna da placa versus Tempo.

### 3. RESULTADOS

Existem quatro parâmetros que podem ser significativos para as análises de secagem. Estes são; a temperatura do ar que passa entre as placas de gesso, umidade relativa do ar que circula entre as placas, velocidade do ar com a variação da distância entre as placas.

O valor do peso da placa seca foi obtido estequiometricamente, a partir de informações encontradas em Peres et al (2001), que afirmam que a quantidade de água necessária à rehidratação do gesso é de cerca de 18% do peso do pó. Então, de acordo com as proporções de gesso em pó e água utilizada na confecção das placas, a placa seca terá um peso final de 6.490g, valor este considerado como base seca para os experimentos.

Os conteúdos de umidade na base seca são obtidos através da relação entre a quantidade de umidade da amostra em um determinado tempo e o peso da placa seca, através da eq. (1):

$$X(t) = \frac{P(t) - P_{bs}}{P_{bs}} \quad (1)$$

Onde  $P(t)$  é o peso da placa úmida em um dado tempo  $t$ , e  $P_{bs}$  é o peso da placa seca.

Os valores da taxa de secagem são obtidos através de diferenciação numérica da curva do conteúdo de umidade versus tempo, conforme a Eq. (2).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{X_{i+1} - X_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (2)$$

Na Fig. (3), são mostrados os resultados experimentais para a variação da umidade com o tempo, para diversas condições de temperatura do ar de secagem no túnel de vento. Observa-se que a queda da umidade foi mais suave com a temperatura do ar de 50°C, e que levou mais tempo para atingir a umidade desejada que foi estabelecida como sendo 2,6%. Nos experimentos, o menor tempo encontrado foi para a temperatura de 80°C, como era esperado. Na mesma figura, observa-se ainda que apesar da mesma diferença de temperatura do ar entre os experimentos, a curva correspondente à temperatura de 80°C é mais próxima da curva 65 °C, do que da curva de 50°C. Isto é um indicio de que o efeito do incremento na temperatura do ar não apresenta uma relação linear com o tempo de secagem.

A taxa de variação da umidade apresentada no gráfico da Fig. (4), foi obtida de uma forma aproximada, calculada pela relação entre as diferença de umidade sobre o intervalo de tempo correspondente, Eq. (2). No referido gráfico, onde são apresentadas as curvas da taxa de umidade, observa-se nitidamente a influência da temperatura sobre o tempo de secagem.

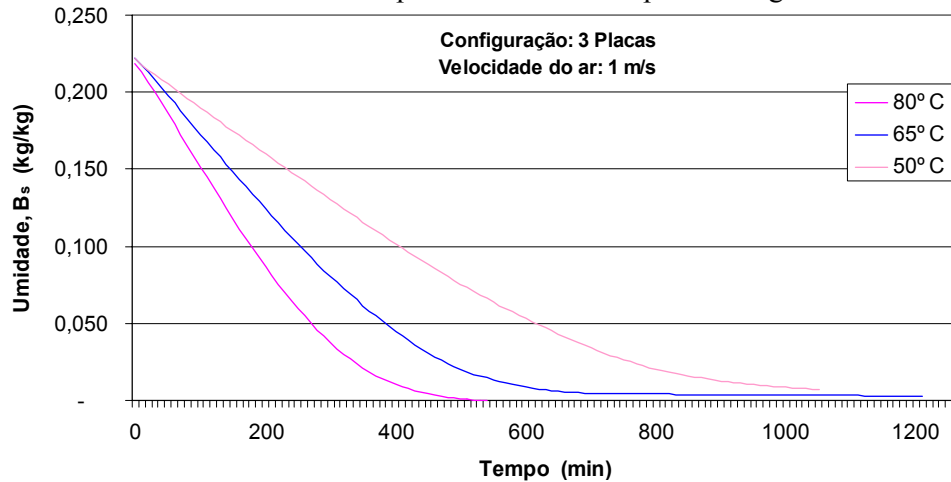


Figura 3. Variação da umidade pelo tempo de secagem.

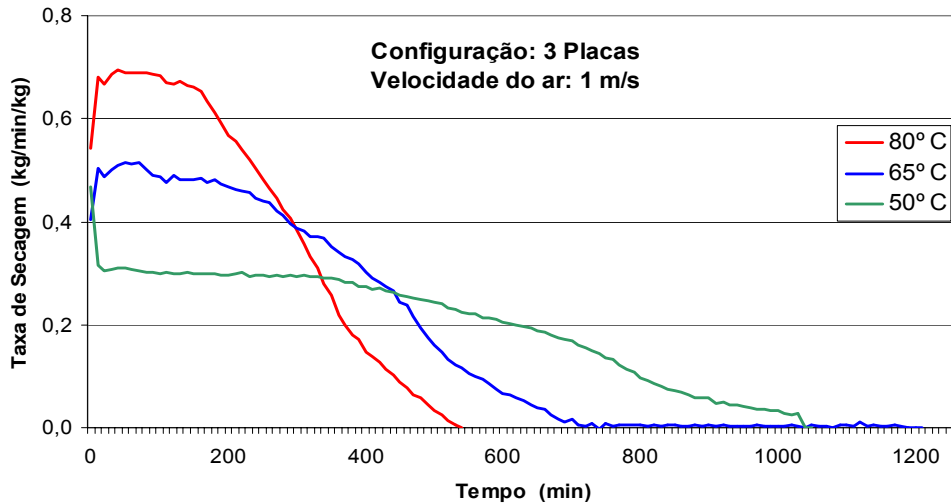


Figura 4. Taxa de secagem pelo tempo.

Curvas semelhantes são obtidas para configurações de 4 e 5 placas. Parametrizando estas informações, pode-se representar na Fig. (5), o efeito da temperatura sobre o tempo de secagem para três condições diferentes de distância entre placas. Portanto pode-se concluir, que a temperatura de secagem provoca um efeito considerável sobre o tempo de secagem.

Observando na mesma Fig. (5), que a distância entre placas (3, 4 e 5), não influencia significativamente o tempo de secagem. Acredita-se que a razão disto seja a pequena variação da velocidade de escoamento quando se altera a distância entre placas (10,3, 7,0 e 5,0 cm). Para uma distância entre placas de 10,3 cm a velocidade do ar é de 1,3 m/s, enquanto que para a distância de 5,0 e 7,0 cm as velocidades são de 1,60 e 1,43 m/s respectivamente. A curva da Fig. (6), mostra este efeito. Um outro dado importante foi observado nesta mesma figura, que há uma tendência de existir um espaçamento ótimo, uma vez que para a menor e maior distância os tempos são os mesmos, e para a distância intermediária, o tempo é menor. Mas observa-se que para a temperatura de 80° C existe uma pequena queda para a distância de 10,3 cm. Devido ao reduzido número de pontos experimentais em cada curva serão necessários estudos futuros para se fazer afirmações mais conclusivas.

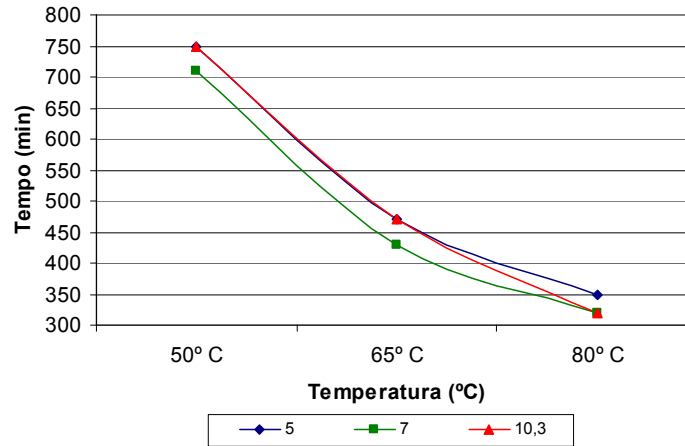


Figura 5. Efeito da Temperatura sobre o tempo de secagem.

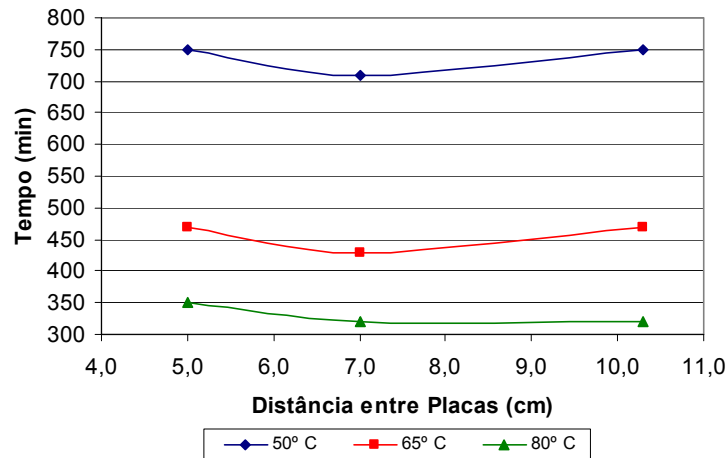


Figura 6. Efeito da distância entre placas sobre o tempo de secagem.

De modo a se poder simular o tempo de secagem, partiu-se da equação da taxa de secagem por unidade de área, dada pela Eq. (3). Nessa equação os dados de  $dX/dt$  foram os dados obtidos dos valores experimentais.

$$w_d = - \frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (3)$$

Onde,  $m_s$  é a massa seca de gesso,  $A$  é a área de secagem, e  $dX/dt$  é a taxa de secagem.

A integração da Eq. (3) permite calcular o tempo de secagem. De acordo com Strumillo et al, (1989) num processo de secagem há dois períodos distintos: O da taxa de secagem constante, e o da taxa variável. Para se calcular o tempo desse primeiro período usa-se a Eq. (4) que é o resultado da integração da Eq. (3).

$$t_I = \frac{m_s}{Aw_{d_1}}(X_I - X_{Cr}) \quad (4)$$

Onde,  $X_{Cr}$  é a umidade crítica, que indica o início da taxa variável, e  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio.

Para o tempo da taxa variável, adotou-se o modelo difusivo Perry et al (1973), Eq. (5), uma vez que o modelo capilar gerou resultados bastante discrepantes.

$$t_{II} = \frac{4d^2}{D_1\pi^2} \ln \left( \frac{X_{Cr} - X_{eq}}{X - X_{eq}} \right) \quad (5)$$

Onde,  $D_1$  é a difusividade média do gesso obtida dos dados experimentais, que foi obtida substituindo-se o valor da taxa de secagem da equação do modelo difusivo, pelos valores da umidade obtidos experimente.

A Tab. (1) abaixo, apresenta uma comparação entre valores numéricos e experimentais de tempos de secagem para um arranjo de três placas, para uma velocidade do ar de 1m/s, para três diferentes valores de temperatura. Nestes cálculos foram usados os valores da difusividade média, cujo valor foi de  $D_{ab} = 3,98 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , e a umidade de equilíbrio cujo valor foi de 0,026 kg de  $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$  da massa de gesso seco, que também foi obtida experimentalmente.

Tabela 1. Cálculos dos tempos de secagem.

Temperatura (°C)	Tempo de Secagem em horas			
	Integração da equação (3) para:			Experimental
	Taxa de Secagem Constante	Taxa de Secagem Variável	Total	
80	1,14	4,00	5,14	4,93
65	1,56	4,90	6,46	6,91
50	2,62	7,55	10,19	11,08

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho constituem uma contribuição ao conhecimento sobre os parâmetros relevantes que influenciam o processo de secagem de placas de gesso.

Nas secagens realizadas foi possível observar que as curvas de secagem e da taxa de secagem, apresentam características similares com as obtidas na literatura, muito embora essa seja uma comparação qualitativa, uma vez que não se encontrou bibliografia com dados sobre a secagem de placas de gesso.

Dos resultados obtidos verifica-se que o aumento de temperatura do ar de secagem provoca uma diminuição no tempo de secagem. Conclui-se também que não existe uma relação linear entre o



tempo de secagem e temperatura do ar, isto é, o aumento excessivo da temperatura não provoca reduções do tempo de secagem na mesma proporção.

A variação da distancia entre placas tem pouco efeito sobre o tempo de secagem.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Pró-reitoria de pesquisa da UFPE, e a Financiadora de estudos e projetos – FINEP, pelo apoio financeiro a através do fundo setorial CTInfra, sem o qual este trabalho não teria sido possível. Agradecem também a Tecnóloga do Instituto Tecnológico de Pernambuco, Katarzyna Michalewicz, pelas informações técnicas sobre o gesso.

## 6. REFERÊNCIAS

- Dincer, I., Hussain, M.M., Sahin, A.Z., and Yilbas, B.S, 2002-a, “Development of a new moisture transfer (Bi-Re) correlation for food drying applications”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45, pp. 1749–1755
- Dincer, I., and Hussain, M.M., 2002-b, “Development of a new Bi-Di correlation for solids drying”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45, pp. 3065–3069.
- El-Sebaei, Aboul-Enein, S., Ramadan, M.R.I., and El-Gohary, H.G., 2002-a, “Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer”, *Energy Conversion and Management* 43, pp. 2251–2266
- El-Sebaei, Aboul-Enein, S., Ramadan, M.R.I., and El-Gohary, H.G., 2002-b, “Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables”, *Energy* 27, pp. 845–859
- Glouannec, L.D., and Noel, H., 2002, “Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material”, *Applied Thermal Engineering* 22, pp.1689–1703
- Jankowsky, I.P., and Dugatti, M. A., 2001, “Operational conditions of convencional kiln drying at wooden industries in tietê-SP”, *Scientia Florestalis*, nº 59, pp.101-103.
- ISO 5801, 1997, “Industrial fans-performance testing using standardized airways”, first edition.
- Keey, R.B., 1978, “Drying: Principles and Practice”, Pergamon Press, 350p.
- Leon, A.M., Kumar, S., and Bhattacharya, S.C., 2002, “A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, pp.367–393
- Mendes, L.M., Silva, J.R.M., Lima, J.T., Trugilho P.F., e Rezende, E.C., 1996, “Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para compra de madeira serrada”, *Cien. e Prat., UFL, boletim técnico* nº 21, 30p.
- Moreira, R.G., 2002, “Unit operation in food processing”, chapter 7, available in [baen.tamu.edu/users/moreira/bsen474.html](http://baen.tamu.edu/users/moreira/bsen474.html).
- NBR 12128, ABNT, 1991, “Gesso para construção-determinação das propriedades físicas da pasta”, first edition.
- Peres, L., Benachour, M., e Santos, V.A., 2001, “O gesso: produção e utilização na construção civil”, editora bargação, 156p.
- Perry, R.H., and Chilton, C.H., 1973, “Chemical Engineers' Handbook”, Fifth Edition, McGraw-Hill, Section 20, pp 44-45.
- Ratti, C., and Mujundar, A.S., 1997, “Solar drying of foods: modeling and numerical simulation”, *Solar Energy*, v. 60, n. 3-4, pp.151-157.
- Sahin, A.Z., and Dincer I., 2000, “Graphical determination of drying process and moisture transfer parameters for solids drying”, *Intern. Journal of Heat and Mass Transfer* 45, pp.3267–3273.
- Silva, J. S., 2000, “Secagem e armazenamento de produtos agrícolas”, ed. aprenda fácil, Viçosa-MG, 210p.
- Strumillo, C., and Kudra, T., 1989, “Drying: Principles, Applications and Design”, Gordon and Breach Sciences Publishers, 429p.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

### **PLASTER PROCESS DRYING EXPERIMENTAL ANALYSES: A PARAMETRIC STUDY**

**Jacek S. Michalewicz**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [jacek.ufpe@bol.com.br](mailto:jacek.ufpe@bol.com.br)

**José Carlos Charamba Dutra**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [charamba@ufpe.br](mailto:charamba@ufpe.br)

**Jorge R Henríquez**

Depto. de Eng. Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, Recife-PE, Brasil, Fax: 55-81-2126-8232, [rjorgeh@demec.ufpe.br](mailto:rjorgeh@demec.ufpe.br)

**Kamal A. R. Ismail**

Depto de Engenharia. Térmica e Fluidos - FEM - Unicamp – Cid. Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas-SP, Brasil, Fax: 55-19-32893722, [kamal@fem.unicamp.br](mailto:kamal@fem.unicamp.br)

**Abstract.:** *The majority of the crude gypsum reserves of Brazil are located in the State of Pernambuco, in the northeast region of the country. In an attempt to cooperate with the development of the plaster sector of that region, the UFPE is developing a research program focused on gypsum technology. A drying section was planned and built, with the purpose of test the drying process of plain plaster plates. The drying section is composed by a tunnel (6 meter long) of square shaped section, where up to five commercial gypsum plates can be tested. The air flow is heated by electric resistors. Data of temperature, humidity and pressure are provided by probes spread in the whole length of the dryer. The equipments are monitored by the use of a Labview system. The temperature is also measured in the core of the frame, through thermocouples. The obtained experimental data were compared with mathematical models, providing important information for the improvement of the drying process. The space between the plaster plates was also studied, taking account its effect on the heat and mass transfer of the process. A comparison between experimental data and the available data from industrial processes are discussed.*

**Keywords:** *Drying, Plaster plates, Moisture contents, Mass and heat transfer, Drying rate.*