

SECAGEM DE MONOAMÔNIO FOSFATO EM LEITO PULSOFLUIDIZADO E SECADOR DE BANDEJAS

Luísa Rodrigues Molina Dona¹; André Luís de Campos Covello²; Marcello Nitz³

¹Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

²Aluno de Mestrado da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

³Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O presente trabalho estuda e compara a operação de secagem de fertilizante Monoamônio Fosfato (MAP) realizada em secador de bandejas e em leito pulso fluidizado. No secador de bandejas, observou-se que a secagem é inicialmente controlada pelas condições externas até umidade de aproximadamente 1,5%. A partir desse valor de umidade, a secagem passa a ser com taxa decrescente, controlada pela difusão. O efeito da temperatura na taxa de secagem mostrou-se bastante acentuado no secador de bandejas. No caso da pulsofluidização, as curvas de secagem obtidas não permitem verificar influências da frequência de pulsação do leito (250 a 850 rpm), da temperatura (100 a 120 °C) e da vazão do ar (371 a 400 Nm³·h⁻¹). As metodologias de determinação de umidade e de amostragem do material no leito pulsofluidizado devem ser aprimoradas e novo conjunto de ensaios deve ser realizado.*

Introdução

Fertilizantes são utilizados no cultivo de plantas, como forma de compensação da falta de nutrientes no solo. São misturas dos macronutrientes primários Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K). Sua forma sólida esfarelada ou granulada é predominantemente usada no Brasil em composições NPK (Fonte: Embrapa Cerrados).

Em sua fabricação, os fertilizantes precisam ser submetidos à secagem para retirada do excesso de umidade para fins de transporte e manuseio. Sendo a secagem um processo oneroso em que o consumo energético é elevado, estudos são feitos com o intuito de encontrar as melhores condições de secagem para dado material sem que, contudo, se perca a qualidade e características comerciais e/ou especificadas do produto.

A secagem em leitos fluidizados pulsantes vem sendo estudada como alternativa a processos convencionais. Dentre as vantagens da pulsofluidização, pode-se citar menor perda de carga, menor consumo de ar e a possibilidade de secagem de partículas coesivas, além de evitar formação de canais preferenciais (Gawrzynski, 2002; Mujundar, 1998). Um esquema de secador de leito pulsofluidizado (LPF) com redirecionamento da corrente gasosa é apresentado na Figura 1. A pulsação obtida pelo direcionamento alternado da corrente gasosa é promovida por um disco rotatório com ângulo de abertura igual a $360^\circ / n$, em que n é o número de seções do leito (Nitz, 2006). Essa pulsação decorre da variação de velocidade instantânea do gás que atinge o leito de partículas, de um mínimo a um máximo (Gawrzynski, 1996). Uma das vantagens desse método é que, quando as partículas são submetidas a velocidades variáveis, evita-se a formação de canais preferenciais e aglomerados, tornando o leito mais homogêneo devido à estrutura uniforme obtida com velocidades mais baixas do ar associada com a vibração das partículas, não pela vibração de toda estrutura (Kudra, 2002; Gawrzynski *et al.*, 1996). Isso faz com que as partículas sofram menos fragmentação, uma vez que têm menor velocidade umas em relação às outras (Borodulya, 1986).

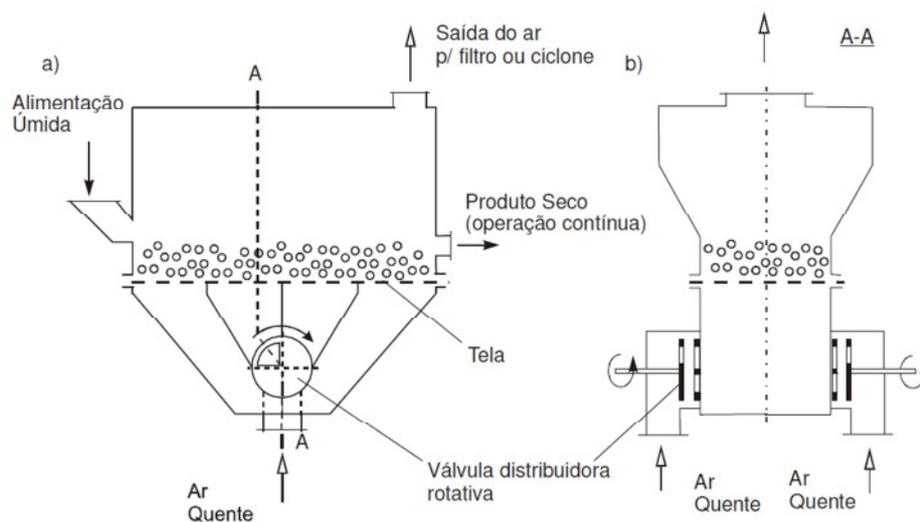


Figura 1 – Representação secador PFB canadense com 4 seções de pulsofluidização.

A secagem com fluidização em regime pulsante das partículas promove altas taxas de transferência de massa e energia entre as fases sólida e gasosa e entre as próprias partículas na fase sólida através de suas superfícies (Taranto *et al.*, 2007).

Baixas frequências de pulsação promovem maior transferência de calor entre as partículas. Isso se deve ao fato de que há maior fluxo de ar quente em cada seção do leito a cada rotação do disco (Borodulya, 1986).

O objetivo deste trabalho é estudar e comparar as cinéticas da secagem de fertilizante MAP (Fosfato Monoamônico) em secador de bandejas e em leito fluidizado pulsante, verificando a influência da temperatura e da vazão de ar no processo.

Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados com Fosfato Monoamônico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), fertilizante granulado NPK cedido pela Vale Fertilizantes S.A., complexo industrial de Piaçaguera, localizado em Cubatão, São Paulo, Brasil.

O Fosfato Monoamônico se trata de um sólido branco de pH alcalino muito solúvel em água e higroscópico. É um produto estável, porém libera gases tóxicos quando aquecido. Confere ao solo uma elevada concentração de nitrogênio e fósforo podendo ocasionar eutrofização de cursos d'água.

Foram utilizados dois sistemas de secagem com finalidade de comparação. Ambos os secadores estão disponíveis no Laboratório de Engenharia Química da Escola de Engenharia Mauá e são descritos a seguir.

Secador em leito pulsofluidizado

O leito utilizado (Figura 2) tem seção retangular, paredes de aço inoxidável, visores de vidro temperado e o redirecionamento da corrente gasosa pelas laterais é feito por meio da rotação do disco semiaberto por um motor de indução trifásico localizado abaixo deste, controlado por inversor de frequência WEG - modelo CFW 08 com capacidade de 850 rpm. Para acomodação do material fez-se uso de uma tela de $0,18 \text{ m}^2$ com abertura de lado aproximadamente igual a $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. O acionamento do leito é realizado por meio de um quadro elétrico, em que é possível controlar a temperatura do ar de secagem e o funcionamento do soprador.



Figura 2 – Vista do leito pulsofluidizado.

A propulsão do ar é realizada por soprador de ar tipo Siroco com motor de 5 CV – com válvula borboleta para regulagem da vazão de ar à jusante do soprador. A vazão de ar é medida por um sistema deprimógeno — placa de orifício — localizada entre flanges. O diâmetro interno da tubulação em que se encontra instalada a placa é $D=3,3 \times 10^{-1}$ m, o diâmetro externo da placa é $D=1,0226 \times 10^{-1}$ m e o diâmetro do orifício a 20°C é $d=7,494 \times 10^{-2}$ m, sendo medidas as quedas de pressão por manômetros diferenciais tipo U usando água como fluido manométrico. O sistema de aquecimento do ar consiste em 10 resistências elétricas com potência total instalada de 10 kW. O secador possui os seguintes limites operacionais: 120°C , 850 rpm, $400,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Secador de bandejas

O secador de bandejas da marca Armfield Tray Drier — representado na Figura 3 — apresenta seção transversal retangular e chapa metálica de espessura 1×10^{-3} m. Apresenta dimensões de $2,95 \times 0,73 \times 1,40$ m e medidas internas iguais a $(3,00 \times 3,00 \times 4,00) \times 10^{-1}$ m. O soprador de ar consiste em um motor de 200/220V, 1,0 A, 125 W e 3000 rpm. A velocidade máxima do ar no centro da saída chega a $(2,4 \pm 1,0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

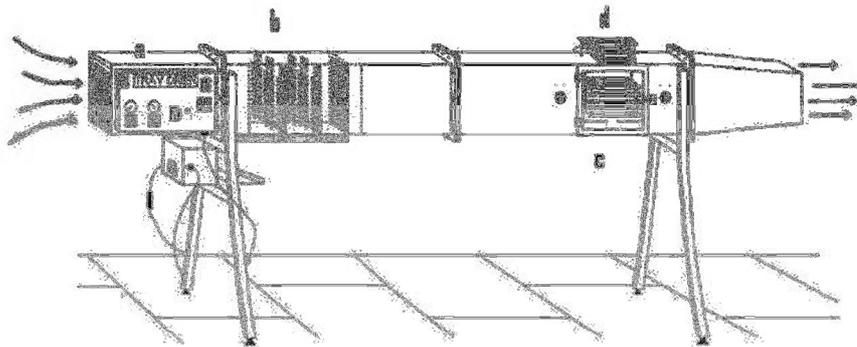


Figura 3 – Representação do secador de bandejas.

Para o controle da temperatura do ar foram utilizados um painel de controle por potenciômetro (a) e nove resistências (b), sendo duas de 1000 W e sete resistências de 500 W localizadas à jusante da entrada de ar, dispostas em conjuntos de três em três. Essas são seguidas de uma tela com função de melhorar a distribuição do ar. A capacidade do suporte das bandejas disposto sobre balança digital (d) está em torno de 3 kg de sólidos úmidos. Há uma abertura lateral de vidro temperado (c) para acesso ao suporte de até 4 bandejas.

Preparação da amostra

O material recebido da Vale Fertilizantes foi seco em estufa por tempo superior a dois dias com temperatura entre 105-115°C em bandeja de alumínio. A umidificação do material, com teor estimado em 3,5% ± 0,1% b.u. (base úmida), foi feita por meio de aspersão de água destilada e deixado em repouso por uma hora para melhor distribuição interna da umidade para utilização nos experimentos.

Secagem em leito pulsofluidizado (LPF)

O ensaio iniciou-se com a introdução das partículas úmidas por meio da abertura frontal no leito desligado e pré-aquecido, em quantidade limitada em 2,0 kg distribuídos nas quatro seções do leito. Amostras em intervalos de tempo predeterminados são retiradas por coletor pela parte superior do leito, considerando menor intervalo no início, dada a rápida perda de umidade determinada por condições externas no contato fluido-partícula. As amostras permaneceram em potes vedados até o término do procedimento para então serem colocadas na estufa. Foram anotados dados de temperatura do ar antes e depois do leito, a pressão absoluta e a pressão diferencial da placa de orifício para determinação da vazão e temperaturas de bulbo úmido e seco. A pulsação foi mantida constante, sendo determinada apenas no início do ensaio (Tabela 1).

Tabela 1 – Condições ensaiadas em leito pulsofluidizado.

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	100	120
Frequência de Pulsação (rpm)	250	850
Vazão (Nm ³ ·h ⁻¹)	371	400

Secagem em secador de bandejas

O ensaio iniciou-se com a introdução das partículas no secador desligado e pré-aquecido em quantidade limitada em 500·10⁻³ kg, que corresponde a uma única seção do leito pulso fluidizado em regime não pulsante. O material úmido foi distribuído em um conjunto de três bandejas e o suporte foi suspenso por balança digital que fazia leituras em tempo real da perda de massa de água durante a secagem. Foi feita coleta de temperaturas de bulbo úmido e seco do ar atmosférico e a variação da massa durante a secagem (Tabela 2).

Tabela 2 – Condições ensaiadas em secador de bandejas.

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	85	135
Velocidade superficial do ar (m·s ⁻¹)	1,2	2,5

Determinação de umidade

A determinação de umidade foi feita por método gravimétrico estático — secagem em estufa até massa constante. As amostras permaneceram durante cerca de 24 h em estufa a 105 °C.

Resultados e Discussão

A Figura 4 ilustra as curvas de secagem em leito pulsofluidizado em três diferentes frequências de pulsação, a 120°C e 400 Nm³·h⁻¹. A dispersão dos pontos é uma evidência de falta de homogeneidade no leito, o que impossibilita tirar conclusões sobre a influência da frequência de pulsação na taxa de secagem. Como as partículas de fertilizante apresentam falta de uniformidade quando não há seleção granulométrica, há separação e acomodação seletiva das partículas por tamanho com a movimentação e trepidação do leito, o que pode

comprometer a homogeneidade da secagem. Além disso, o atrito partícula-partícula pode provocar a fragmentação dos grãos durante a operação.

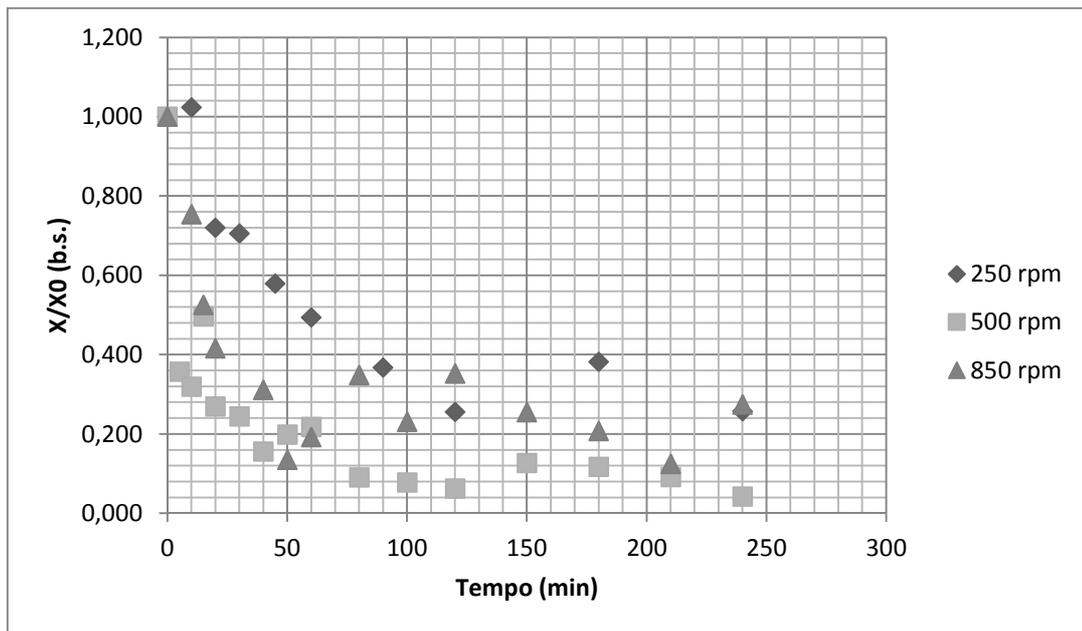


Figura 4 – Curvas de secagem em LPF para três diferentes frequências de pulsação sob 120 °C e vazão 400,4 Nm³.h⁻¹.

Nos ensaios da Figura 5 procurou-se verificar a influência da temperatura na taxa de secagem em leito pulsofluidizado. Observa-se uma taxa de secagem ligeiramente maior na temperatura de 120 °C em comparação à temperatura de 100 °C, mas novamente a falta de homogeneidade do leito e a rapidez com que ocorre a secagem dificultam a análise dos resultados.

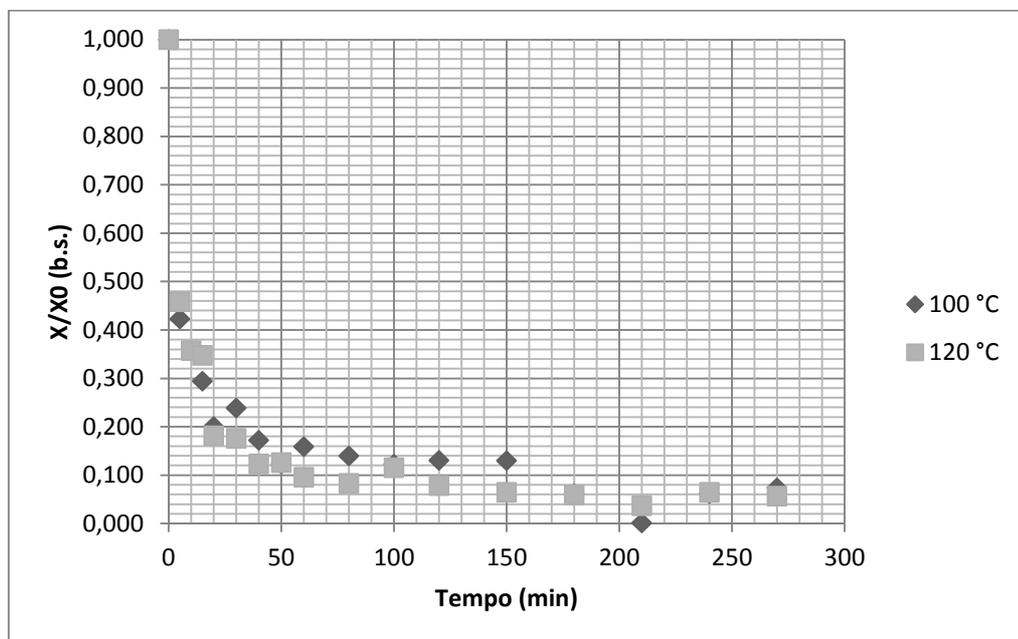


Figura 5 – Curvas de secagem em LPF para duas diferentes temperaturas com vazão de 370,9 Nm³.h⁻¹ e 500 rpm.

Nos ensaios apresentados na Figura 6, o objetivo foi verificar a influência da vazão do ar na taxa de secagem, mantidas a mesma temperatura e frequência de pulsação do leito. Observa-se que as curvas são praticamente sobrepostas, o que não permite verificar alguma influência da vazão de ar na taxa de secagem.

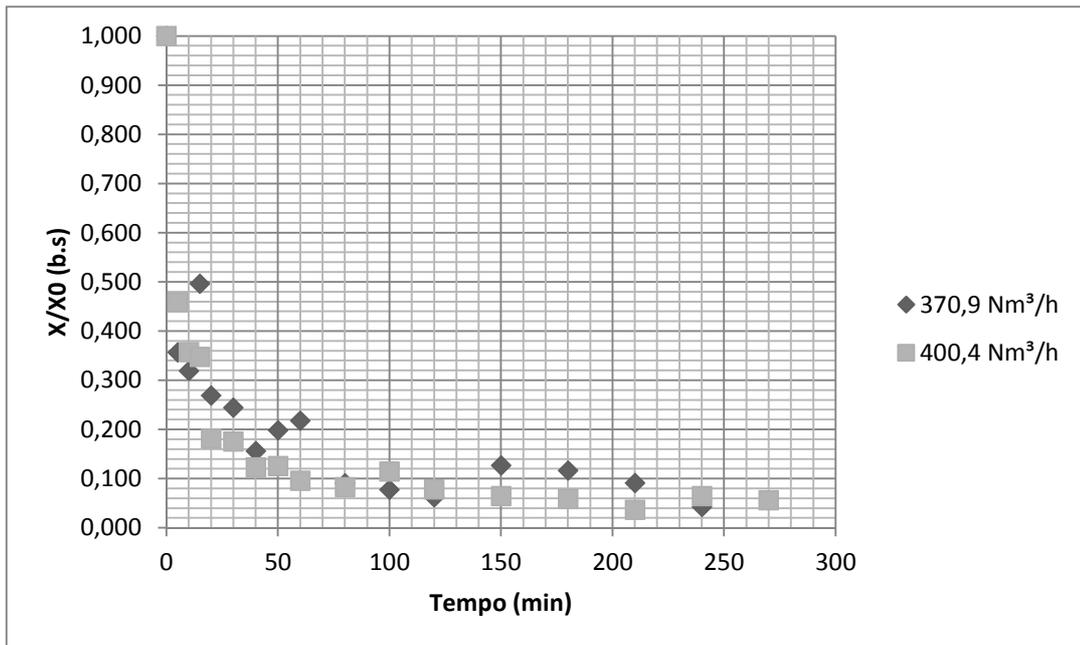


Figura 6 – Curvas de secagem em LPF duas diferentes vazões de ar sob 120 °C e 500 rpm.

A secagem em secador de bandejas é apresentada nas Figuras 7 e 8. Observam-se curvas de secagem muito mais bem delineadas do que no leito móvel, como era de se esperar. A influência da temperatura na taxa de secagem é bastante evidente nas Figuras 7 e 8, obtidas com diferentes velocidades superficiais do ar. Na Figura 7, para ambas as temperaturas, uma taxa de secagem constante é observada no início, denotando secagem limitada por condições externas à partícula (convecção). Segue-se uma etapa de taxa decrescente, quando a superfície da partícula já está em equilíbrio com o ar (difusão), a partir da umidade 1,5% aproximadamente.

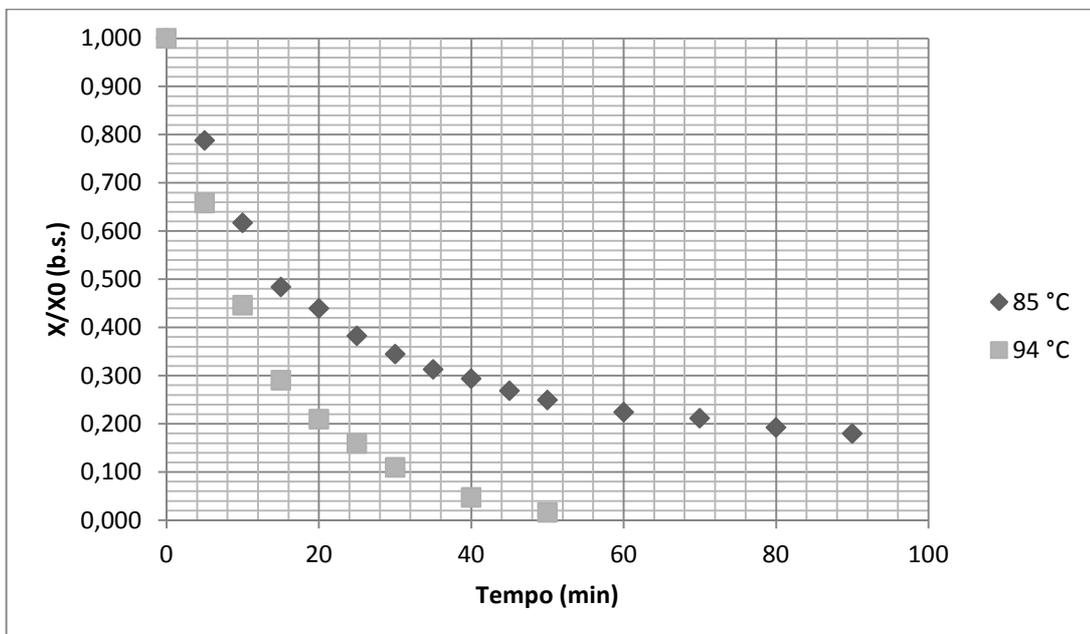


Figura 7 – Curvas de secagem em bandejas em duas diferentes temperaturas e com velocidade do ar de $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Na Figura 8, é interessante observar que a 135 °C a umidade não atinge zero. Observou-se nesse ensaio muita liberação de finos, o que prejudica a análise dos resultados, pois a perda de material sólido não pode ser contabilizada como perda de umidade.

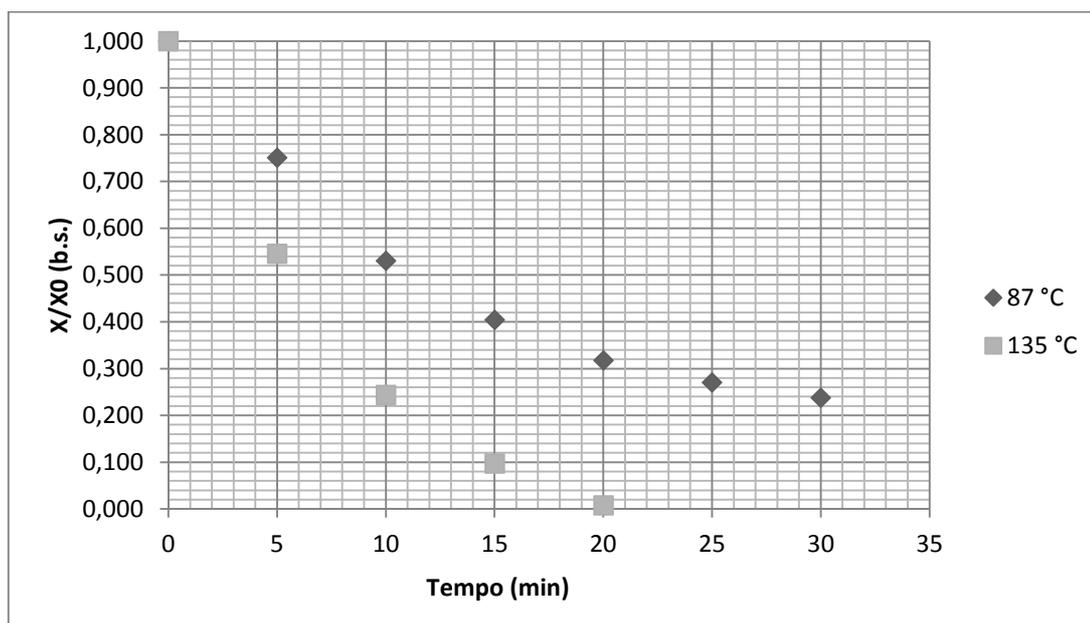


Figura 8 – Curvas de secagem em bandejas em duas diferentes temperaturas e com velocidade do ar de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Verificou-se que a perda de finos constatada no processo de secagem em bandeja também ocorre no processo de determinação de umidade em estufa. Essa ocorrência afeta a precisão dos resultados. Constatado isso, uma adaptação está sendo testada para o método de determinação de umidade, que consiste na colocação de uma folha de papel higiênico na boca do pesa-filtro. Esse método apresentou até então menor dispersão nos resultados de determinação de umidade. Uma vez desenvolvida a metodologia, ensaios serão refeitos.

Conclusões

O estudo mostrou que os grânulos de MAP seguem uma cinética de secagem com taxa inicial constante até a umidade de 1,5%, verificada no secador de bandejas — leito estático. Abaixo desse valor, a secagem passa a ser controlada pelas condições internas, ou seja, pela difusão. No secador de bandejas foi possível constatar a influência da temperatura na velocidade de secagem. A falta de homogeneidade do material e problemas na metodologia de determinação da umidade dificultaram a análise do processo em leito pulsofluidizado, pois a dispersão dos pontos foi muito grande.

Referências Bibliográficas

- Ambrosio, M.C.B.; Taranto, O.P. (2002) The Drying of Solids in a Modified Fluidized Bed. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **19**.
- Arruda, E.B. (2008) Comparação do Desempenho do Secador Roto-Fluidizado com o Secador Rotatório Convencional: Secagem de Fertilizantes. Tese de Pós-Graduação: Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- Borodulya, V.A.; Efremtsev, V.S.; Tsedik, V.A. (1986). Drying Thermolabile Dispersion Materials in Pulsed Bed Apparatus. Heat and Mass Transfer Institute, BSSR Academy of Sciences, Minsk, USSR.

- Gawrzynski, Z.; Glaser, R. (1996). Drying in a Pulsed-Fluid Bed with Relocated Gas Stream. Department of Process Equipment and Engineering, Academy of Economics, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wroclaw, Poland.
- Kobayashi, T.; Mukai, T.; Kawaguchi, T.; Tanak, T.; Tsuji, Y.. DEM Analysis on Flow Patterns of Geldart's Group A Particles in Fluidized Bed. Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Japan.
- Moraes Neto, S. P. (2010) Fertilizantes e algumas reações no solo junto com corretivo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.
- Nitz, M. (2006) Fluidodinâmica, Secagem e Recobrimento em Leito Pulso-Fluidizado. Tese de Doutorado: Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Termofluidodinâmica.
- Putra, B.P. (2008) Introduction to Particle Technology. Editor Martin Rhodes, Monash University, Australia. 2ª edição.
- Haas, R.A.; Schulz, E.; Silva, M.D.V.; Stein, T.S. Medições de pressão em duto com placa de orifício. Universidade federal do rio grande do sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Energia e Fenômenos de Transporte.
- Silva, R.S. (2010) Procedimento do Sistema Integrado de Gestão. Unidade de Fertilizantes MAP/DAP.