



Revisão bibliográfica sobre secagem de pasta em leito fluidizado

LITERATURE REVIEW ON FLUIDIZED BED PASTE DRYING

Willian Eduardo Barbosa de Jesus*, Maria Regina Parise†,

Virgínia Sescatto Gusso ‡,

RESUMO

Leito fluidizado é amplamente utilizado para fins de secagem de sólidos, suspensões, polpas e pastas nas mais diversas indústrias, não somente por causa da sua grande capacidade, mas também por apresentar baixo custo de construção, fácil operação e altas taxas de transferência de calor e de massa entre os sólidos e o gás, o que resulta em um menor tempo de secagem. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o processo de secagem de pasta em leito fluidizado. Como resultados os autores verificaram que o aumento na velocidade ou temperatura do ar de secagem ocorre uma redução no tempo para que o sistema alcance o regime permanente, além disso, com o incremento da concentração de sólidos ocasiona maiores dificuldades na fluidização, favorecendo assim a formação de aglomerados. Também se observou que as partículas inertes com maior diâmetro apresentam um melhor desempenho durante a evaporação. Sabendo disso, o atual levantamento bibliográfico será utilizado posteriormente para otimizar o processo de secagem de pasta a fim de melhorar sua eficiência.

Palavras-chave: leito fluidizado gás-sólido, secagem de pasta, suspensão diluída.

ABSTRACT

Fluidized bed is widely used for drying solids, suspensions, pulps and pastes in the most diverse industries, not only because of its large capacity, but also due to its low construction cost, easy operation and high heat and mass transfer rates between solids and gas, which results in a shorter drying time. In this sense, the present work aimed to carry out a literature review on the drying of paste in fluidized bed. As a result, the authors found that the increase in the velocity or air temperature, there is a reduction in the time for the system to reach the steady state, in addition, with the increase in the concentration of solids, it causes greater difficulties in fluidization, thus favoring the formation of clusters. It was also observed that inert particles with a larger diameter have a better performance during evaporation. Knowing that, the current literature survey will be used later to optimize the paste drying process in order to improve its efficiency.

Keywords: gas-solid fluidized bed, paste drying, dilute suspension.

1 INTRODUÇÃO

No ramo industrial a aplicação do leito fluidizado depende da finalidade do processo a ser utilizado, indo desde a secagem de grãos de um cereal até o craqueamento catalítico de frações pesadas de petróleo, este último foi o caso mais conhecido que levou ao desenvolvimento da técnica de fluidização em 1940 (PEÇANHA, 2014, p.229). Na área de secagem, os secadores de leito fluidizado podem ser empregados com sucesso e eficiência para a secagem de materiais particulados úmidos desde que o leito possa ser mantido em condições fluidizadas durante o processo. Dependendo do material escolhido e de outras características desejadas, os secadores de leito fluidizado podem ter diferentes classificações, como por exemplo o secador de leito fluidizado que será utilizado neste presente trabalho (GUPTA & SATHIYAMOORTHY, 1999, p.27).

* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; willianjesus@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa; parise@professores.utfpr.edu.br

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; virginiagusso@alunos.utfpr.edu.br



1.1 Fluidização

A fluidização é o fenômeno que atribui as propriedades de um fluido a um leito de partículas sólidas, passando um fluido através deste a uma velocidade que traz o leito fixo ao seu estado mais dispersado (GUPTA & SATHIYAMOORTHY, 1999, p.29). A eficiência na sua utilização depende de alguns fatores relacionados às propriedades das partículas, do fluido e do sistema. Um desses fatores se dá pela velocidade do fluido ascendente que envolve as partículas a serem trabalhadas, na técnica de leito fluidizado existem os chamados regimes de fluidização que variam em função da velocidade do fluido (NITZ & GUARDANI, 2008, p.2).

1.2 Secagem

A secagem é comumente descrita como o processo de remoção térmica de substâncias voláteis (umidade) dos mais variados produtos com o intuito de produzir um produto seco, seja esse industrializado ou não, afim de garantir uma melhor conservação no armazenamento (AMBROSIO (1999, p.6); AMBROSIO & TARANTO (2004, p.1)).

Os processos de secagem modernos e bem projetados vêm sendo cada vez mais implementados em escalas industriais, sua aplicabilidade pode variar desde produtos químicos e farmacêuticos até a secagem de carvão e minerais, pois possui uma alta eficiência térmica. (STRUMILLO & KUDRA, 1986, p.69). Quando um sólido úmido é submetido a uma secagem térmica, ocorre a transferência de calor e de massa no interior do sólido e na camada limite do agente de secagem, o qual é responsável pelo arraste da umidade evaporada. A secagem de pós e produtos granulares úmidos utilizando a fluidização com ar quente é usada industrialmente desde 1948, e atualmente é comum o seu uso aplicado na secagem de fertilizantes, areia, produtos farmacêuticos, e vários outros produtos industrializados de difícil fluidização ou que estejam sujeitos a formação de caminhos preferenciais do gás e *slugging* (AMBROSIO (1999, p.6); AMBROSIO & TARANTO (2004, p.1); MUJUMDAR (2006, p.18); PARISE (2007, p.19))

1.3 Secagem em Leito Fluidizado

Há algumas condições de operação que influenciam diretamente na qualidade do produto seco, como: a velocidade do gás, a qual domina o comportamento dos leitos fluidizados, a temperatura de entrada e saída do gás bem como a temperatura de alimentação, e também, os parâmetros de ativação e desligamento. A secagem em leito fluidizado mantém uma alta eficiência em baixas velocidades de fluidização, o que reduz o tempo de secagem e a energia utilizada no processo (DINCER & ROSEN, 2007, p.112).

1.4 Secagem de Pasta

A secagem de pastas é considerada uma operação extremamente complexa devido à grande abundância de tipos de pasta, por suas características diversas e por essas alterarem durante o processo. A pasta pode ser definida como o sistema sólido-líquido composto de partículas microscópicas, ou de partículas coloidais, dispersas em uma fase líquida (MEILI, 2009, p.30). Como exemplo de pastas pode-se citar: precipitados, pastas de amido, maionese, leite de cal, $Al(OH)_3$ em água, açúcar em água, entre outros.

Para escolher a técnica mais eficaz é necessário avaliar as características do material a ser seco e o produto final que se deseja alcançar, pois cada tipo de pasta exige um estudo distinto para a determinação do método de secagem mais apropriado. Os mecanismos presentes na secagem de materiais pastosos são a difusão (ou

condução) por onde o calor é transferido das partículas inertes, já aquecidas, para a pasta depositada sobre os mesmos no processo de atomização e a convecção ocorre pelo gás corrente de fluidização aquecido que atravessa o leito secando a camada envolvida nas partículas inertes. Com o passar do tempo o material depositado nas partículas inertes atinge o nível crítico, tornando a camada frágil, fazendo com que quando se choquem entre elas ou contra a parede do leito se esfurem, o pó seco então é recolhido por um separador gás-sólido, como por exemplo, um ciclone (SILVA, 2016, p.26).

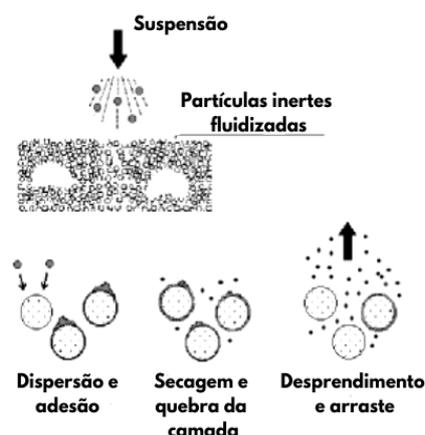
2 MÉTODOS

Este trabalho teria como objetivo avaliar a frequência de pulsação e altura do leito na secagem em leito fluidizado, seria realizada toda a parte experimental no Laboratório de Sistemas Particulados da UTFPR- PG, mas devido à pandemia e o espaço físico do mesmo não foi possível a utilização desse ambiente. Nesse sentido foi realizada uma revisão bibliográfica sobre secagem de pasta em leito fluidizado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Grbavcic et al (2004) citaram que a secagem de pastas em leito fluidizado utilizando partículas inertes (por exemplo, esferas de vidro ou teflon) é dividida por três etapas: dispersão e adesão, secagem e quebra da camada e desprendimento e arraste. A Figura 1 mostra que a suspensão carregada dá forma às películas que aderem à superfície das partículas inertes, e por consequência da grande área da superfície dessas partículas e da intensa fluidificação, a umidade é removida em segundos. Os sólidos que permaneceram sobre a superfície das partículas inertes acabam se soltando pela flicção e colisão das mesmas. Por fim, o pó do produto é transportado do leito com o ar de exaustão, e no caso de alimentação de pastas densas, os agregados úmidos da pasta fluidificam juntamente com as partículas inertes (GRBAVCIC et al. (2004, p.1794); MARTINELLI (2008, p.23)).

Figura 1 – Etapas da secagem de pastas em leito fluidizado utilizando inertes.



Fonte: adaptado de GRBAVCIC et al. (2004)

Meili (2009) estudou a secagem de pasta em um leito fluidizado/vibrofluidizado de 0,114 m de diâmetro e 0,50 m de altura. Os materiais pastosos utilizados foram lodo de esgoto, leite desnatado e carbonato de cálcio, e esferas de vidro como material inerte. Os ensaios fluidodinâmicos foram realizados sob condições



vibracionais de 0,0 Γ a 3,0 Γ , cada qual com 4 combinações diferentes de variações de amplitude e frequência de vibração, e esferas de vidro com 463 e 780 μm . Já para os ensaios de secagem foram utilizadas esferas de vidro de 2,19 mm sob diferentes condições de alimentação, temperatura (80 e 100° C), velocidade do ar (1,33 e 1,55m/s) e vibracionais. O autor verificou uma melhora nas condições dinâmicas, apresentando melhoras significativas nos fenômenos de transferências de calor, massa e momento, favorecendo as condições de secagem de pastas difíceis de fluidizar pela utilização da vibração com a ação pneumática do leito fluidizado utilizando dos diferentes parâmetros vibracionais. Além disso, o autor notou que com o aumento na velocidade do ar de secagem ou da temperatura ocorre uma redução no tempo para que o sistema alcance o regime permanente. Constatou que para o carbonato de cálcio o aumento da concentração de sólidos ocasiona maiores dificuldades, possivelmente pela formação de filmes mais espessos sobre as partículas favorecendo assim a formação de aglomerados e a utilização da vibração do leito para esse material, ocasionou um aumento significativo na produção de pó apenas para concentrações de sólidos de até 3%.

Tatemoto e Miyazawa (2011) utilizaram de uma câmara de secagem feita a partir de um tubo de vidro, onde está câmara possui um diâmetro de 65 mm. O leito era composto por partículas inertes de esferas de vidro contendo 0,12 mm de diâmetro, com uma altura de leito fixo de 100 mm, ar seco a 293 K foi utilizado como gás de fluidização, como suspensão diluída foi utilizada água destilada e para o período inicial a temperatura era de 393K. Os autores afirmam que é importante manter o estado de fluidização em um leito fluidizado, pois isso afeta diretamente a taxa de secagem no leito. Sendo assim, para se alcançar uma alta taxa de secagem o estado de fluidização deve ser mantido com muito vigor.

Costa (2017) também empregou o leite desnatado nos seus estudos sobre o desempenho do leito vibrofluidizado na secagem de pasta. O objetivo da autora era analisar a influência que diferentes intensidades de agitação, aplicadas no leito fluidizado, podem exercer no processo de secagem utilizando inertes. A unidade experimental é a mesma do trabalho do Meili (2009), a qual foi descrita acima. A autora utilizou como inertes esferas de vidro, com diâmetros médios de 1,19 mm, 2,19 mm e 3,19 mm, com densidade de 2500 kg/m³. Seus experimentos foram realizados a 100°C e com velocidade do fluido 20% acima da velocidade de mínima fluidização. Para os diferentes diâmetros de partícula, a frequência em RPM variou de 100 a 1100 ao passo de 100 RPM, com amplitudes de 0,003m e 0,015m. O leite desnatado foi alimentado na câmara de secagem, o qual continha 1,5 kg de esferas de vidro, com uma vazão de 14 mL/min. Após um período de 30 min, o material inerte foi retirado da câmara de secagem, e essa era limpa para receber uma alimentação maior de pasta, 4 mL maior que a vazão anterior, onde tal procedimento foi repetido até o colapso do leito. Para os ensaios realizados sob as condições já descritas acima, a autora observou uma grande influência do diâmetro das partículas em relação a velocidade de mínima fluidização, pois obteve 0,6 m/s para o diâmetro médio de partículas de 1,19 mm, 1,05 m/s para o diâmetro de 2,19 mm e, 1,45 m/s para o maior diâmetro, 3,19 mm. Portanto, foi possível concluir que as partículas maiores necessitam de maiores velocidades para alcançarem a fluidização. Também, notou-se em seus experimentos que a esfera de vidro com maior diâmetro apresenta o melhor desempenho durante a evaporação, pois no processo de secagem de pasta é necessário levar em consideração as forças inerciais do material particulado, bem como sua área superficial, onde ocorrem as trocas mássicas e térmicas.

Schaffka (2017) realizou um estudo do comportamento fluidodinâmico da secagem de suspensão diluída de carbonato de cálcio em leito fluidizado. Como materiais inertes foram utilizadas esferas de vidro e esferas de alumínio ambas com diâmetro de 1,55 mm. Seus estudos foram realizados com o intuito de se evitar o fenômeno de defluidização utilizando análise espectral gaussiana e analisar durante o processo de secagem a sua força e eficiência de secagem. Os experimentos foram realizados com uma coluna de acrílico de 0,11 m de diâmetro interno e 1,0 m de altura, a vazão de atomização da suspensão foi de 11,0; 13,0 e 15,0 mL/min e concentração da suspensão (CaCo₃) de 9 e 15% e temperatura do plenum de 85°C. Comprovou-se que a



formação de aglomerados independe da concentração da suspensão, no aspecto da análise espectral gaussiana não foi possível identificar claramente a região de defluidização para as partículas do Grupo D de Geldart, em geral foi verificado que o material de alumínio apresentou uma melhor condição fluidodinâmica e de parâmetros psicrométricos no processo de secagem de suspensão diluída contendo partículas inertes, além de que as eficiências de secagem (E e R) se mantiveram em condições constantes atingindo próximas a 80 e 90%.

4 CONCLUSÃO

Apesar de apresentar algumas aplicações, como visto no decorrer da revisão bibliográfica, estudos sobre os aspectos secagem de pasta com pós ultrafinos são pouco encontrados, sendo a maioria realizados em leito de jorro. Em geral para que se tenha uma melhora na eficiência de secagem deve-se manter em uma boa mistura gás-sólido. Com isso alguns parâmetros que podem influenciar na secagem da pasta são: a concentração da pasta, diâmetro das partículas dos inertes, velocidade e temperatura do ar de secagem.

REFERÊNCIAS

- PEÇANHA, Ricardo Pires. **Sistemas Particulados Operações Unitárias Envolvendo Partículas e Fluidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 424 p. 2014.
- GUPTA, C. K., SATHIYAMOORTHY, D. **Fluid Bed Technology in Materials Processing**. CRC Press, United States, 498p., 1999.
- NITZ, M.; GUARDANI, R. **Fluidização Gás-Sólido: Fundamentos e Avanços**. Revista Brasileira de Engenharia Química, dezembro de 2008.
- AMBROSIO, M.C.B., **Secagem de particulado coesivo em secador de leito fluidizado agitado**. Campinas: UNICAMP – FEQ, Dissertação (Mestrado), 133p. 1999.
- AMBROSIO-UGRI, M.C.B., TARANTO, O.P. **Estudo fluidodinâmico e de secagem de um particulado coesivo em leito fluidizado agitado**. Acta Scientiarum Technology, 2004.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications, and Design**. Gordon & Breach Science Publishers, v. 3, 448 p. 1986.
- MUJUMDAR, ARUN S. **Handbook of Industrial Drying**. Third Edition. ed. New York: Marcel Dekker, 2006.
- PARISE, Maria Regina. **Aplicação da distribuição espectral normal em leito fluidizado gás-sólido**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 2007.
- DINCER, Ibrahim, ROSEN, Marc A. **Exergy**. 1 ed. Elsevier Science, 472 p. 2007.
- MEILI, Lucas. **Contribuições ao estudo da fluidodinâmica e da secagem de pastas em leitos fluidizado e vibrofluidizado**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 260p., 2009.
- SILVA, C. A. M. **Análise da dinâmica de secagem de pasta em leito de jorro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós graduação em Engenharia Química, UFSCAR, São Carlos, 2016.



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um
mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



GRBAVCIC, Z. et al. **Drying of Slurries in Fluidized Bed of Inert Particles**. Drying Technology, 2004.

MARTINELLI, L. **Construção e desenvolvimento de um secador de leite pulso-fluidizado para secagem de pastas e polpas**. São José do Rio Preto – SP, 2008.

TATEMOTO, Y.; MIYAZAWA, K. **Drying of Suspensions in a Fluidized Bed of Inert Particles Under Reduced Pressure**. Drying Technology. v. 29, p. 1204-1209, 2011.

COSTA, Ariany Binda Grbavcic. **Análise do desempenho do leito vibrofluidizado na secagem de pasta**. São Carlos: UFSCAR, Tese (Doutorado), 136p. 2017.

SCHAFFKA, Flavia Tramontin Silveira. **Análise fluidodinâmica e térmica do processo de secagem de suspensão diluída em leito fluidizado**. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017