Secador contínuo em leito fluidizado de dispersivos solúveis

Continuous fluidized bed dryer for soluble dispersives

DOI:10.34117/bjdv7n4-041

Recebimento dos originais: 07/03/2021
Aceitação para publicação: 03/04/2021

Urias Fernandes Maciel Júnior
Mestre Engenharia Química
Rua Maringá 448 - 38037460 - Uberaba-MG
E-mail: Urias.maciel@ourofinoagro.com.br

José Roberto Delalibera Finzer
Doutor Engenharia de Alimentos
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química -UNIUBE
Campos Aeroporto. Av. Nenê sabino 1801. 38.055-500. Uberaba-MG
E-mail: jose.finzer@uniube.br

RESUMO
Trata-se de uma nova tecnologia implantada no país, que por sua vez, apresenta vários pontos positivos, desde a sua formulação, aplicação e eficácia. A planta de grânulos dispersíveis em água, tem como padrão de produção, uma formulação pó molhável e a alteração de grande impacto seria uma adequação multipropósito, com um processo de grânulos dispersíveis em água. Para realização desta mudança física do produto, seria necessário o projeto de um secador de leito fluidizado. Todo o processo necessita de uma precisão muito alta, para que assim, o produto acabado tenha uma boa performance desde sua dispersão em água e absorção após a aplicação no campo. Assim, foi de extrema importância realizar o estudo do processo com ênfase na operação de secagem. Deve-se realizar uma passagem em cinco divisões de câmara de secagem em leito fluidizado, propiciando que os grânulos percam umidade, não realizem quebra física, não se aglomerem, haja um resfriamento lento e não formação de oversize. Toda instrumentação deve seguir um procedimento interno, do qual consiga controlar o sistema eliminando os efeitos externos de impacto desfavorável. Para que mantenha uma alta capacidade de fluidização e secagem, conta com uma alimentação externa do ar atmosférico e como fornecedor de energia térmica um queimador em óleo combustível. Para o final do processo as características físico-químicas são de caráter provatório e determinam o desempenho, disponibilidade e qualidade. Como resultado o tempo médio de residência das partículas na câmara inicial do secador foi de 1483 s (24,7 min).

Palavras-Chave: Leito Fluidizado, Granulos Dispersíveis, Secagem.

ABSTRACT
This is a new technology implemented in the country, which in turn, has several positive points, since its formulation, application and effectiveness. The water-dispersible granule plant has a wettable powder formulation as its production standard and the major

impact change would be a multi-purpose adaptation, with a water-dispersible granule process. To carry out this physical change of the product, it would be necessary to design a fluidized bed dryer. The whole process needs very high precision, so that the finished product has a good performance since its dispersion in water and absorption after application in the field. Thus, it was extremely important to study the process with an emphasis on the drying operation. A passage must be made in five divisions of the drying chamber in a fluidized bed, allowing the granules to lose moisture, not to break physically, not to clump together, to slow down slowly and not to form oversize. All instrumentation must follow an internal procedure, from which it can control the system, eliminating the external effects of unfavorable impact. In order to maintain a high fluidization and drying capacity, it has an external supply of atmospheric air and as a thermal energy supplier a burner in fuel oil. At the end of the process, the physical and chemical characteristics are of a provincial nature and determine performance, availability and quality. As a result, the average residence time of the particles in the initial chamber of the dryer was 1483 s (24.7 min).

Keywords: Fluidized Bed, Dispersible Granules, Drying.

1 INTRODUÇÃO

O processo industrial de defensivos vem cada vez mais se renovando, contudo sofre grandes impactos de demanda levando em consideração a disputa do mercado e o viés ambiental. No cenário geral de produção dos defensivos são utilizadas tecnologias para melhorar cada vez mais a eficiência e a menor dosagem aplicada. Uma tecnologia inovadora é a mudança do estado físico do produto WP (pó molhável) para grânulos WG (grânulos dispersíveis em água). O propósito é realizar o startup e condicionamento da unidade tendo como principal impacto as características físico-químicas do produto final.

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do secador de leito fluidizado, evidenciando o comportamento do grânulo durante as etapas no sistema de secagem correlacionando o tempo de passagem (produtividade) e a perda de umidade (qualidade), com foco na melhoria da eficiência do equipamento.

2 SECADORES DE LEITO FLUIDIZADO

Diversos tipos de sistemas em leito fluidizado são descritos na literatura e usados industrialmente. A Figura 1 consiste em um secador em leito fluidizado formado por múltiplos compartimentos e o escoamento dos sólidos que formam o leito ocorre por diferença de pressão e ação de força de arrasto sobre as partículas (KUNII e LEVENSPIEL, 1991).

Modelos baseados na suposição de escoamento pistonado certamente fornecem algumas informações sobre o comportamento da secagem de sólidos, ao longo da direção horizontal de um leito fluidizado. No entanto, o efeito de mistura lateral é negligenciado nos modelos *plug flow*. Chen et al., 2017, usaram um equipamento esquematizado na Figura 1 para estudar a mistura.

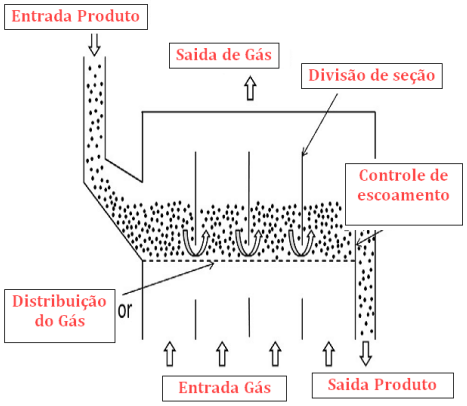

Figura 1 - Leito fluidizado horizontal usado no estudo (CHEN et al., 2017).

2.1 MECANISMOS DE MIGRAÇÃO DE UMIDADE

As principais formas do transporte da umidade durante a secagem são (Strumillo e Kudra, 1986): difusão de líquido; difusão de vapor; difusão térmica; difusão de *Knudsen*; forças capilares; gradiente de pressão. Normalmente a distribuição do tempo de residência das partículas no secador é determinada usando o método estímulo-resposta. O estímulo corresponde à alimentação das partículas marcadas no secador, enquanto a resposta trata do registro do tempo de saída das partículas. A distribuição do tempo de residência do material no equipamento é descrita pela função F(t), que representa a fração de tempo ≤ t. Na Figura 2 são esquematizados gráficos da função $F(t/\overline{T})$, onde $\overline{T}$ é o tempo de residência médio das partículas no leito. Na Figura 2 as curvas representam os tipos de escoamento possíveis. A vibração do leito de secagem consiste em uma das técnicas usadas para aperfeiçoar o escoamento e a secagem: FINZER, et al., 1997; MENEZES et al., 1998; FINZER, et al., 2003; FINZER, et al., 2007.

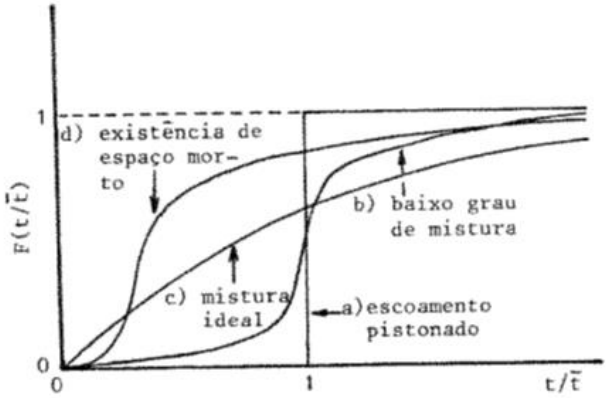

Figura 2 - FUNÇÃO F(t/$\overline{T}$). Diferentes modelos de escoamento dos sólidos: a- escoamento pistonado; b- baixo grau de mistura; c- mistura ideal; d- parte do material permanece por longo tempo em regiões estranhas do equipamento (KUNII e LEVENSPIEL, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A instalação industrial na unidade de formulação é multipropósito podendo realizar tantas formulações WP (pó molhável, formulação física em pós onde o ativo é micronizado junto aos tensoativos para futura aplicação em formação de calda) quanto WG (Grânulos dispersíveis em água, sendo a formação física do pó após sofrer as etapas de extrusão e secagem), a nomenclatura inglesa já está difundida entre fabricantes e usuários. O estudo se dará com foco na unidade WG nas etapas extrusão / secagem.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A unidade de herbicidas granulados é composta por dois silos de armazenagem em aço inox 316 sem sistema de agitação. Tem a capacidade de 5,0 toneladas, condicionado com sistema de exaustão e transporte pneumático.

Aterramento em toda a unidade devido a utilização de materiais que são altamente explosivos e/ou inflamáveis, assim denominou a unidade como EX Classificação de segurança a prova de explosão. O material fica separado por lote de fabricação do qual foi previamente realizada uma mistura e micronização. Posteriormente, é dosado por uma válvula dosadora e transportado por rosca sem fim.

Nesta etapa o produto está em fase de acabamento, ou seja, ainda em processo de formação física, porém quimicamente já finalizado. O material em pó, após a armazenagem, passa por uma etapa de umidificação com adição de uma solução umectante que pode ser água, para facilitar a fluidez e a extrusão. O estudo atual se dará após a umidificação e é representado no fluxograma (Figura 3).

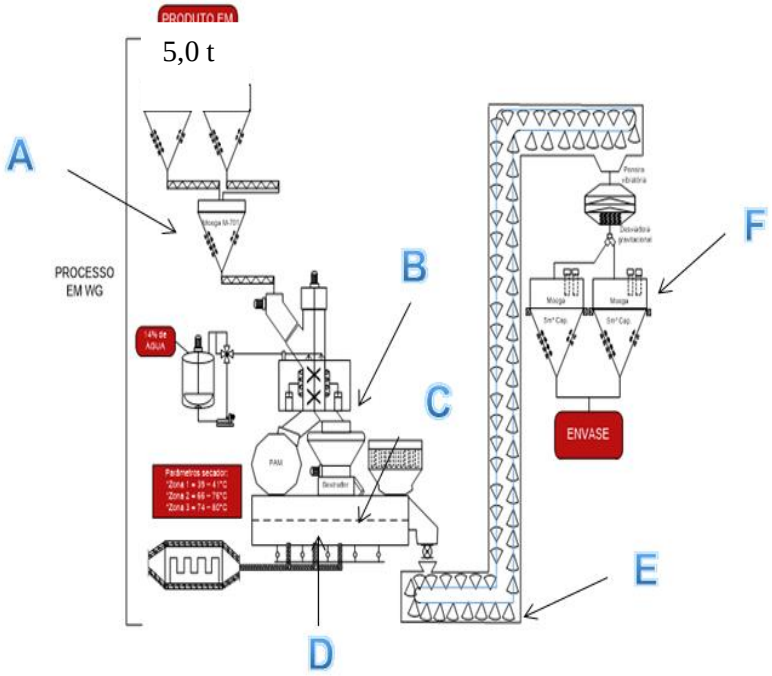

Figura 3 - Fluxograma de formulação geral herbicida granulado: A- silos de armazenagem, B- flexomix (umectação do produto), C- extrusão dos grânulos, D- secador, E- elevador de canecas, F- peneira classificatória.

3.2 PROJETO DA UNIDADE WG

Durante a fase de desenvolvimento do projeto, foi um desafio muito grande colocar-se as duas unidades multipropósitos, ou seja, poder realizar tecnologias independentes e distintas sem a necessidade de alterações dos instrumentos. Hoje um dos grandes vilões de produtividade são os *Setups* e assim quando se padroniza uma unidade da qual pode alterar sua tecnologia de processo sem *setup* tem-se um grande ganho na performance da unidade. Para que não se tenha o tempo perdido de troca na unidade utiliza-se a unidade como multipropósito. Na empresa em estudo já existe a unidade WP, que realiza a mistura dos ativos e inertes para posterior micronização / moagem. Tendo que poder se trabalhar como o processo anterior de formulação em característica única de micronização / moagem, e outra com as duas unidades em conjunto formulando a base inicial micronizada e em seguida a etapa de extrusão/secagem (Conforme Figura 4).

3.3 SECADOR EM LEITO FLUIDIZADO

O secador de Leito Fluidizado possui sistema de coleta dos particulados finos na parte superior, entrada de gases com tubulações independentes por câmara seja a quente ou resfriamento, comprimento de 6 m e altura de 2,5 m. A saída do sistema contém controle por válvula rotativa determinando o tempo de residência do fluido e dos sólidos,

sistema de sustentação com pontos de drenagem na parte inferior facilitando limpeza e filtro de mangas coletor de particulados transportados pela força de arrasto do ar de secagem. A parte interior do secador é constituída por cinco câmaras em chapa de aço inox 304 com medida interna entre as paredes (largura) 90 cm na parte superior, 70 cm na inferior e 15 cm distante da tela de distribuição do ar e suporte do leito, e distanciamento entre chapas de 50 cm, conforme Figura 4, que consiste em uma imagem da unidade de pós-granulados da Ourofino-Uberaba-MG. Em função do material processado e do tipo de secador, ocorrem vários aspectos fenomenológicos citados por: BUCEK, et al., 2020; CAVALLARO, et al., 2020; LOURENÇO e FINZER, 2013; SFREDO, et al, 2005.

.

Figura 4 - Leito fluidizado industrial constituído por multicâmaras, detalhes das laterais de acesso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS GRÂNULOS

Para determinação do teor da umidade dos grânulos iniciou-se com a coleta antes da etapa de secagem. Foram coletados 100 amostras na entrada da câmara logo após a extrusão. Neste momento o produto em pós recebe uma umidade controlada via sistema para facilitar a consistência do grânulo. Para que se tenha um resultado mais preciso é necessária uma quantidade de amostra no equipamento de aproximadamente 10 grânulos.

Assim foram obtidos 1000 grânulos em 100 coletas. O equipamento utilizado é um titulador automático para determinação de umidade em matérias primas e produtos acabados, podendo ser adaptado para obtenção de outras análises quantitativas com opção de interface com balança, marca Metrohm e modelo 870 KF Titrino Plus, os resultados são mostrados na Figura 5.

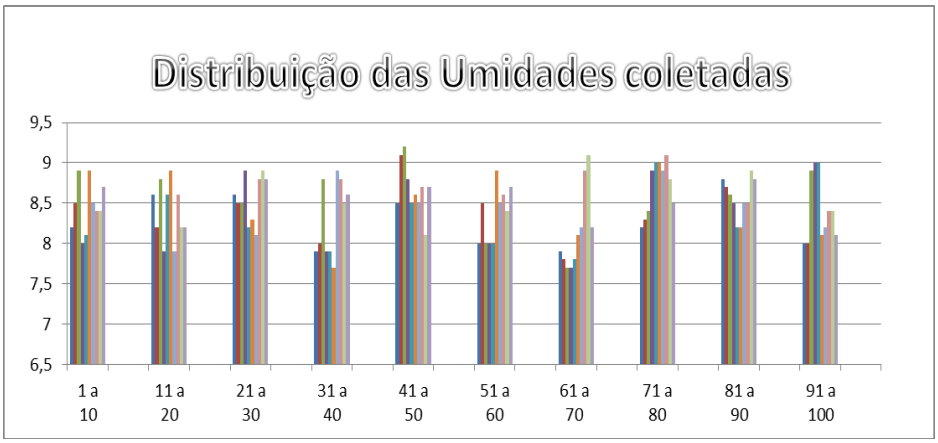

Figura 5 - Resultados de Umidade dos Grânulos Entrada do Secador.

Depois de realizado os testes de temperatura e umidade, foram realizados testes de tempo de residência, podendo assim, verificar o comportamento do grânulo dentro de cada câmara. Para determinar o tempo de transporte de uma seção a outra se efetuou uma marcação no grânulo com um corante azul e com auxílio de um cronômetro o tempo individual de residência foi mensurado. Na entrada de cada câmara existe uma iluminação independente de LED e um visor. Foram feitas filmagens da passagem do grânulo e que foram analisadas. Na Tabela 1 são dispostos os resultados.

Figura 6 - Pintura para marcação dos grânulos na identificação.

Tabela 1 - Estudo de tempo de transposição por câmara.

Intervalo (s)	Média	Número de partículas	Porcentagem	ΔTi (s)
1300-1400	1350	2	22,2	100
1400-1500	1450	3	33,3	100
1500-1600	1550	3	33,3	100
1600-1700	1650	1	11,1	100

Para a Câmara 5, aplica-se a modelagem a seguir (Kunii e Levenpiel,1991). Dados para modelagem obtidos na Tabela 1.

$$Q = \sum C \,.\, \Delta T_1$$

$$Q = (22{,}2 + 33{,}3 + 33{,}3 + 11{,}1\,).100 \;= 9990\; s$$

$$E_1 = \frac{P}{Q}$$

$$t_m = \; \Delta T_1 \; \left[\sum t_i \,.\, E_i\right]$$

$$t_m = \; 100\left[\frac{22{,}2}{9990}\cdot 1350 + \frac{33{,}3}{9990}\cdot 1450 + \frac{33{,}3}{9990}\cdot 1550 + \frac{11{,}1}{9990}\cdot 1650\right]$$

$$t_m = \; 1483\; s$$

Calculando F (t_i/t_m) e t_i/tm, tem-se os resultados mostrados na Figura 7, para que se possa ter uma visão clara do comportamento do escoamento das partículas.

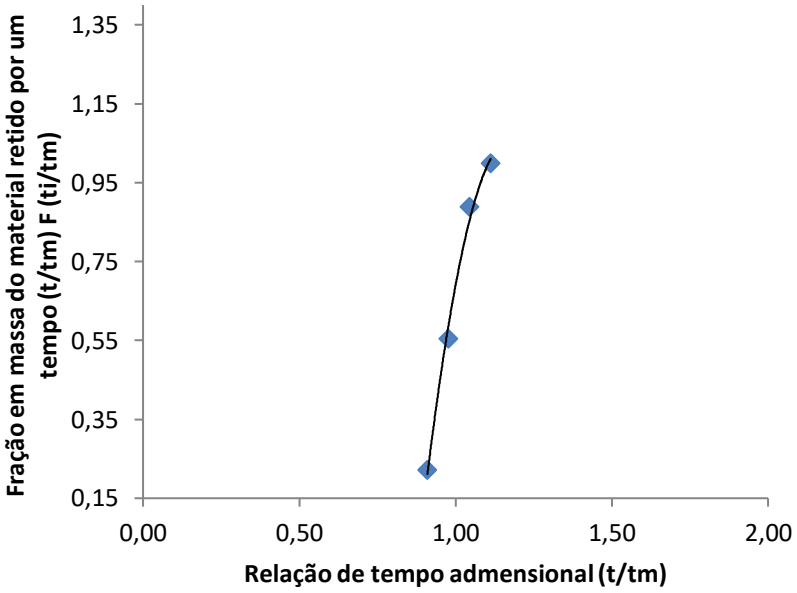

Figura 7 - Função F(t/$\overline{T}$) em função de t/$\overline{T}$.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo proposto neste projeto, foi efetuada uma demonstração de como é o comportamento dos grânulos dentro do secador. Os dados correlacionam os tempos de passagem tendo uma ligação direta com a produtividade sem que afete a qualidade do produto acabado e sua eficiência na aplicação.

O comportamento dos grânulos na primeira câmara de entrada, sendo denominada de Câmara 5 do secador de leito fluidizado, corresponde ao baixo grau de

mistura, tendendo ao escoamento pistonado conforme as Figuras 2 e 7 - Função F(t/$\overline{T}$). Isto significa que existe pouca dispersão das partículas ao escoarem pela primeira câmara do leito fluidizado. A consequência é que isto tem reflexos na qualidade devendo ocorrer também pouca variação de umidade das partículas ao abandonarem o leito. Este mesmo comportamento é observado entre as câmaras 4 e 3. A partir da câmara 2 até a 1 devido à perda mássica de umidade o grânulo já tem sua velocidade aumentada consideravelmente.

Através dos dados analíticos de umidade coletadas em todas as etapas de secagem, não mostrados neste trabalho, ficou claro e representativo o escoamento do produto. Graficamente durante a passagem do grânulo nas primeiras câmaras a perda de umidade é bem menor, mesmo sendo demonstrado que o tempo gasto no escoamento é maior. Isso significa que no tempo de residência do grânulo, fica muito claro o escoamento pistonado e baixo grau de mistura. A partir que a perda da umidade cresce o poder de mistura aumenta e consequentemente a velocidade de passagem do grânulo também. Para ter-se uma classificação do secador na indústria pode-se afirmar que é representado pela Figura 1 - Leito fluidizado horizontal usado no estudo (CHEN et al., 2017). O tempo médio de residência das partículas na câmara inicial do secador foi de 1483 s (24,7 min).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNIUBE – Universidade de Uberaba e à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio disponibilizado para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

BUCEK, E. U.; FINZER, J. R. D; CAVALLARO, R. J. . Mathematical Model for Determining the Coffee Leaf Area. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences**, v. 71, p. 11-19, 2020.

CAVALLARO, R. J.; UBER BUCEK, E.; FINZER, J. R. D. Inativação enzimática de folhas de café para uso em bebidas. **Research, Society and Development**, v. 9, p. 1-17, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4598.

CHEN, K.; BACHMANN, P.; BÜCK, A.; JACOB, M.; TSOTSAS, E.. Experimental study and modeling of particle drying in acontinuously-operated horizontal fluidized bed. **Particuology**. v. 34. p. 134–146. 2017.

FINZER, J.R.D., MENEZES, E.A., LIMAVERDE, J.R. Drying coffee beans in vibrated trays dryer. **Drying Technology.** v.15: 6-8, p. 1983–1994. 1997.

FINZER, J.R.D., LIMAVERDE, J.R., FREITAS, A.O., LIMAVERDE Jr., J.R., SFREDO, M.A. Drying of coffee berries in a vibrated tray dryer operated with solids recycle and single-stage**. Journal of Food Process Engineering,** v. 26: 2, p. 207–222, 2003.

FINZER, J.R.D., SFREDO, M.A., SOUSA, G.D.B., LIMAVERDE, J.R. Dispersion coefficient of coffee berries in vibrated bed dryer. Journal of Food Engineering, , v. 79:3, p. 905–912. 2007.

KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. **Fluidization engineering**. 2º. Washington: Butterworth-Heinemann, 491p. 1991.

LOURENÇO, G. A.; FINZER, J.R.D. Secagem parcial de tomate-cereja em secador de bandejas vibradas com reciclo. **Brazilian Journal of Food Technology** (Online), v. 16, p. 334-345, 2013.

MENEZES, E.A., FINZER, J.R.D., OLIVEIRA, D.L. A study of the drying performance of a vibrating tray dryer. **Drying Technology, v.** 16: 9-10, p. 1987–1998. 1998.

SFREDO, M. A. ; FINZER, J. R.D. ; LIMAVERDE, J. R. Heat and mass transfer in coffee fruits drying. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 70, p. 15-25, 2005.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design,** Switzerland: Gordon and Breach Science Publishers 1986. 448p.