



SECADOR CONTÍNUO EM LEITO FLUIDIZADO DE DISPERSIVOS SOLÚVEIS

U.F. MACIEL JUNIOR¹, J. R. D. FINZER¹

¹ Universidade de Uberaba, PPGEQ- Mestrado Profissional Engenharia Química

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).*

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 2.1 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.

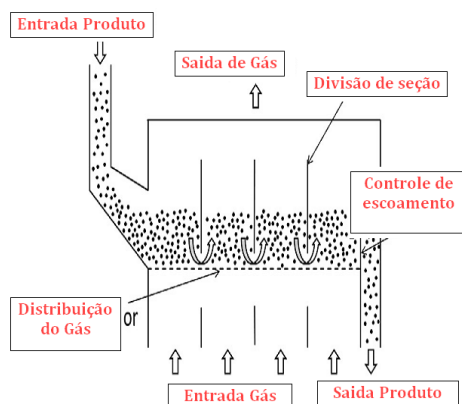


FIGURA 1 - Leito fluidizado horizontal usado no estudo (Chen et al., 2017).

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 $\leq t$. Na Figura 2 são esquematizados gráficos da função $F(t/\bar{T})$, onde \bar{T} é o tempo de residência médio das partículas no leito. Na Figura 2 as curvas representam:

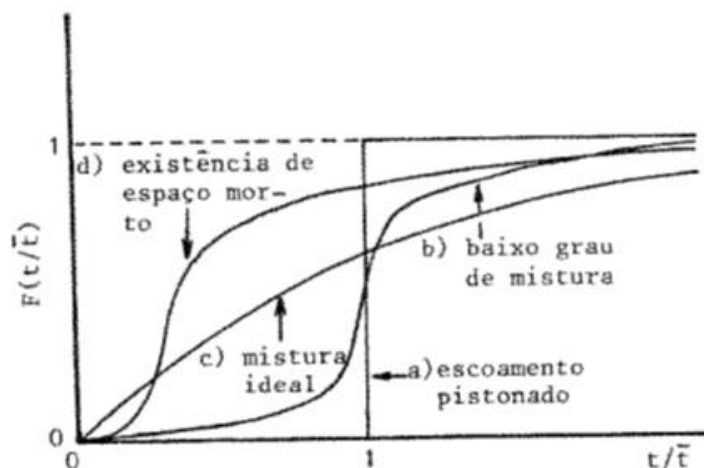


Figura 2 - FUNÇÃO $F(t/\bar{T})$. Diferentes modelos de escoamento dos sólidos: a- escoamento pistonado; b- baixo grau de mistura; c- mistura ideal; d- parte do material permanece por longo tempo em regiões estranhas do equipamento (Kunii e Levenspiel, 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A instalação industrial na unidade de formulação é multipropósito podendo realizar tanto formulações WP (pó molhável, formulação física em pós onde o ativo é micronizado junto aos tensoativos para futura aplicação em formação de calda) quando WG (Grânulos dispersíveis em água, sendo a formação física do pó após sofrer o processo 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).

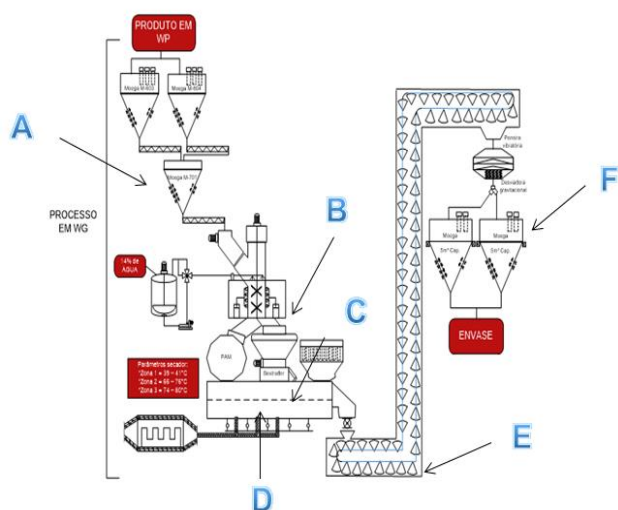


FIGURA 3 - Fluxograma de formulação geral herbicida granulada: A- silos de armazenagem, B- flexomix (umectação do produto), C- extrusão dos grânulos, D- secador, E- elevador de canecas, F- peneira classificatória.

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 5 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.



FIGURA 4 - Leito fluidizado industrial constituído por multicâmaras lateral 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.

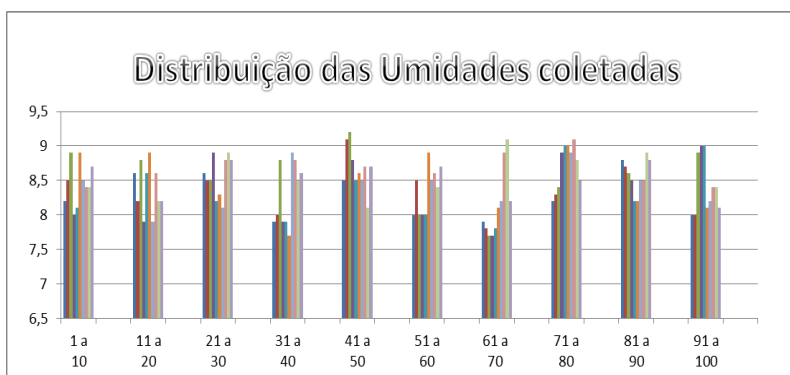


FIGURA 5 - Resultados de Umidade dos Grânulos Entrada do Secador .

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 determinarmos 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	ΔT_i (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.

$$Q = \sum c \cdot \Delta T_1$$

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

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

$$t_m = \Delta T_1 \left[\sum t_i \cdot E_i \right]$$

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

$$t_m = 1483 \text{ s}$$



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

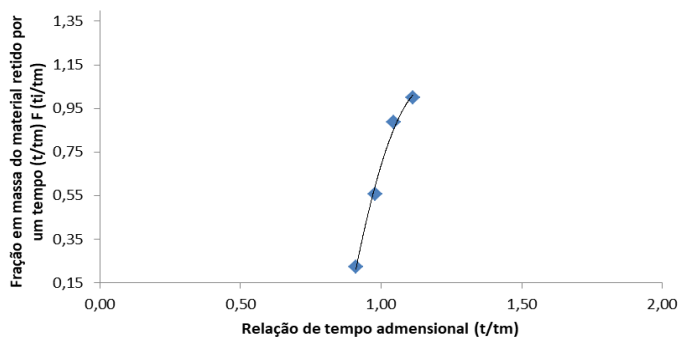


Figura 7 - Função $F(t/\bar{T})$ em função de t/\bar{T} .

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 $F(t/\bar{T})$. 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. Gráficamente 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 o mesmo 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).



6. REFERÊNCIAS

K. CHEN et al. / Particuology. **Experimental study and modeling of particle drying in a continuously-operated horizontal fluidized bed**, 34 (2017) 134–146p

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

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