

CONSTRUÇÃO E ENSAIO DE PÁS PARA MISTURA DE GRANULADOS NUM MISTURADOR DE CORPO FIXO

Célio Losnak

Geraldo Luiz Palma

Augusto Ronchi Junior

Luiz Eduardo de Ângelo Sanches

Universidade Estadual Paulista UNESP, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n, CEP 17033-360, Cx. Postal 473, Bauru, SP, Brasil.

E-mail: losnak@bauru.unesp.br

Resumo

Em anos recentes a homogeneização de sólidos particulados tornou-se mais importante em razão de crescentes exigências, principalmente no processo de sinterização utilizado na indústria mecânica. A homogeneidade da mistura de sólidos particulados depende de características do misturador e das partículas como: granulometria, densidade, umidade, carga eletrostática, taxa de enchimento, entre outras. No misturador de corpo fixo, utilizado neste trabalho, a qualidade da mistura depende também da forma das pás, da área e da rotação. Na indústria farmacêutica a homogeneidade é um requisito mais exigente devido a necessidade das drogas cumprirem padrões internacionais de qualidade. O objetivo deste trabalho foi de construir e experimentar um jogo de pás com formato diferente dos convencionais. Essas pás receberam o nome de “pás curvas com abas”, com mesma área de outras já ensaiadas. As abas limitam o volume de material que é levado para a superfície livre onde ocorre seu lançamento e conseqüente homogeneização. Variou-se o tempo e manteve-se a rotação. Avaliou-se então o desempenho das pás em função da homogeneidade alcançada pela mistura. Para a realização deste trabalho foram utilizadas partículas de arenito e cloreto de sódio com granulometrias e densidades próximas. O melhor resultado, com desvio em relação à mistura ideal de 0,07%, ocorreu aos 15 segundos e taxa de enchimento 40%. Constatou-se ainda que o espaço livre acima do material granulado é um fator muito importante na operação de mistura.

Palavras-chave: Formato das pás, Misturador de pós, Pás misturadoras.

1. INTRODUÇÃO

A homogeneização de sólidos particulados é um fenômeno bastante complexo, principalmente quando os elementos a serem misturados possuem características diferentes.

Os misturadores, classificam-se em: de corpo móvel e de corpo fixo. Os de corpo móvel são divididos em: duplo cone, em V, em Y, em cubo, cilíndricos horizontal e inclinado. Os misturadores mais usados são os de corpo móvel pois funcionam com baixa rotação e exigem baixa potência, no entanto exigem mais tempo de operação. Neles, os elementos a serem misturados são colocados em proporções desejadas no seu interior e quando o corpo do misturador gira os componentes vão se misturando através de queda livre e escorregamento.

No misturador de corpo fixo obtém-se homogeneização em tempo reduzido, entretanto exigem-se maiores rotação e potência. Estes misturadores são constituídos por um cilindro horizontal estático e no seu interior um eixo rotativo com pás ou tiras helicoidais movimentam as partículas. Uma mistura é perfeita quando o resultado de um estudo estatístico feito com amostras, indica a mesma proporção em que foram colocadas no misturador.

Várias características dos sólidos particulados influem na operação de homogeneização. As mais relevantes são: a) Distribuição quanto ao tamanho- é a proporção de diferentes tamanhos dos vários componentes; b) Densidade- é a massa por unidade de volume de uma quantidade de partículas sólidas; c) Formato- existem vários tipos como os ovais, cubos, esferas, flocos, cavacos, barras, filamentos cristais ou formas irregulares; d) Características superficiais- isto inclui área superficial, tendência a reter cargas eletrostáticas e rugosidade; e) Habilidade friável- tendência do material em dividir-se em pedaços menores no decorrer da operação. Existem testes quantitativos especialmente desenvolvidos para certos materiais como carvão, podendo ser usado para estimar essas propriedades; f) Estado de aglomeração- refere-se ao estado das partículas moverem-se independentes ou aderidas a outras, em blocos. Este tipo de aglomeração e o grau de energia empregada durante a mistura afetarão a extensão da quebra do aglomerado e dispersão de partículas; g) Umidade ou líquido nos sólidos- freqüentemente uma pequena quantidade de líquido pode ser adicionada para diminuir poeira ou exigências especiais. O produto resultante pode ter tanto a aparência de um sólido seco quanto o de pasta; h) Limitadores de temperatura dos ingredientes- são alguns efeitos não usuais quando há mudança de temperatura podendo ocorrer alteração ou reação.

O conhecimento sobre uma mistura de partículas sólidas é feito através de ensaios e avaliando-se as amostras. O grau de homogeneidade das misturas é mensurado a partir do número de amostras. Na composição das amostras podem ocorrer diferenças devido ao local e do procedimento da retirada e da técnica da análise.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dankwerts (1953), cita que a importância da operação de mistura em um processo químico é diferente de um processo mecânico. Destacou a necessidade de estabelecer dois parâmetros distintos para se obter uma mistura perfeita: segregação e grau de mistura. A segregação descreve o estado de subdivisões em grupos. O grau de mistura é para expressar as diferenças de composições dentro da mistura e verificar entre os elementos constituintes os que apresentam a menor variação entre eles, comparando com as taxas de enchimento em várias condições. Esses dois parâmetros indicam que a melhor mistura é tanto melhor quanto menor forem seus valores.

Brumber & Maritz (1953), foram os primeiros pesquisadores que trabalharam com mistura e apresentaram as primeiras definições baseadas em conceitos estatísticos citando que a estimativa de homogeneidade é um processo complexo.

Carley et al. (1964) citam que durante a avaliação do tempo ideal de mistura, esta operação passa a apresentar um outro fenômeno característico, a separação dos componentes.

Wang & Fan (1972), afirmam que o estado final da mistura pode ser analisada como um equilíbrio dinâmico. É um processo reversível entre a segregação e a homogeneidade, da qual depende a qualidade do produto. Definiu que a segregação é o processo que produz separação das partículas. Uma mistura é perfeita, quando em uma amostra existem as mesmas espécies de partículas que as introduzidas inicialmente e na mesma proporção da carga inicial.

Para Quaglia (1992), o grau de mistura consiste em verificar entre os elementos que fazem parte da mistura os que apresentam a menor variação em relação às proporções das

taxas de enchimento em várias condições. Cita ainda que uma mistura uniforme ocorre após determinado tempo de funcionamento do misturador.

Losnak, (1996), constatou que ao misturar pós com mesma granulometria em misturador de corpo fixo, a pá de menor área apresentou menor consumo de potência, mas não tão eficiente para homogeneização quanto as pás de áreas maiores.

Losnak, (1999), realizou pesquisa de homogeneização de grãos nitrogenados (N) com diâmetros de 2 a 4 mm e densidade aparente 829kg/m^3 ; grãos fosfáticos (P) entre 2,36 e 4,75 mm e densidade aparente 1.179 kg/m^3 e grãos potássicos (K) entre 0,355 e 1,4 mm e densidade aparente 1.263 kg/m^3 , levados à estufa com temperatura de $75\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. Foram pesadas as amostras nas porcentagens de 20% (N), 50% (P) e 30% (K) da mistura e colocadas no misturador em ordem granulométrica de (NPK), perfazendo 50% da capacidade útil do misturador. A rotação do misturador foi de 500 rpm durante 6 intervalos de tempo definidos; 15, 30, 45, 60, 75 e 90 segundos, onde para cada tempo foram coletadas 4 amostras. Após o processo de mistura foi realizada a separação dos elementos e pesados novamente para a quantificação da mistura por amostra. Concluiu-se que o tempo ótimo para a formulação de fertilizantes granulados ocorreram nos tempos 30 e 90 segundos e que no intervalo de tempo entre 45 e 75 segundos ocorreu segregação de partículas. Isto é uma característica cíclica durante o processo de homogeneização.

Losnak (1999), ensaiou misturador de corpo fixo, com eixo-árvore girando a 330 rpm, adaptando-se no rotor dois tipos de pás com formatos diferentes, sendo pá curva angular e reta. A pá curva angular, vista na figura 1, com formato aiveca possui uma curvatura frontal e curvaturas laterais. No movimento giratório, as faces das pás atuam nos granulados movimentando-os radialmente e lateralmente no interior do misturador promovendo a homogeneização do particulado. A pá reta, como apresentada na figura 2, é aquela que no movimento giratório, a face frontal atua sobre os granulados no sentido de arrastá-los,

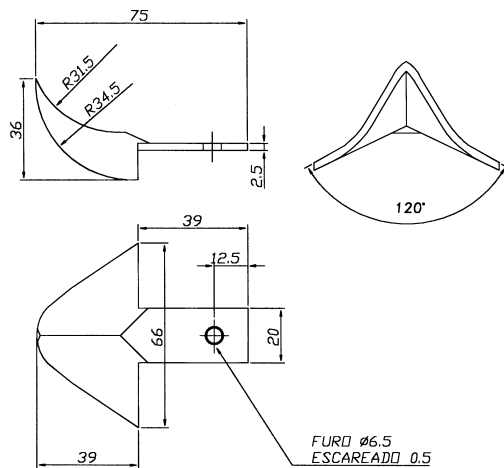


Figura 1. Pá curva angular

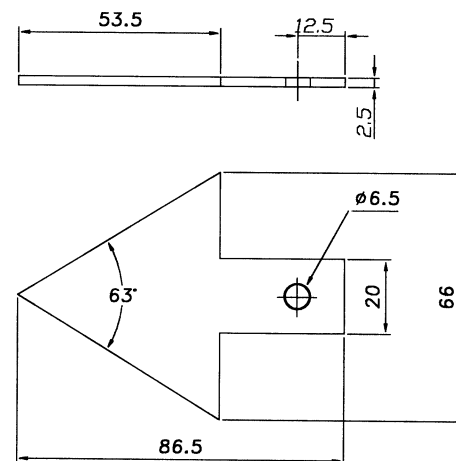


Figura 2. Pá reta

permitindo seu escorregamento e realizando homogeneização dos granulados. Com a pá curva angular, os melhores resultados foram alcançados com taxas de 40% e 50% do volume útil do misturador, nos primeiros 30 segundos. Com a pá reta, com taxa de enchimento de 40% e 50% obteve-se bons resultados a partir de 90 segundos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento utilizado nos experimentos foi um misturador de corpo fixo para pós, descrito em Losnak (1995) e esquematizado parcialmente na figura 3.

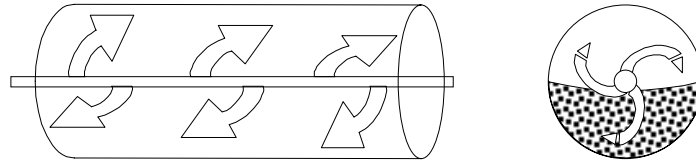


Figura 3. Esquema do cilindro com pás misturadoras.

Foram utilizados ainda: motor elétrico trifásico, tacômetro eletrônico digital, temporizador eletro-mecânico, peneiras, vibrador para peneiras, balanças eletrônicas, estufa, coletor de amostras, bandejas, funis, béquer, pisseta e filtros de papel. Os materiais a serem misturados foram cloreto de sódio e arenito, ambos com diâmetro 0,30 mm.

Foi construído um jogo de 6 de pás com áreas iguais as já ensaiadas e com formato de ataque diferente. A pá curva com abas, mostrada na figura 4, atua no sentido radial e frontal.

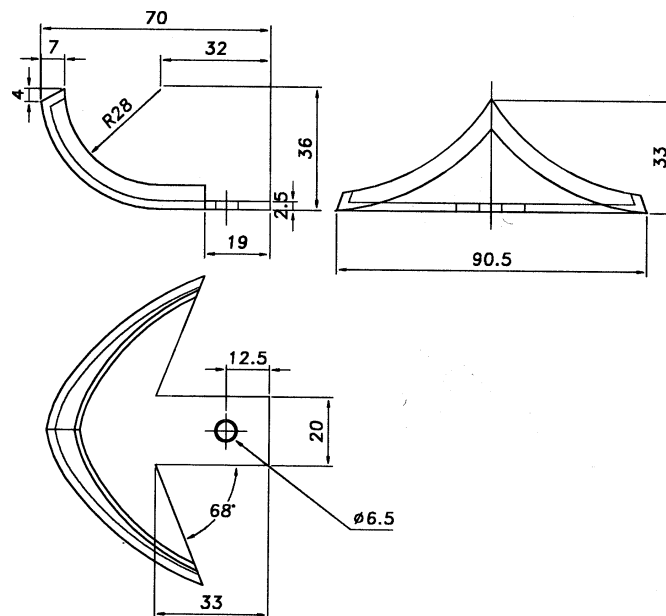


Figura 4. Pá curva com abas.

As pás fixadas ao rotor giram e passam a carregar o material a ser homogeneizado que está no fundo do misturador. As abas não permitem escorregamento lateral dos pós. Quando a pá chega na superfície livre acima do particulado, os pós são atirados no espaço livre. No fundo do misturador ocorre escorregamento do material preenchendo o sulco deixado. Assim tem-se um processo de homogeneização com o lançamento de material pela pá no espaço livre e outro por escorregamento no fundo do misturador.

Os sólidos utilizados nesse trabalho foram cloreto de sódio e arenito após terem passado pelo controle granulométrico apresentado em Losnak (1998). Utilizou-se taxas de enchimento de 40, 50 e 60% da capacidade útil do misturador. Cada taxa de enchimento era

composta de 50% de cloreto de sódio e 50% de arenito. No experimento utilizou-se um jogo composto de 6 pás curvas com abas.

A mistura ideal é de 50% de arenito e 50% de cloreto de sódio em cada amostra. A rotação do rotor do misturador foi de 330 rpm. As pás foram confeccionadas no Laboratório de Mecânica e os ensaios foram realizados no Laboratório de Misturas, ambos do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP, Campus de Bauru.

As amostras foram retiradas aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 segundos de operação e cada ensaio foi repetido 3 vezes, calculando-se a média dos resultados. As densidades aparentes (ρ) do cloreto de sódio e do arenito foram calculadas pela equação (1)

$$\rho = M_{cr} / V_{ur} \quad (1)$$

onde: M_{cr} = Massa contida no recipiente e V_{ur} = Volume do recipiente.

O desempenho de cada jogo de pás foi avaliado por gráficos, através das proporções nas amostras em função do tempo e da rotação. A mistura ideal é a que contém 50% de cada elemento da amostra.

As análises da mistura foram realizadas pelos seguintes processos: pesagem, filtragem e secagem. Foram calculadas as porcentagens de mistura pelas equações (2), (3), (4), (5) e (6).

$$Ml = F_{tt} - F1 \quad (2)$$

$$Ma = Fa - F1 \quad (3)$$

$$Ms = Ml - Ma \quad (4)$$

$$Pa = (Ma / Ml) 100 \quad (5)$$

$$Ps = (Ms / Ml) 100 \quad (6)$$

onde: Ml – massa líquida; F_{tt} – massa total (filtro+areia+cloreto de sódio); $F1$ – massa do filtro; Ma – massa de arenito; Fa – massa (filtro + arenito); Ms – massa de cloreto de sódio; Ps – porcentagem de cloreto de sódio e Pa – porcentagem de arenito.

4. RESULTADOS

Com taxa de enchimento de 40% no misturador pode-se constatar que aos 15 segundos e depois somente ao 150 segundos a homogeneização se mostrou satisfatória, com desvio em relação à mistura ideal de 0,07%. A figura 5, mostra que após os 30 segundos apresentou segregação, voltando a ocorrer homogeneização aos 75 segundos, mantendo segregação e homogeneização até aos 135 segundos. Pela reta de linearização nota-se que aumentando o tempo de mistura existe tendência em manter um desvio médio de 0,90% da mistura ideal.

Aumentando a taxa de enchimento do misturador para 50%, a homogeneização desse ensaio foi apresentada aos 75 segundos como a melhor mistura com diferença da mistura ideal em 0,70 e depois passou a apresentar segregação. A média da diferença da mistura ideal foi de 1,98%. Como apresenta a figura 6, se a operação de mistura for prolongada por muito tempo, a tendência é de permanência da mesma média.

Com a taxa de enchimento de 60% começou a homogeneização e depois passou a apresentar segregação até os 75 segundos. Aos 90 segundos apresentou homogeneização satisfatória. Voltou a segregar novamente até os 165 segundos. Já aos 180 segundos voltou a apresentar a melhor homogeneização desse ensaio como mostra a figura 7. Se continuasse com mais tempo de operação as retas de linearidade tenderiam a se cruzar e aí teríamos uma mistura ideal.

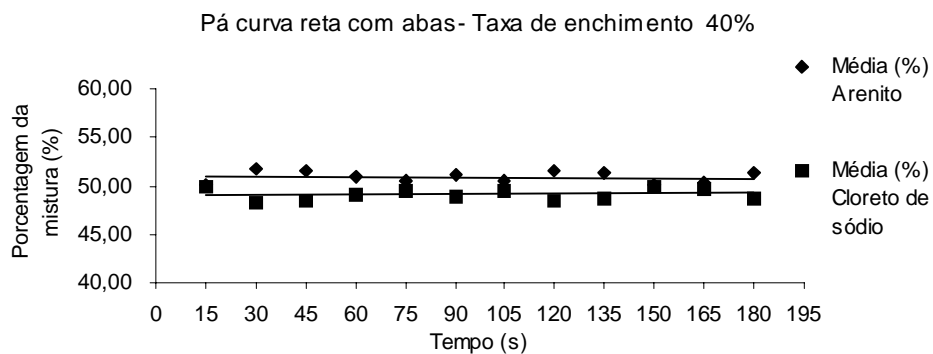


Figura 5. Porcentagem da mistura em função do tempo.

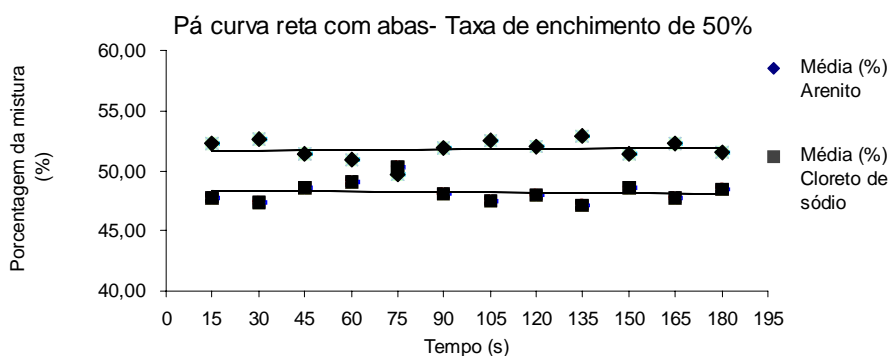


Figura 6. Porcentagem da mistura em função do tempo.

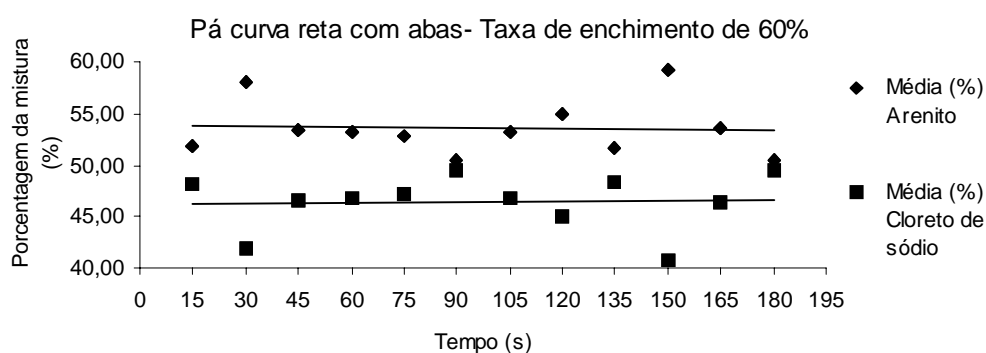


Figura 7. Porcentagem da mistura em função do tempo.

5. CONCLUSÕES

A melhor homogeneização ocorreu com a taxa de 40% de enchimento aos 15 segundos, com diferença da mistura ideal em 0,07%.

Constata-se que o espaço livre do misturador é preponderante. Com esse tipo de pá as abas limitam o volume de material a ser levado para o espaço para ocorrer a pulverização. Pelas retas de linearização nota-se que aumentando a taxa de enchimento, conseqüentemente diminui o espaço livre, daí a diferença da mistura ideal foi aumentando perdendo a qualidade da homogeneização.

Assim podemos afirmar que o escorregamento do material no fundo do misturador não influenciou na homogeneização. Constatamos ainda que na operação de mistura de pós com esse tipo de misturador, ocorre a homogeneização nos primeiros minutos. Quando as retas de linearização permanecerem paralelas, isso indica que mesmo o aumento do tempo de operação não melhora a qualidade da mistura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blumber, G. ; Maritz, J. S., 1953, “ Mixing of solid particles. Chemical Engineering Science” Vol.2, September. p. 240-246
- Carley, K.W. & Donald, M.B., 1964, “The mixing of solids in tumbling mixers- II”. Chemical Engineering Science . v.19. p 191-199.
- Danckwerts, P.V. 1953, “Theory of mixtures and mixing. Research: Science and its application in industry.” Vol.6, n.9, p.355-361.
- Quaglia, G. Sienza e Tecnologia de Alimenti. Milão: Chiciotti Editori, 1992. P. 328-330.
- Losnak, C.,1996, “Avaliação da potência consumida em misturador de corpo fixo”. XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola e II Congresso Latinoamericano de Engenharia Agrícola. Inserida no CD-ROM, nº MAG 034 dos ANAIS do XXV CONBEA- - Bauru/SP.
- Losnak, C. & Sanchez, L.E.A, 1998, “Avaliação de um agitador de peneiras para controle granulométrico”. In Anais. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 31-33.
- Wang.R.H.; Fan,L.T.(1977) Stochastic modelling of segregation in a motionless mixer. Chemical Engineering Science, v. 32, p. 695–701.
- Losnak, C. 1999, Palma, G. L., Sanchez, L.E.A. “Comparação da eficiência do ataque frontal das pás do misturador rápido de corpo fixo para homogeneização de pós. IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica/CIDIM 99. Santiago–CHILE - Vol.1- Manufatura.