

ESTUDO DA DINÂMICA DE ARMAZENAMENTO DE PÓ ATOMIZADO DE MASSA CERÂMICA EM SILOS INDUSTRIAIS

A. Demarch^{1,3*}, Checinel³, A. A. De Noni Jr,^{1,2*}

¹Departamento de Engenharia Química,

²Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM,
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Av. Universitária, 1105, B.
Universitário, CEP 88806-000, Criciúma, SC.

³Eliane Revestimentos Cerâmicos

*e-mail: agenordenoni@unesc.net; alinedemarch@gmail.com

RESUMO

Um problema frequente na etapa de armazenamento de pó atomizado cerâmico em silos industriais é a segregação granulométrica, o pó fino tende a ficar concentrado na região central do silo, e o grosso, em maior concentração, próximo as paredes. Neste trabalho foi estudada a segregação granulométrica em silos e formas de eliminar ou reduzir o problema. Os ensaios foram realizados em silo laboratorial reproduzindo as dimensões de um silo industrial. Foi avaliado o desempenho de diferentes chicanas, cone e binsert, além de diferentes formas de alimentação. A quantificação da variação granulométrica durante a descarga foi realizada por meio do coeficiente de variação. A alimentação distribuída, proporciona uma redução considerável do coeficiente de variação, do mesmo modo que o uso de cone e o binsert. Este último com melhor desempenho devido ao fluxo formado na descarga.

Palavras chave: revestimentos cerâmicos, granulometria, otimização

INTRODUÇÃO

Os silos empregados no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos tem como função armazenamento de pó atomizado e homogeneizar a umidade entre diferentes frações granulométricas. Para isso o material fica armazenado por um determinado tempo, tipicamente 48 horas é o recomendado. Este tempo é muito significativo, principalmente por representar mais de dois terços do ciclo total de produção. Alguns problemas podem ocorrer nessa etapa do processo: interrupções de

fluxo devido à formação de grumos nos silos, segregações do material devido ao seu tamanho, etc.. Alguns desses problemas podem ser minimizados ou até eliminados a partir de um projeto adequado do silo⁽¹⁾.

Durante o carregamento, que normalmente é centralizado, ocorre segregação das frações finas e grossas. O material grosso, com maior fluidez, se deposita próximo às paredes. O material fino fica localizado na parte central do silo. A forma como se estabelece o fluxo de descarga pode contribuir para manter ou atenuar o problema de segregação ocorrida no carregamento. Se a descarga ocorrer através de fluxo mássico, todo o material se move conjuntamente durante a operação. O material em contato com as paredes não fica estagnado, fluindo junto com o material da parte central. Desde o início da descarga nenhuma partícula ou aglomerado permanece em sua posição original, todas se movem, impedindo a formação de zonas mortas. Como resultado, o material segregado volta a se homogeneizar. Se a descarga ocorrer pelo mecanismo de fluxo tubular o material da região central tende a sair primeiro, de acordo com o representado na figura 1. O resultado é uma oscilação na distribuição granulométrica do pó que é alimentado ao processo⁽²⁾. O principal fator que determina que tipo de fluxo é estabelecido durante a descarga do silo é o ângulo do cone de saída⁽¹⁾. Normalmente os silos encontrados em fábricas brasileiras possuem angulação mais propícia a formação de fluxo tubular. O principal efeito destas oscilações na composição granulométrica do pó pode estar relacionado com variações dimensionais no produto acabado.

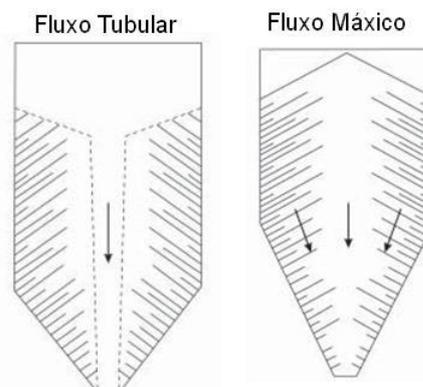


Figura 1. Representação fluxo tubular e mássico⁽¹⁾

A literatura tem reportado alternativas para minimizar problemas de segregação granulométrica sem que seja necessário alterar o projeto original do silo⁽¹⁾. Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito e aplicabilidade de algumas técnicas de evitar

o problema de variação granulométrica em silo que possui fluxo de descarga do tipo tubular. Para isso estudou-se o efeito de chicanas no seu interior assim como diferentes formas de alimentação do pó.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Materiais

Foi construído um silo piloto, ilustrado pela Figura 2a. As dimensões são típicas e proporcionais a silo utilizado industrialmente. O material de construção é de chapa metálica, e sem pintura ou tratamento de superfície, semelhante ao industrial. Foram construídos três dispositivos acessórios. Um difusor, empregado a operação de carregamento, para distribuir o pó ao longo da seção transversal, Figura 2b. Uma chicana do tipo *binsert*, tronco de cone, Figura 2c, uma chicana do tipo cone, Figura 2d. Quando foram usadas, as chicanas eram instaladas no interior do silo, próximo ao cone de saída.

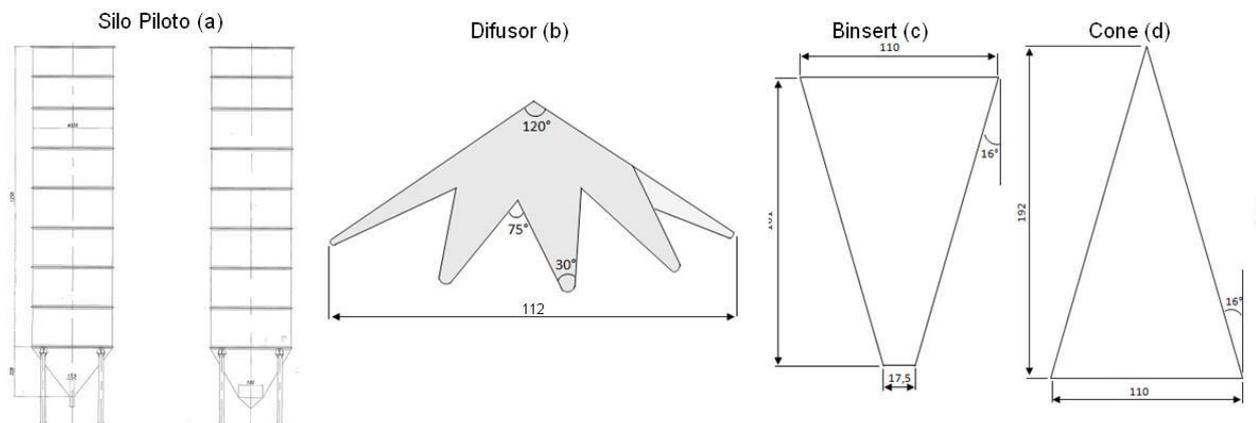


Figura 2. Silo piloto e dispositivos acessórios

Para o dimensionamento da inclinação das chicanas, α_1 levou-se em consideração as dimensões do silo, a angulação do cone de descarga, α_2 , e o ângulo do cone de descarga em que o fluxo se torna mássico, $\alpha_{mássico}$, 23° ,⁽¹⁾, calculada pelas equações A, B e C:

$$\alpha_1 < \alpha_{mássico} \quad (A)$$

$$\alpha_2 - \alpha_1 < \alpha_{mássico} \quad (B)$$

$$\alpha_2 - \alpha_{mássico} < \alpha_1 < \alpha_{mássico} \quad (C)$$

Uma quantidade de 20 kg de pó atomizado foi coletado diretamente na saída do atomizador industrial. Trata-se de um pó atomizado típico de produção de revestimentos cerâmicos produzido por via úmida. No caso em questão o material é destinado a fabricação de revestimento do tipo monoporosa, classe BIII, segundo NBR 13818.

Método

O pó atomizado foi caracterizado através de curva de distribuição de granulométrica em peneiras, malhas: 500 µm, 425 µm, 300 µm, 212 µm e 125 µm. Os materiais retidos na malha 425 µm foram classificados como grossos. Passantes em 425 µm e retidos em 212 µm, classificados como médios. Passantes em 212 µm, como finos.

O experimento consistiu em avaliar a evolução da distribuição granulométrica do pó atomizado ao longo do descarregamento do silo piloto. 8 amostras de 150 g foram coletadas a cada dois minutos de escoamento. O tempo total de descarga foi de 16 minutos. Foram realizados 4 corridas experimentais. A Tabela 1 apresenta o detalhamento da configuração do sistema em cada caso. A título de comparação, foi acompanhada a descarga de um silo industrial, coletando uma amostra de 500g a cada 1 hora. A comparação dos resultados foi realizada na forma gráfica e de forma numérica.

Tabela 1. Detalhamento das corridas experimentais em silo piloto

Corrida	Sigla	Difusor	Cone	Binsert
1	S-N	Não	Não	Não
2	S-D	Sim	Não	Não
3	S-C	Não	Sim	Não
4	S-B	Não	Não	Sim

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparação silo industrial Vs. Piloto

Na figura 03 está representada a evolução da fração de grossos médios e finos em função do tempo de descarga para as condições piloto normal (SN) e industrial (I). O tempo de descarga foi normalizado entre 0 e 1, que representa o intervalo de início e fim do descarregamento. Tanto no silo industrial quanto no silo piloto, ocorrem variações nas frações de grossos, médios e finos, no decorrer da descarga dos silos. O aumento do percentual de grossos a partir da metade da descarga do silo e principalmente nas fases finais, bem como um decréscimo no percentual de finos, confirma a formação do fluxo tubular. No caso industrial o efeito foi mais acentuado do que o silo piloto.

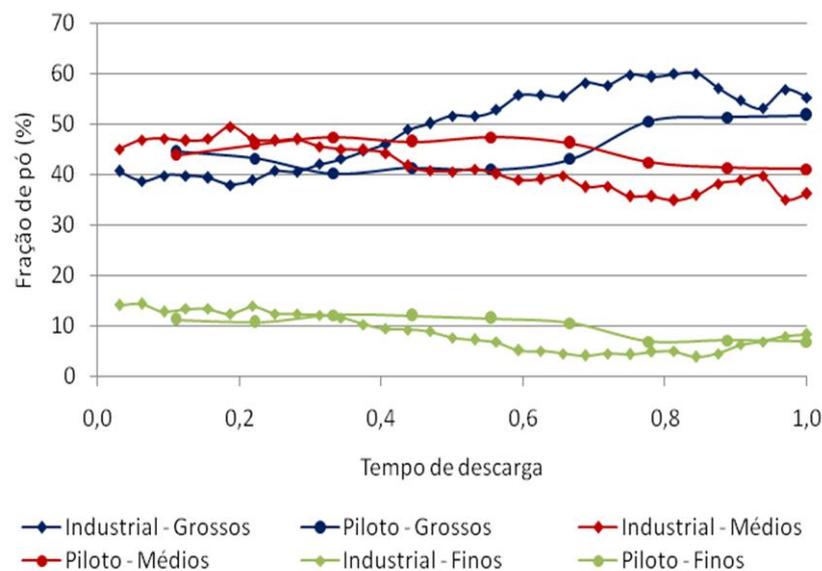


Figura 3. Evolução das frações de pó função do tempo de descarga para as condições piloto normal (SN) e industrial (I)

Efeito do Difusor

A Figura 04 está representada a evolução da fração de grossos médios e finos em função do tempo de descarga para as condições piloto normal (S-N) e piloto com difusor de fluxo na alimentação (S-D). O resultado mostra que ocorre segregação granulométrica no silo piloto, gerando variação no percentual de grossos durante a

descarga do silo. A alimentação distribuída proporciona uma melhoria em termos de variação de percentual de grossos no decorrer da descarga.

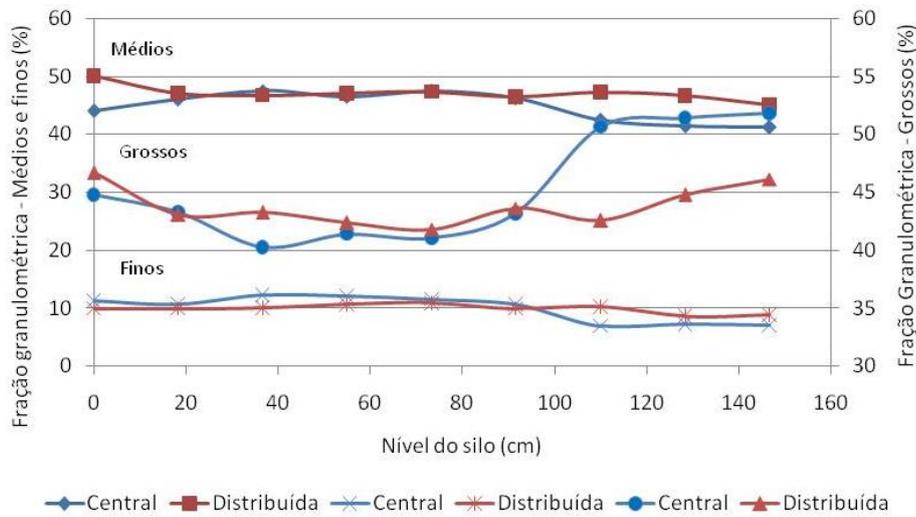


Figura 04 – Efeito da alimentação central e distribuída nas frações granulométricas

Efeito das Chicanas

A Figura 05 está representada a evolução da fração de grossos médios e finos em função do tempo de descarga para as condições piloto com chicana tipo cone (S-C) e piloto com chicana do tipo *binsert* (S-B). Cabe ressaltar que nestas condições não foi aplicado o difusor na alimentação, o carregamento foi do tipo normal. De acordo com o gráfico, não se observa grandes variações no percentual de grossos, médios e finos nos testes realizados com as chicanas. Pode-se perceber como o efeito da segregação granulométrica provocada pela alimentação é atenuado quando se estabelece um fluxo mássico de escoamento com a utilização das chicanas.

Ao realizar os testes no silo piloto na presença do Binsert e do Cone Invertido, observou-se que se estabeleceu um fluxo do tipo mássico, portanto ainda que haja segregação granulométrica durante a alimentação, esse efeito será minimizado devido ao fluxo mássico formado durante o descarregamento.

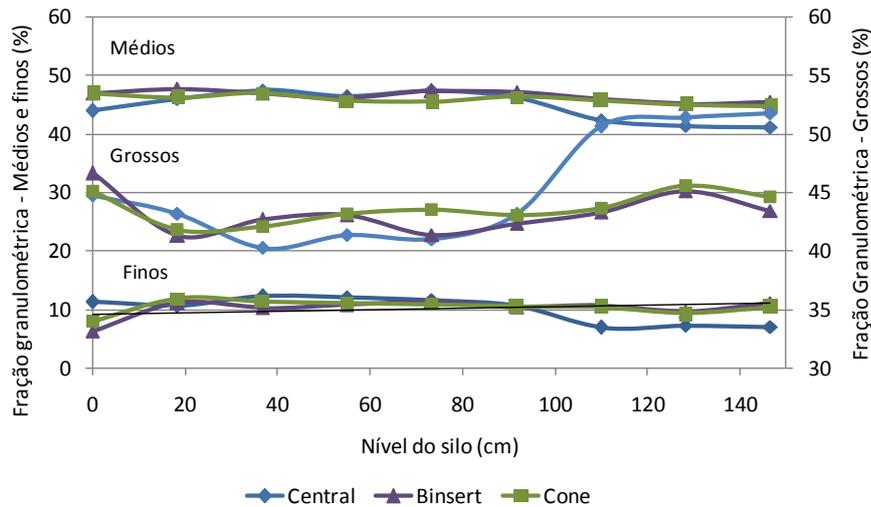


Figura 05 – Efeito da utilização de chicanas no percentual de grossos

A figura 06 mostra fotografias feitas como vista superior do silo durante a descarga. Foram comparadas as condições sem chicanas e com chicanas. A figura representa diferentes fases da descarga: fase inicial, intermediária e final. As setas indicam a aglomeração de pó nas paredes do silo piloto, o que demonstra a formação do fluxo tubular. Visualmente pode-se observar que o fluxo do pó na presença do Binsert foi mais favorável, uma vez que o fluxo mássico ocorre desde o início até o término na descarga, já que o binsert faz com que o fluxo de pó na região central seja mais lento, quando comparado a velocidade do fluxo sem a presença do mesmo no interior do silo.

Com a utilização do cone invertido, o fluxo mássico se estabelece desde o início da descarga até o momento em que o pó atomizado atinge o nível próximo ao cone, depois disso o fluxo se torna tubular, e os efeitos da segregação granulométrica da alimentação tendem a voltar a aparecer. Além disso, em alguns momentos da descarga, observou-se fluxo tubular de pequena intensidade.

Para verificar qual método é mais eficiente na redução da variação granulométrica durante a descarga do silo, foi comparado o coeficiente de variação de cada fração granulométrica, finos, médios e grossos, dos testes realizados: alimentação central, alimentação distribuída, utilização de Binsert e cone invertido no interior do silo piloto e o silo industrial. Os resultados são expressos na tabela 2.

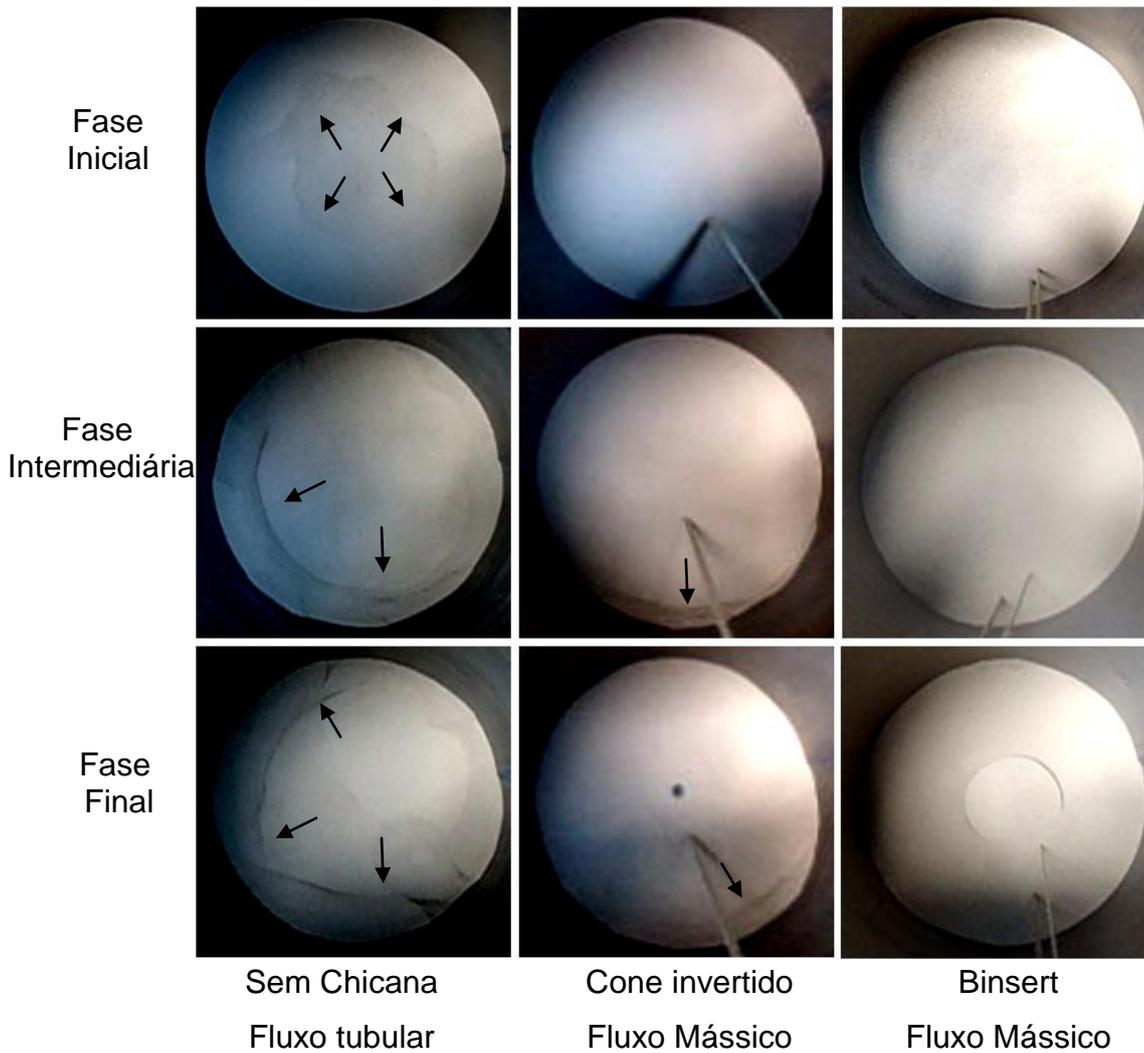


Figura 06 – Fluxo tubular e mássico no interior do silo piloto

O silo industrial apresenta um coeficiente de variação superior ao silo piloto, ou seja, ocorre maior segregação no silo industrial e conseqüentemente maior variação granulométrica durante o processo de descarga. A maior variação ocorre no pó de granulometria fina já que apresentou um coeficiente de variação superior as demais frações. A variação dos pós de granulometria média não é tão crítica quanto a variação do pó de granulometria fina e grossa, uma vez que se acomodam em posição intermediária entre os finos e os grossos durante o carregamento.

Avaliando o silo piloto, e as medidas adotadas para reduzir a variação granulométrica, a alimentação distribuída, proporciona uma redução considerável do coeficiente de variação, sobretudo no pó de granulometria grossa e fina. O mesmo ocorre para as chicanas, a maior redução no coeficiente de variação também ocorre nos pós grossos e finos. As chicanas proporcionam menor coeficiente de variação e, portanto menor variação granulométrica que a alimentação distribuída.

Tabela 2. Coeficiente de variação das frações granulométricas

Alimentação	Silo Industrial	Silo Piloto			
	Central	Central	Distribuída	Central	Central
Chicanas	Sem chicanas	Sem chicanas	Sem Chicanas	Cone	Binsert
Grossos	17,42	11,13	3,12	2,76	2,72
Médios	9,89	5,99	1,59	1,61	2,00
Finos	35,94	23,45	8,09	7,76	5,25

Tanto o Binsert quanto o cone invertido apresentaram bons resultados, entretanto pode-se afirmar que a utilização do Binsert foi mais satisfatória devido ao fluxo mássico formado, uma vez que a utilização do cone invertido não elimina o fluxo tubular por completo, mas o reduz de forma significativa. Mesmo diante desses resultados é necessário realizar uma avaliação dos inconvenientes para a instalação de chicanas e dispositivos para alimentação, para determinar qual o melhor método a ser adotado industrialmente.

CONCLUSÃO

De acordo com as resultados obtidos fica comprovado que é possível atenuar o efeito da segregação em silos projetados incorretamente: trabalhar com alimentação distribuída em substituição a alimentação centralizada e inserir chicanas no interior do silo.

A alimentação distribuída reduziu o problema de segregação granulométrica no silo piloto, no entanto de forma menos acentuada quando comparada a utilização de chicana. Medidas como alimentação distribuída atenuam, além da segregação granulométrica, a heterogeneidade da umidade, já que uma melhor distribuição granulométrica proporciona maior taxa de transferência de umidade entre pós de diferentes granulometrias. De acordo com os resultados obtidos, a chicana do tipo Binsert apresentou melhores resultados uma vez que proporcionou fluxo mássico durante a descarga do silo piloto, desde seu início até o término, a chicana do tipo cone também proporciona bons resultados, uma vez que forma o fluxo mássico, porém em certos pontos da descarga ainda se observa a presença de fluxo tubular. É importante observar que inserir um dispositivo para distribuir o pó atomizado na alimentação em um silo industrial é mais viável que inserir chicanas no interior do silo, uma vez que

para esse último caso é necessário que se despenda maior mão de obra, investimento, perda do volume útil do silo, além do inconveniente da fixação das chicanas no silo.

REFERÊNCIAS

- (1) AMORÓS, J.L., GARCÍA, J., MALLOL, G., SÁNCHEZ, E.. Projeto de Silos para o Armazenamento de Materiais na Forma de Pó. Problemas Associados à Etapa de Descarga. Cerâmica Industrial. São Paulo, v.7, n.1, p. 12 -2, 2000.
- (2) MALLOL, Gustavo Gash. Manejo de Materiais Pulverulentos. Curso de manejo de materiais pulverulentos. 2011, 133p.

DYNAMIC STUDY OF STORAGE CERAMIC SPRAY-DRYER POWDER INTO SILOS

ABSTRACT

A frequent problem in storage ceramic spray-dryer powder in industrial silos is the particle size segregation: fine particles tends to stay concentrated in the central volume of the silo while the coarse particles is deposited near the walls. The aim of this paper is to study alternatives do reduce particle size segregation. The experiments were conducted in laboratorial silo, with same proportional size comparing the industrial silo. The performance of different baffles, cone and binsert were evaluated, beyond different types of loading. Quantification of particle size variation during discharge was performed by the coefficient of variation. The distributed loading provides a considerable reduction of the coefficient of variation, but with the use of baffles the variation was smaller, less particles segregation. Binsert baffles performed better than cone baffles.

Keywords: ceramic tile, granulometry, optimization.