

PROJETO DE PONTOS DE TRANSFERÊNCIA DE MINÉRIOS - INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA E DAS PROPRIEDADES DO MATERIAL¹

Carlos Alberto Llanes Leyva²
Marcio Bonfim Dessaune³

Resumo

Durante o manuseio e processamento de materiais granulados, os pontos de transferência permitem mudar sua quantidade de movimento. Eles constam de transportadores de correia, alimentadores, calhas de transferência (*chutes*), silos, torres de transferência, etc. Eles devem ser projetados com o objetivo de descarregar centralizadamente o material na correia de recebimento; reduzir o desgaste do chute e a degradação do material manuseado; evitar entupimento, material fugitivo e geração de pó. Os chutes requerem geometrias tridimensionais complexas projetadas sob medida para controlar a velocidade do fluxo na aplicação dada. Neste trabalho são apresentados os critérios de projeto tradicional e moderno para chutes, relacionando as variáveis que influenciam no seu desempenho e no desgaste das paredes, e os ensaios correspondentes. É citada uma metodologia de projeto, auxiliada também pelo modelamento 3D em CAD paramétrico e simulação numérica do fluxo do material com software baseado em DEM (Discrete Element Method). Para exemplificar, foram relatados casos de projeto.

Palavras-chave: Chutes; Transportadores de correia; Pontos de transferência; Manuseio de materiais granulados.

TRANSFER POINTS FOR BULK SOLIDS HANDLING - THE INFLUENCE OF GEOMETRY AND MATERIAL PROPERTIES

Abstract

While handling and processing bulk solids, transfer points are used to change the momentum of the material flow. They may consist of belt conveyors, chutes, silos, transfer houses, etc. These transfer points should be properly designed to centralize the unloading of the material over the receiving belt, to reduce the wear of the chute wall and the degradation of the material handled, and to avoid plugging, fugitive material and dust generation. Chutes require complex tri-dimensional geometry, with customized design, in order to control the flow velocity. The traditional and modern criteria in chute design for bulk solids handling were explained in this work, as well as the variables that influence the chute performance and the wear of the chute wall, with their correspondent lab test. It is referenced a design methodology, aided by 3D modeling with CAD and numerical simulation of the flow by using DEM (Discrete Element Method) software. Case studies were shown as examples.

Key words: Chute; Belt conveyors; Transfer points; Bulk solids handling.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico. Mestre em Engenharia Mecânica. Professor da Faculdade UCL Ensino Superior. Supervisor de Engenharia da Martin Engineering, Vitória Office. Vitória – ES*

³ *Engenheiro Mecânico. Gerente da Divisão de Engenharia da Martin Engineering, Vitória Office. Vitória - ES.*

1 INTRODUÇÃO

Durante o manuseio e processamento de materiais particulados, são frequentemente utilizados pontos de transferência que permitem mudar a quantidade de movimento do material, seja em direção, sentido e/ou módulo. Nas indústrias siderúrgicas e em muitas outras que processam materiais granulados, os pontos de transferência envolvem normalmente (Figura 1) transportadores de correia de alimentação e recebimento, calhas de transferência (chutes), alimentadores, torre de suporte da transferência, silos etc.

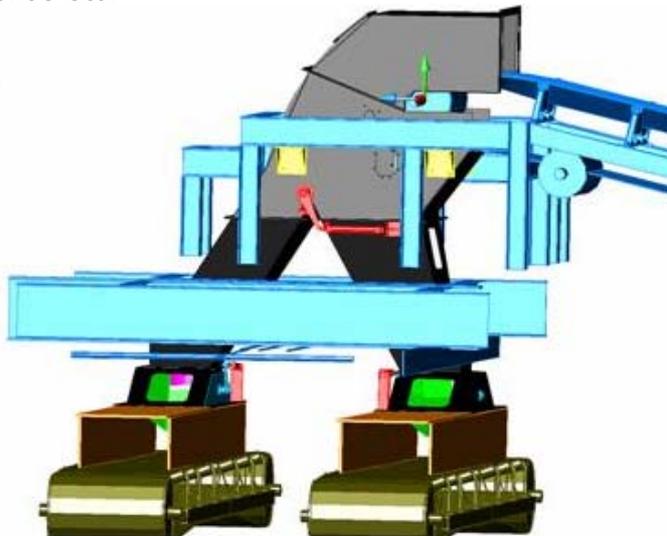


Figura 1: Representação esquemática de um ponto de transferência de minérios.

Freqüentemente os chutes de transferência demandam geometrias tridimensionais complexas, cuja adequação à aplicação particular é importante para evitar o entupimento; reduzir o desgaste das paredes; e controlar a velocidade do fluxo de forma a minimizar os problemas de geração de pó, desalinhamento da correia de saída, derramamento de material, etc. O projeto do chute de transferência deve ser customizado para cada aplicação específica, considerando as particularidades da instalação e do material manuseado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os problemas de manuseio de materiais granulados em geral - e de minérios em particular - têm sido objeto de estudo e interesse da comunidade acadêmica e industrial. Dentre outras contribuições relevantes nesta área, podemos destacar:

- ✓ O trabalho de décadas do Dr. Alan W. Roberts, Professor Emérito e Diretor do *Centre for Bulk Solids & Particulate Technologies, The University of Newcastle*, Austrália. Suas contribuições no modelamento do escoamento de minérios em chutes e a formação de uma escola para a pesquisa aplicada nessa área ganharam reconhecimento internacional.

- ✓ Os trabalhos do Dr. Andrew Jenike, iniciados na Universidade de Utah - USA, e também aplicados largamente na indústria, com valiosas contribuições no campo de medição das propriedades de materiais granulados e seus efeitos nos fenômenos de escoamento.

- ✓ O esforço das associações industriais e entidades reguladoras, como por exemplo da *Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA)* nos Estados

Unidos, bem como algumas normas nesta área produzidas pela *American Society for Testing Materials (ASTM)* e pela *British Standard Organization (BSO)*.

✓ Os trabalhos da comunidade científica internacional, refletidos nas várias edições de congressos e eventos como *World Congress on Particulate Technology, Conference on Particulate Systems Analysis, Bulk Materials Handling Exhibition, etc.*, e em periódicos internacionais como *Bulk Solids Handling, Powder and Bulk Engineering, Tribology International, Powder Technology, Wear*, e outros.

Nos últimos anos, o desenvolvimento da computação tem disponibilizado ferramentas valiosas que auxiliam no projeto de chutes. Aplicativos para modelamento geométrico em 3D (*Computer Aided Design - CAD*) e programas de cálculo de parâmetros do escoamento por elementos finitos (*Discrete Element Method – DEM*) podem ser integrados no processo de projeto de chutes de transferência para conseguir resultados satisfatórios. Muita pesquisa ainda precisa ser feita no modelamento dos fenômenos de escoamento e desgaste, na engenharia das superfícies em contato, na influência da geometria e das propriedades dos materiais, nos programas de cálculo e sua validação experimental, etc.

3 RESULTADOS

No Brasil - embora seja um país com larga tradição em mineração e metalurgia e com muitas empresas que atuam no ramo de manuseio de minérios - pouca engenharia tem sido aplicada no projeto de chutes de transferência. As soluções foram muitas vezes determinadas pelo empirismo e experiência anterior dos projetistas, com resultados freqüentemente insatisfatórios pelas particularidades que diferenciam cada aplicação de outra. Isto obriga a custosa adequação em campo e manutenção onerosa dos equipamentos, reduzindo a disponibilidade e produtividade do sistema de transporte de material. Considerando os problemas associados a projetos ineficientes de chutes de transferência, torna-se importante o estudo dos fatores de influência e a definição de uma metodologia de projeto destes equipamentos, com fundamentação científica e aplicação de recursos computacionais modernos.

3.1 Princípios de Projeto Eficiente de Chutes ou Calhas

O projeto adequado objetiva a operação do chute com desgaste reduzido e aumento da sua disponibilidade, considerando os fatores geométricos e de operação da instalação, as propriedades do material manuseado e do seu escoamento, e a especificação do material de revestimento das paredes do chute (*liner*) com propriedades adequadas para a aplicação.

O projeto do chute impacta a vida útil dos componentes do sistema de transporte, bem como a manutenibilidade e produtividade do sistema como um todo. A melhor configuração a adotar depende da capacidade da linha (t/h), das velocidades dos transportadores, dos ângulos de inclinação e direção das correias, da altura de queda, do material transportado e das paredes do chute, dentre outros.⁽¹⁻⁴⁾

Variações de alguns parâmetros podem impactar grandemente o projeto do chute. Um mesmo ponto de transferência pode melhorar ou piorar seu desempenho ao longo do tempo em função de variações da capacidade, do tipo de material transportado (ou de sua granulometria, umidade) etc.

Um projeto ideal de chute de transferência deveria considerar os seguintes princípios.⁽⁵⁻⁹⁾

- 1- Evitar o acúmulo de material nos pontos de impacto e assegurar suficiente área da seção transversal, descarregando o material com vazão constante;
- 2- Descarregar o material centralizado sobre a correia de saída, evitando desalinhamento da correia e derramamento de material;
- 3- Descarregar o material com velocidade próxima à da correia de saída, e na direção de movimento dela;
- 4- Descarregar o material na correia de saída após a região de transição, com a correia já conformada sobre os roletes;
- 5- Descarregar o material com mínimo impacto sobre a correia de saída, minimizando seu desgaste;
- 6- Controlar o fluxo e minimizar a degradação do material ao longo da transferência, reduzindo a geração de pó e conservando a granulometria desejada do material manuseado.
- 7- Minimizar o atrito com as partículas do material manuseado;
- 8- Minimizar o desgaste das paredes do chute e seu revestimento.

3.2 A Abordagem Convencional de Projeto de Chutes, e suas Limitações

A abordagem convencional no projeto de chutes tem sido designada na literatura pelas siglas em inglês S3:⁽⁵⁾ o material pára (*Stops*); então se espalha (*Spreads*) e depois se empilha (*Stalls*). Quando colide com uma superfície de impacto plana (normalmente de metal resistente ao desgaste, ou com revestimento duro), o material sofre atrito enquanto partículas em movimento colidem com partículas estacionárias (ou diretamente contra a superfície de impacto, no início da alimentação). Este atrito pode gerar finos e custos adicionais em materiais onde os finos são removidos, como no carvão, por exemplo. Um ponto de transferência convencional, baseado nos fundamentos descritos nesta seção, é ilustrado na Figura 2.

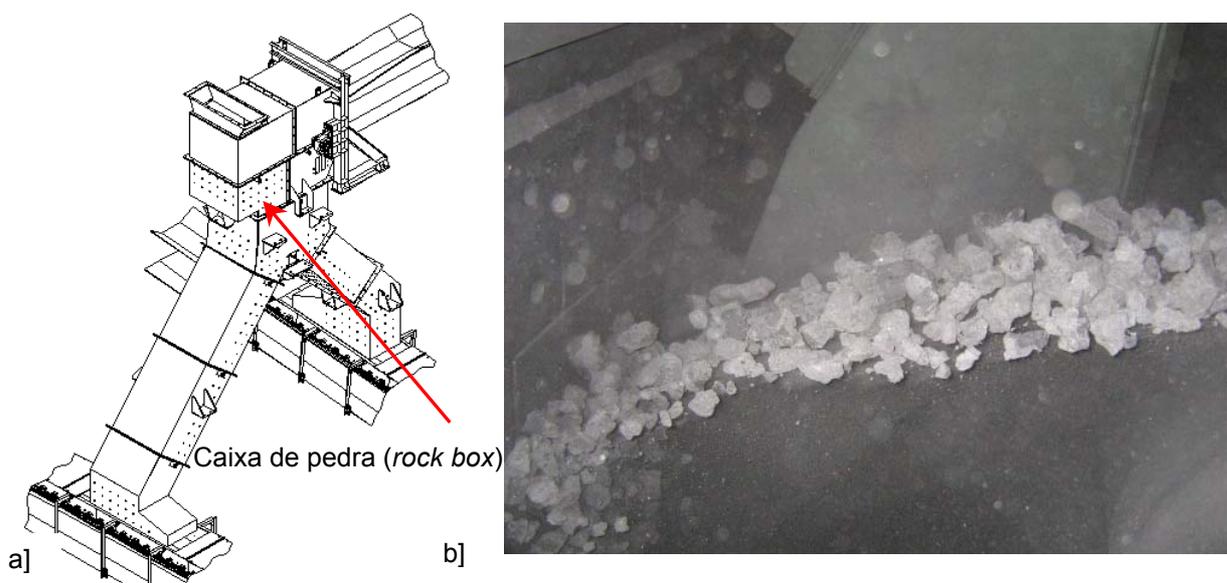


Figura 2: a) Projeto de um chute convencional. b) Impacto da corrente de coque sobre a parede revestida com placas de desgaste em aço ligado ao cromo.

Após o impacto inicial, uma porção do material fica empilhada formando a chamada “caixa de pedra” (*rock box*). Ela receberá o impacto da corrente de material, protegendo a parede do chute de colisões contínuas. Também, uma parte do material será projetada lateralmente ao longo das paredes do chute, pois normalmente não há restrição para esse espalhamento. Esse material projetado para os lados da corrente principal posteriormente impacta nas quinas do chute, onde o atrito adicional com a parede pode provocar a adesão do material sobre ela.

A consolidação é o fenômeno de aumento da resistência ao cisalhamento de um material granulado confinado, como consequência da ação de pressão ao longo do tempo. Este aumento da resistência, combinado com a deposição adicional de material empilhado na caixa de pedra, pode levar ao entupimento do chute. Variações na umidade, aderência e granulometria do material manuseado ao longo do tempo também podem causar entupimento. Em qualquer caso, tal entupimento requer esforço e tempo para ser resolvido, e sua recorrência reduz a disponibilidade e produtividade do sistema.

Uma vez que o material foi desacelerado pela caixa de pedra, normalmente sofre queda livre por uma pequena altura antes de impactar na região direcional do chute. A calha direcional é concebida para atender a múltiplos objetivos, incluindo a entrega do material centralizado na correia de saída, o controle do fluxo e a redução da geração de pó.

Em muitos materiais, a fração estacionária dentro do chute perderá umidade para o ambiente e poderá aumentar significativamente sua resistência por consolidação.

Muitas vezes o chute é construído em aço de baixo carbono. Quando a parede é perfurada pelo impacto e desgaste, são soldadas placas metálicas no local. Esse procedimento resulta em imperfeições superficiais que facilitam o acúmulo de material e aumentam a probabilidade de entupimento do chute.

A concepção de “caixas de pedra” é particularmente desvantajosa em casos de linhas em que o material transportado muda ao longo do tempo, como ocorre comumente em sistemas de carregamento e descarregamento de navios. Nessas situações, para evitar a mistura de materiais diferentes, são necessárias paradas mais prolongadas para remover o material depositado nas caixas de pedra. Entretanto, quando bem projetados, chutes convencionais com “caixas de pedra” ainda podem ser uma solução econômica e funcional na prática industrial.

3.3 A Abordagem Moderna de Projeto de Pontos de Transferência – Chutes Curvos

Todo projeto básico de chute deve começar considerando as restrições impostas pela geometria e condições de operação da transferência, seja ela uma instalação nova sendo projetada, ou uma já existente que esteja sofrendo modificação. Outro aspecto essencial é adotar um modelo adequado de previsão da trajetória do material na saída do tambor de descarga. Existem vários destes modelos⁽⁸⁻¹¹⁾ de forma que é possível prever a região de impacto do material descarregado sobre as paredes do chute que está sendo projetado.

Em muitas aplicações industriais, os chutes são aplicados em condições de “escoamento rápido”, nas quais a espessura ou profundidade da corrente de material granulado é menor que a largura do chute. Nessas condições, é possível descrever o escoamento do material através de um modelo de bloco^(8,12-15) sobre o qual são aplicadas as leis de Newton, as leis de energia e quantidade de movimento, a cinemática e outros princípios da mecânica clássica. Esse método, usado em

conjunto com algum modelo de previsão da trajetória, permite se aproximar de uma geometria simplificada, adequada à aplicação.

Outros estudos abordam condições diferentes das do escoamento rápido,^(8,13) enquanto alguns pesquisadores trabalham o escoamento de materiais particulados como um fenômeno submetido às leis da mecânica dos fluidos.^(8,16)

Com base nesses fundamentos teóricos, estudiosos^(1,4-8,12,14,17-19) procuram projetos modernos de chutes de transferência baseados numa filosofia conhecida como C4 pelas siglas em inglês: primeiro Captar a corrente de material que entra no chute (*Capture*), para depois Curvar e Concentrar a corrente (*Curve and Concentrate*), e finalmente descarregar a corrente de material Centralizado sobre a correia de saída (*Centralize*). Veja na Figura 3 a) uma representação esquemática deste conceito moderno para um ponto de transferência.

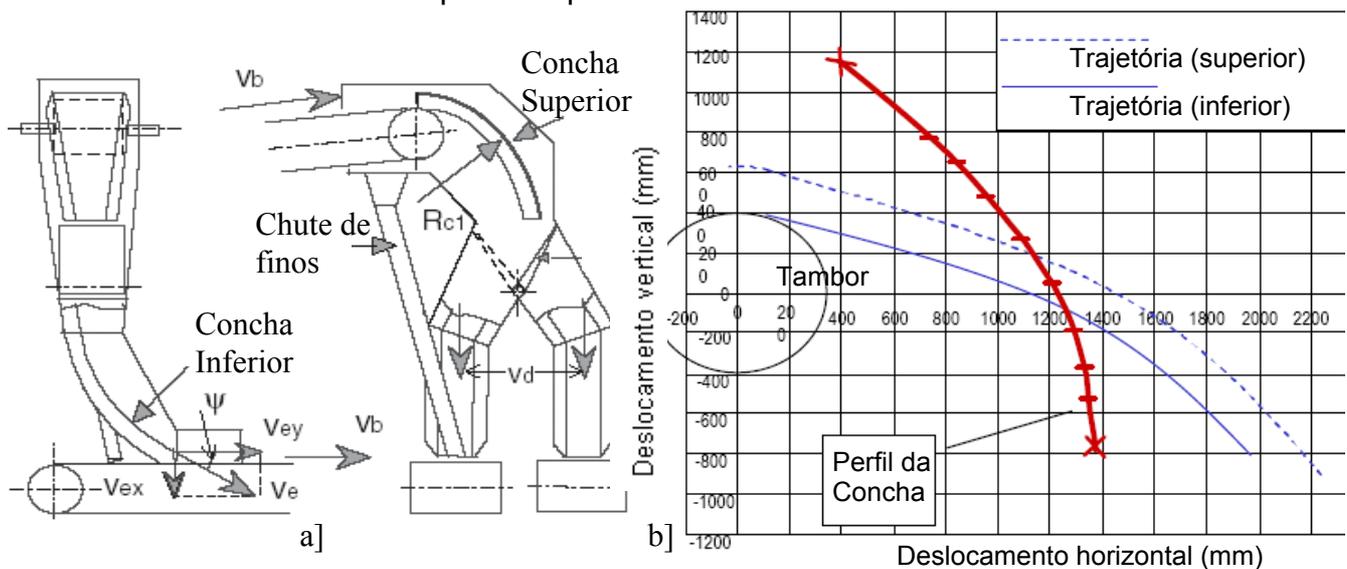


Figura 3: a) Conceito moderno de transferência.⁽¹²⁾ b) A curvatura da calha direcional deve se aproximar o quanto possível à curva de trajetória do material.

Assim, o material é controlado durante a operação de transferência. Para facilitar esse processo, utiliza-se certo número de calhas curvas. Por simplicidade, muitas vezes a calha de transferência é separada em dois componentes principais:

- 1- a concha superior (*hood*) para interceptar a trajetória do material com pequeno ângulo de incidência, curvar a corrente até direcioná-la verticalmente, e concentrar o fluxo;
- 2- a concha inferior (*spoon*) para interceptar a corrente vertical de material com pequeno ângulo de incidência, curvar a corrente até direcioná-la na direção da correia de saída, reduzir sua velocidade até aproximadamente a velocidade da correia, e descarregar o material centralizadamente.

4 DISCUSSÃO

Embora os procedimentos de cálculo geométrico da transferência fogem ao escopo deste artigo, cabe ressaltar que o princípio de funcionamento para o controle do fluxo baseia-se em aproximar o quanto possível o raio de curvatura da trajetória do material no ponto de impacto ao da calha direcional - (Figura 3 b) -, e minimizar a mudança de direção da velocidade do material como consequência desse impacto.

A Figura 4 mostra um exemplo de projeto moderno de chutes de transferência. Chutes que permitem o controle do fluxo de material têm sido designados pela

Martin Engineering como **IFT (Inertial Flow Transfer)**. Atualmente, além de aços carbono e ferros fundidos, é comum encontrar aplicações em chutes de aços inox, polímeros, revestimentos cerâmicos em alumina, carbetto de silício, carbetto de tungstênio, e até mesmo de revestimentos compostos que utilizam substratos de aço e borracha revestidos em cerâmica. Algumas empresas no Brasil já contam com tecnologia de processo para aplicar esses materiais na fabricação de calhas curvas de praticamente quaisquer geometrias e dimensões.

A Figura 5 mostra como a simulação numérica do fluxo do material pode auxiliar no projeto de pontos de transferência com adequado controle da velocidade.

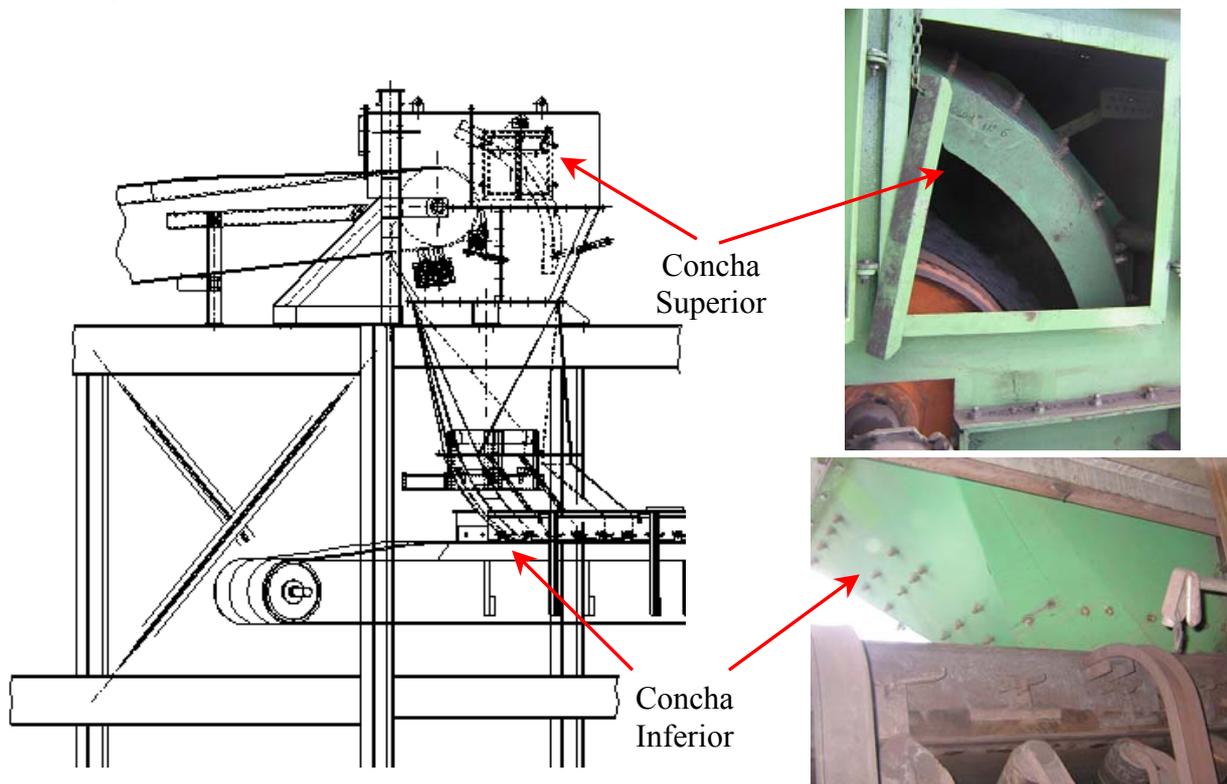


Figura 4: Projeto de ponto para transferência: chute com revestimento cerâmico à base de alumina. O uso de calhas curvas permite o controle do fluxo de material.

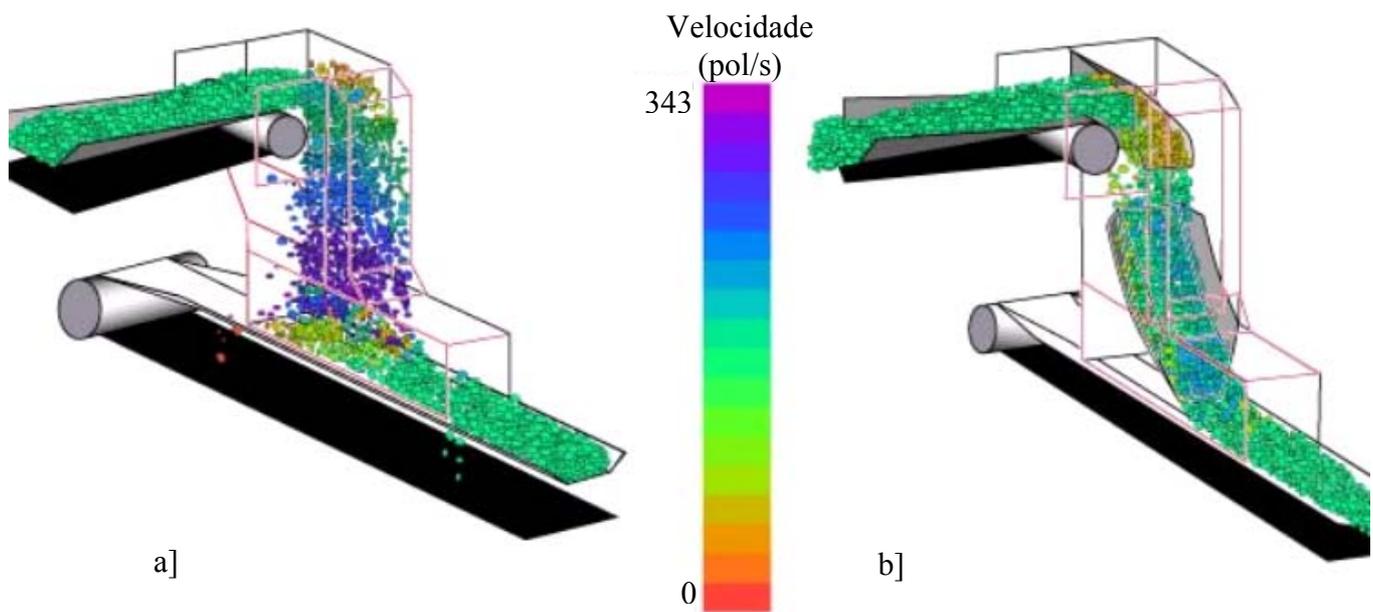


Figura 5: Velocidade do fluxo de material (pol/s), resultante da simulação de escoamento usando DEM: a] chute convencional; b] o mesmo ponto, com o conceito de chute curvo.

Citaremos a seguir os principais parâmetros (não os únicos), que influenciam no projeto de chutes de transferência com adequado controle do fluxo de material:

- ✓ Dos transportadores de alimentação e recebimento: capacidade transportada; velocidade, largura e espessura da correia; diâmetro e largura do tambor de descarga; ângulo de inclinação em relação à horizontal na região de descarga; ângulo dos rolos nos roletes; comprimento da região de transição da correia; ângulo de interseção dos transportadores.
- ✓ Da geometria da transferência: elevação dos transportadores de alimentação e recebimento; espaço disponível; altura de queda do material; etc.
- ✓ Do material a ser transportado: natureza; densidade aparente; distribuição granulométrica; coeficiente de atrito interno; coeficiente de atrito com as paredes do chute; coeficiente de restituição da energia na colisão com o material das paredes do chute; ângulo de repouso; ângulo mínimo para escoamento livre; coeficiente de atrito com a correia; umidade, etc.
- ✓ Das paredes do chute e seu revestimento: material; rugosidade; interação com o material a ser transportado; resistência ao desgaste, à corrosão; etc.

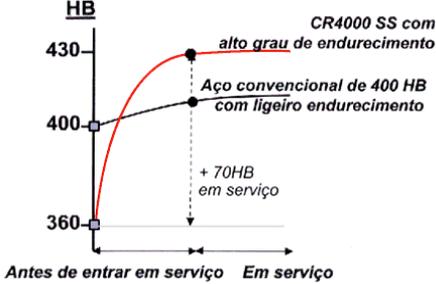
Na Tabela 1 relacionamos alguns dos parâmetros do material e do revestimento do chute que devem ser dados de projeto, sua descrição e o ensaio correspondente.

Tabela 1: Alguns dos parâmetros dos materiais para o projeto de transferências.

Parâmetro do material manuseado	Descrição do parâmetro e objetivo do ensaio
Densidade aparente	Massa de uma quantidade de material particulado, dividida pelo seu volume total. Norma BS 1460, entre outras.
Densidade da partícula	Massa das partículas contidas numa quantidade de material granulado, dividida pelo volume que elas ocupam (descontados os vazios entre elas). Norma BS EN ISO 787-10, entre outras.
Granulometria	Histograma de distribuição granulométrica, que pode ser medida por peneiramento, sedimentação ou microscopia. BS ISO 13317.
Teor de Umidade	Medido pela perda de massa após vaporização. BS 812-109.
Compressibilidade	Densidade aparente como função da pressão de consolidação.
Ângulo de Chute	Ângulo crítico do chute, para manter o fluxo após o impacto.
Ângulo de Repouso	Ângulo formado pelo material empilhado e em repouso, medido em relação à horizontal. Valores influenciados pelo método de ensaio ⁽⁸⁾ .
Ângulo de Acomodação	Ângulo formado pelo material quando acomodado ou acamado sobre a correia transportadora em operação ⁽⁹⁾ .
Coeficiente de atrito interno	Mede o atrito interno entre partículas, importante na simulação e na determinação do ângulo para garantir fluxo mássico em silos. Resultante do ensaio de Jenike ⁽²⁰⁾ , ASTM D 6128.
Resistência coesiva	Determinar os valores mínimos de área de descarga para evitar fluxo afunilado, "ratholing" e "arching", usando o teste de Jenike.
Parâmetro do material do revestimento, ou da interação material - revestimento.	Descrição do parâmetro e objetivo do ensaio
Rugosidade	Influencia na natureza da interação do material com a parede. Medida como Ra, Rz, Rm, conforme ABNT – NBR 8404/1984.
Resistência ao desgaste	Indicador da durabilidade dos materiais.
Dureza	Dureza do material do revestimento (Rockwell ABNT – NBR 6671 ou ASTM E18-94, Brinell ABNT – NBR 6394 ou ASTM E10-93, Vickers ABNT – NBR 6672, etc.).
Coeficiente de atrito do material com a parede	Definido pela arco-tangente do quociente da tensão de cisalhamento com a parede sobre a tensão normal aplicada, no ensaio de Jenike, ASTM D 6128.
Coeficiente de Restituição	Indicador da fração da energia cinética restituída à partícula após sua interação ou colisão com a parede do revestimento.

Na Tabela 2 são relacionados, a título de exemplo, alguns dos materiais disponíveis para revestir chutes de transferência, e suas principais características.

Tabela 2: Alguns materiais resistentes ao desgaste, para revestimento de chutes.

Material	Características
<p>Placas e Pastilhas de Revestimento Cerâmico Durafrax 2000™, Saint-Gobain⁽²¹⁾</p> 	<p>Entregue como revestimento cerâmico, colado sobre chapa de aço, com insertos de pinos rosqueados para fixação pela parede externa. Resistente à abrasão e impacto. Óxido de alumínio 90%; 3520 kg/m³; dureza Vickers 9.0 GPa; resistência 1.77 GPa à compressão e 275 MPa à flexão; módulo de elasticidade 276 GPa; coef. Poisson 0.22; KIC 3.75 MPa*m^{1/2}; coef. de expansão térmica 8.3x10⁻⁶°C; resistência química moderada.</p>
<p>Placas Anti-desgaste CDP 4601, Eutectic-Castolin⁽²²⁾</p>	<p>Chapa de aço carbono revestida por soldagem com liga contendo carbonetos de cromo. Resistente à abrasão e erosão. Metal base 5 – 20 mm; revestimento 3 a 5 mm. 58 a 62 HRC; Metal base ASTM A36.</p>
<p>Chapas revestidas SHP 6000 – Soldering Hard Plate⁽²³⁾</p> 	<p>Chapa de aço ASTM A36 ou ao molibdênio (DIN1755-15Mo3) com depósito por arco elétrico de liga de alta dureza contendo carbonetos de cromo. 63 a 66 HRC. Resistente à abrasão. Metal base 5 a 19 mm; revestimento 3 a 12 mm.</p> 
<p>Aço Creusabro M, anti – abrasão, MultiAlloy 603⁽²⁴⁾ (ASTM A128)</p>	<p>Aço laminado, 1.05–1.35 %C, 0.20- 0.60 %Si, 11.0–14.0 % Mn. No estado de fornecimento: 200 HB; escoamento 340 MPa; austenítico; de fácil usinagem e conformação. Alta resistência à abrasão após encruamento em serviço de abrasão associada a impactos. Depois de encruado: até 500 HB, devido a transformação da austenita em martensita.</p> 
<p>Revestimento anti-aderente UHMW - TIVAR 88-2®, Day Brasil.⁽²⁵⁾</p> 	<p>Polietileno de Ultra-alto Peso Molecular, aditivado com silicone especial que proporciona maior anti-aderência, com coeficiente de atrito dinâmico 50% menor que outros tipos de UHMW. Resistência ao desgaste 80% maior do que os Polietilenos de Alta Densidade. Alta resistência química e ao impacto. Adequado para manuseio de materiais muito aderentes.</p>

5 CONCLUSÃO

Usando de modelos teóricos, ensaios adequados e ferramentas de cálculo computacional, junto à análise crítica dos resultados baseada na experiência prévia adquirida, é possível projetar corretamente os pontos de transferência. Isto tem importância econômica para o país, aumenta a produtividade dos sistemas de manuseio de granulados, e ajuda a reduzir o impacto ambiental da atividade industrial. Pesquisas adicionais neste campo são necessárias: muitos aspectos ainda precisam ser estudados, e demandarão esforços para futuras contribuições.

REFERÊNCIAS

- 1 Dewicki, G; Mustoe, G. *Bulk Material Belt Conveyor Transfer Point Simulation of Material Flow Using DEM*. Proceedings, Third International Conference on DEMs, Santa Fe, New Mexico, Sept. 23-25,2002. 11p.
- 2 Rozentals, J. *Flow of Bulk Solids in Chute Design*. Proceedings, First International Chute Design Conference. 1991.
- 3 Stuart-Dick, D; Royal, T. A. *Design Principles for Chutes to Handle Bulk Solids*. Bulk Solids Handling. Vol 12, No 3, Sept. 1992. pp. 447-450.
- 4 Benjamim, C.W. *The Use of Parametric Modelling to Design Transfer Chutes and Other Key Components*. Gulf Conveyor Group – Summary of Research. 12 p.
- 5 Mc Bride, B. *Efficient Transfer Chutes – A case study*. Tunra Bulk Solids Research – The University of Newcastle, Australia. 5p.
- 6 Benjamim, C.W, Nemeth, J. *Transfer chutes design solutions for modern materials handling operations*. Bulk Solids Handling, Vol 21 Number 1, January/February 2001, Trans Tech Publications, Germany. 5p.
- 7 Dewicki, G. *Bulk Material Handling and Processing – Numerical Techniques and Simulation of Granular Materials*. Proceedings of the 2nd International Conference on Discrete Element Methods. Santa Fe, New Mexico, USA. September 2002.
- 8 Roberts, A. W. *Design Guide for Chutes in Bulk Solids Handling Operations. Version 1 – 2nd Draft*. Centre for Bulk Solids & Particulate Technologies. The University of Newcastle, Australia. 1999.
- 9 *Belt Conveyor for Bulk Materials*. Fifth Edition. Prepared by the Engineering Conference of the Conveyor Equipment Manufacturers Association – CEMA, USA. 1997. 430p.
- 10 Golka, G. *Prediction of the discharge trajectories of bulk materials*. Bulk Solids Handling, Vol 13 (1993) No. 4, pp. 763 – 766.
- 11 Huque, S.T.; McLean A. G. *Methods to predict material trajectories from belt conveyors and impact plates*. Bulk Solids Handling, Vol. 22 (2002), No 5, pp. 348 – 354.
- 12 Roberts, A. W. *Chute performance and design for rapid flow conditions*. Chemical Engineering Technolgy, 26 (2003), p. 163 -170.
- 13 Roberts, A. W; Scott, O. J. *Flow of bulk solids through transfer chutes of variable geometry and profile*. Bulk Solids Handling, Vol 1, No 4, (December 1981), p. 715 -726.
- 14 Wensrich, C. M. *Evolutionary optimization in chute design*. Powder Technology, Elsevier, 138 (2003). pp. 118-123.
- 15 Korzen, Z. *The dynamics of bulk solids flow on impact plates of belt conveyor systems*. Bulk Solids Handling, Vol 8, No 6 (December 1988), pp. 690 – 697.

- 16 Haff, P. K. *Grain flow as a fluid-mechanical phenomenon*. Fluid Mechanics, Vol. 134 (1983), pp. 401-430.
- 17 Benjamim, C.W; Burleigh, B.B; Nemeth, J. *Transfer Chute Design – A new approach using 3D Parametric Modeling*. Bulk Solids Handling, Vol 19, Issue 1, January/ March, 1999, Trans Tech Publications, Germany. Pp 29-33.
- 18 Benjamim, C. W.: *State of the art transfer chute design using 3D Parametric Modeling*. Paper presented to Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) Conveyor Belt 111 Conference, February 28 – March 1st 2000, Salt Lake City – USA.
- 19 McIlvenna, P; Mossad, R. *Two Dimensional transfer chute analysis using a continuum method*. Proceedings – Third International Conference on CFD in the minerals and process industries. CSIRO, Melbourne, Australia. 10-12 December 2003.
- 20 ASTM D 6128, Standard test method for shear testing of bulk solids using the Jenike shear cell. West Conshohocken: ASTM International, 2000.
- 21 Technical product application – Material properties DurafraxTM 2000. Disponível em: <http://www.wrt.saint-gobain.com/media/documents/S0000000000000001002/1-durafrax 2000-ds-en.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2007.
- 22 Placas anti-desgaste CDP. Eutectic – Castolin. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/cdp29.pdf>. Acesso em 22 jan. 2007.
- 23 Chapas revestidas SHP – Soldering Hard Plate. Disponível em: <http://www.soldering.com.br/interior.asp> . Acesso em 22 de jan. 2007.
- 24 Aços Anti-abrasão Creusabro M - MultiAlloy. Disponível em: http://www.multialloy.com.br/index_br.htm. Acesso em 22 de jan. 2007.
- 25 REVESTIMENTOS ANTI-ADERENTES UHMW - TIVAR 88-2®. Disponível em: http://daybrasil1.locaweb.com.br/produtos/industria/uhmw_revestimento.asp. Acesso em 22 de jan. 2007.