Categoria Normas Técnicas
Eixo temático: Ensaios Físicos e Metalúrgicos

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Calibração de Parâmetros de Contato para Simulação do Escoamento de Minérios em Chutes de Transferência

Vale S.A. / UFRJ

Guilherme Pereira de Oliveira
Rodrigo Magalhães de Carvalho
Luís Marcelo Marques Tavares
Henrique Peixoto de Souza Almeida
Pedro Porto Silva Cavalcanti



Quem somos

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Temos mais de
65 mil
empregados próprios
e cerca de
109 mil
contratados

Receita líquida:
US$ **38,1** bilhões



Empregados na Oficina de Vulcanização (São Luís, MA).
Foto: Daniel Martins

Produção (ton):

Minério de ferro
328 milhões

Níquel
160 mil

Cobre
348 mil

Dados de 2024



Contextualização

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Paralisações da natureza de Manuseio nos Portos em 2025

1.678 horas no Norte

690 horas no Sul

466 horas no Sudeste

Em Ferrosos há cerca de **2.500** transportadores de correia em operação, com pelo menos 1 chute de transferência cada.

Principais Problemas em chutes

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Entupimentos



Desalinhamentos



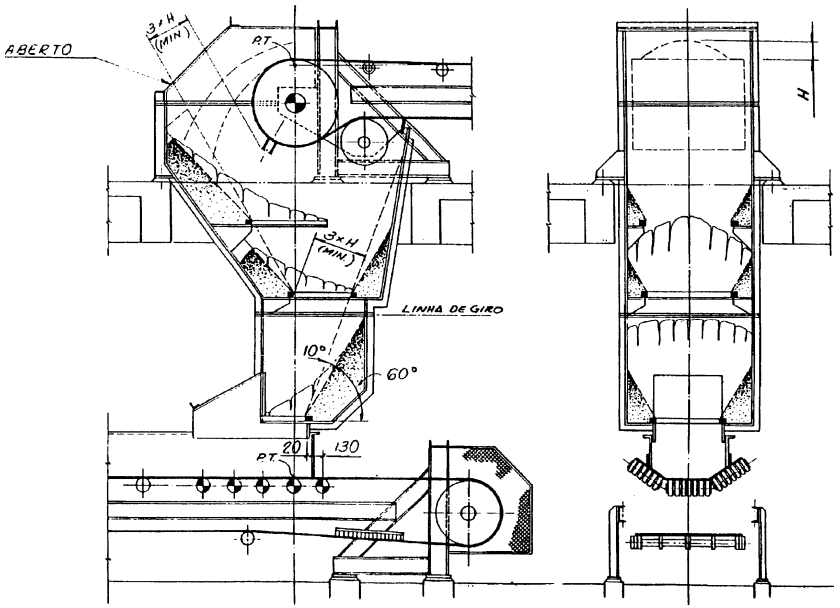
Geração de Poeira



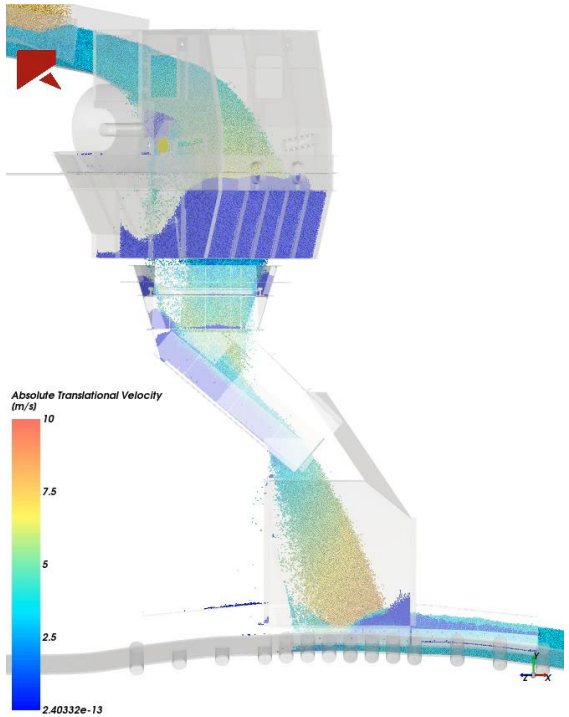
Antes

Critérios de projeto genéricos baseados em boas práticas e na experiência dos projetistas. Alto nível de empirismo.

Muito retrabalho e ajustes ao longo da operação.



Depois



Projetos elaborados com foco no minério manuseado, incorporando características como umidade, densidade e coesividade.

Simulação de diversos cenários em ambiente virtual, aumentado a probabilidade de sucesso com menos intervenções.

Desafio

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

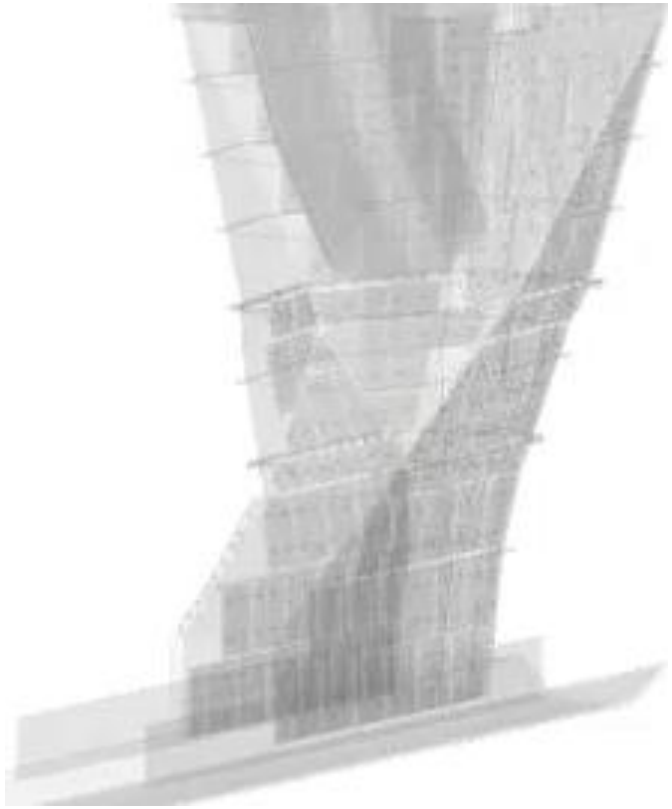
Como garantir que o minério se comporte nas simulações exatamente como em campo?

Através da Calibração adequada.

Existe diferença entre estes escoamentos?

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026





Teste Representativo
(Fidelidade Experimental)
↓
Calibração Robusta
(Parâmetros Confiáveis)
↓
Simulações DEM
Fisicamente Coerentes
↓
Decisão de Engenharia
e Projeto

Exemplo de calibração de minérios coesivos

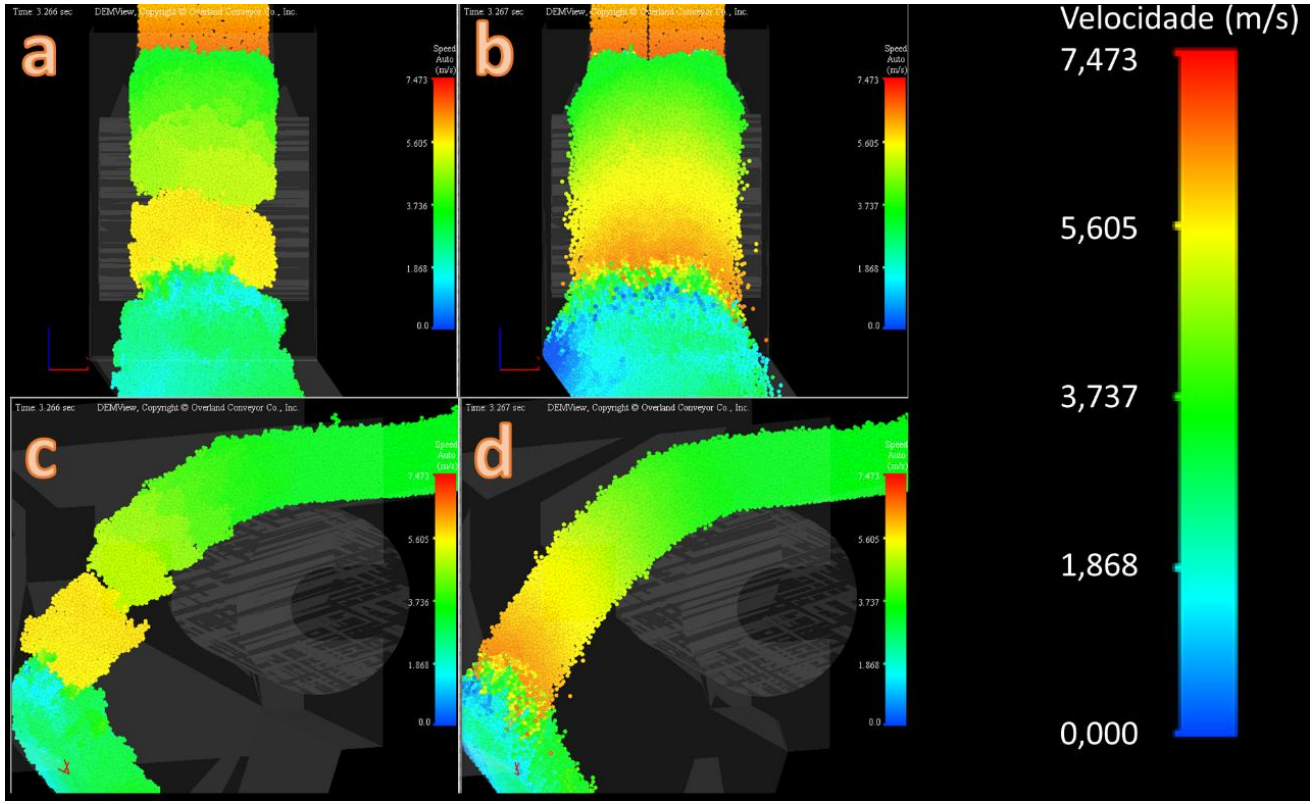
PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Escoamento coesivo

não coesivo

OLIVEIRA, 2021

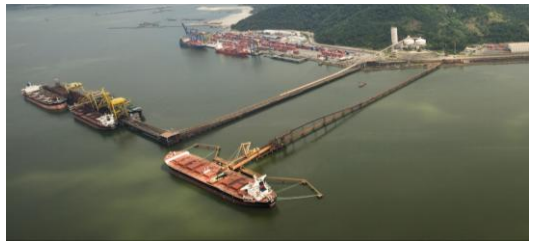


Cronologia

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

ABR 2016

Entupimento principal chute CPBS



JAN 2018

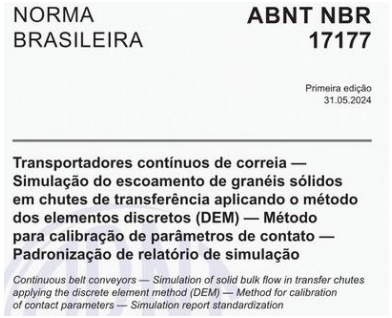
Acordo de cooperação Vale / ITV e COPPE / UFRJ

ITM LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA MINERAL COPPE/Poli/UFRJ

COPPE UFRJ Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

MAI 2024

ABNT NBR 17177



NORMA BRASILEIRA **ABNT NBR 17177**

Primeira edição 31.05.2024

Transportadores contínuos de correia — Simulação do escoamento de granéis sólidos em chutes de transferência aplicando o método dos elementos discretos (DEM) — Método para calibração de parâmetros de contato — Padronização de relatório de simulação

Continuous belt conveyors — Simulation of solid bulk flow in transfer chutes applying the discrete element method (DEM) — Method for calibration of contact parameters — Simulation report standardization

JUL 2025

CENTRO DE SOLUÇÕES EM MANUSEIO



VALE – CSM

Não se faz mais chute sem SIMULAÇÃO

Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Cenário identificado

- Falta de padronização na calibração em cenário mundial.
- Convergência em diferentes ensaios de bancada.
- Pouco interesse em disseminação do conhecimento (reserva de mercado).

Objetivo traçado

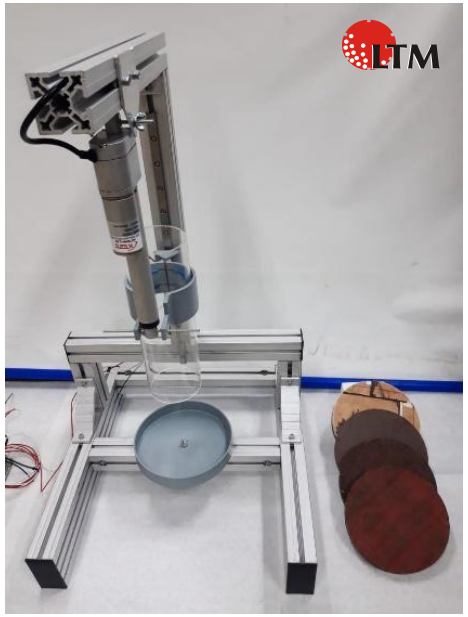
Desenvolvimento e construção de equipamentos de ensaios de manuseio de minérios e criação de um protocolo de simulação computacional.

Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

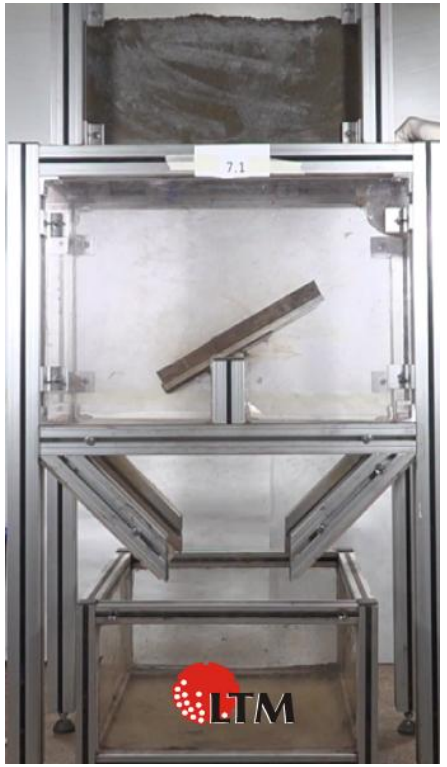
PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Foram padronizados quatro ensaios de bancada para calibração:

- Ângulo de repouso.
- Plano inclinado.
- Drawdown.
- Tamboramento.







Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Ângulo de repouso

Influência do operador

Base circular padronizada





Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Plano Inclinado

Influência do operador

Ensaio com diferentes superfícies







Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

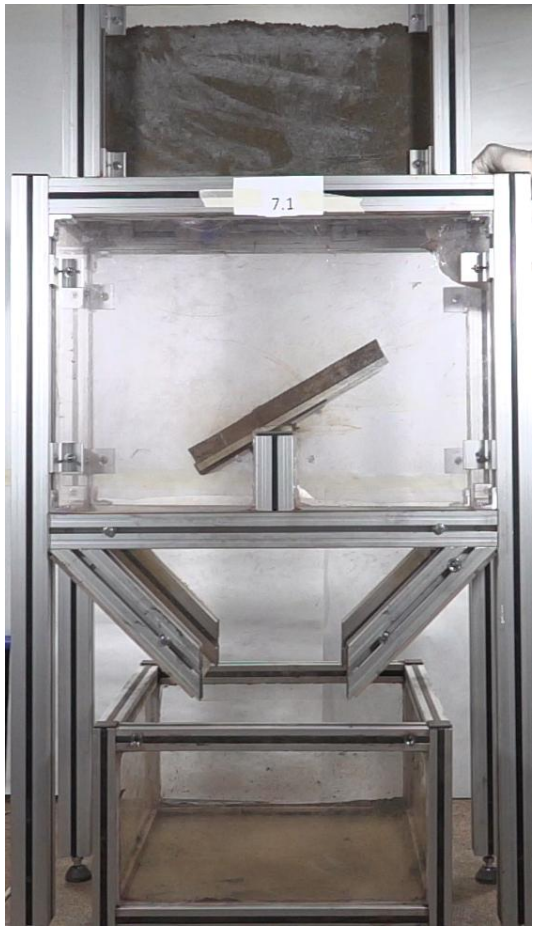
PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Plano Inclinado

Variação da inclinação de parede

Ensaio com diferentes superfícies





Tamboramento

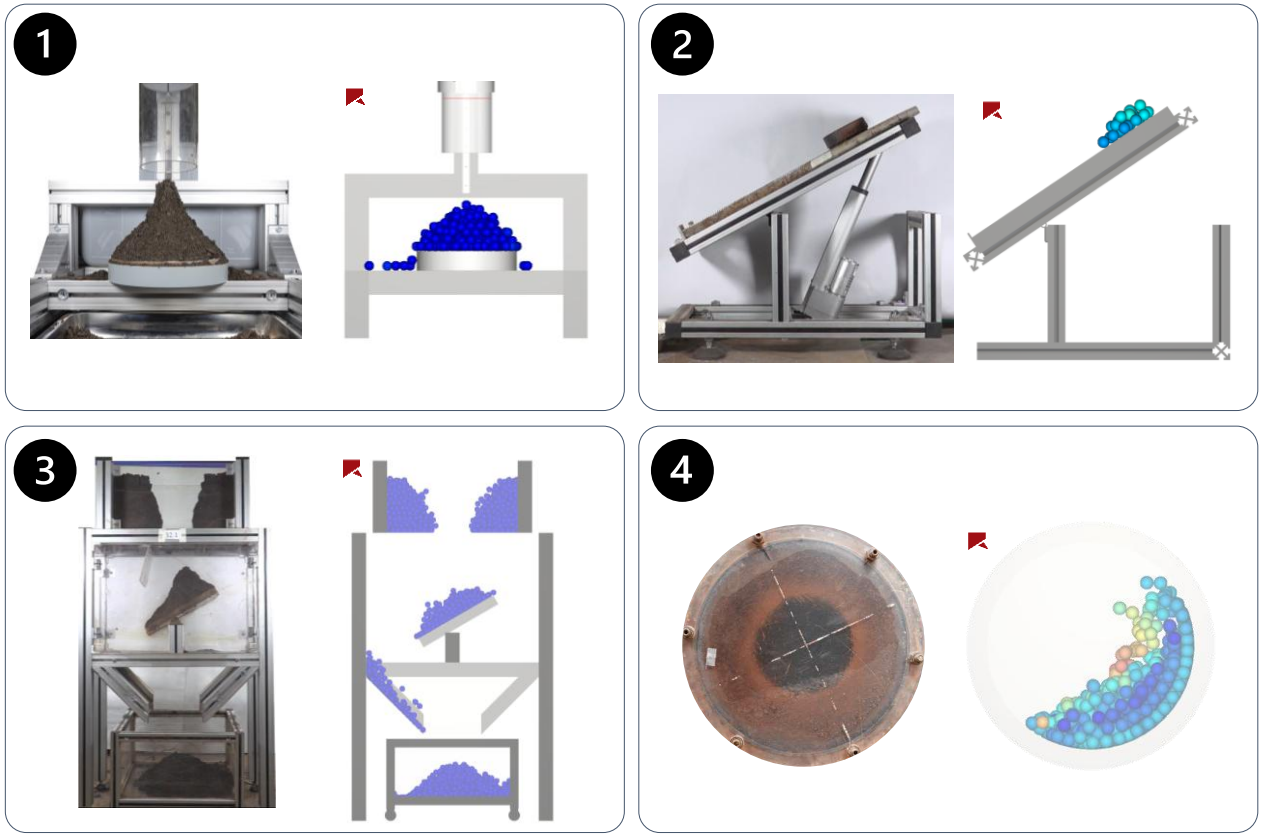


Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Calibração através da reprodução em ambiente virtual

- Ângulo de repouso.
- Plano inclinado.
- Drawdown.
- Tamboramento.

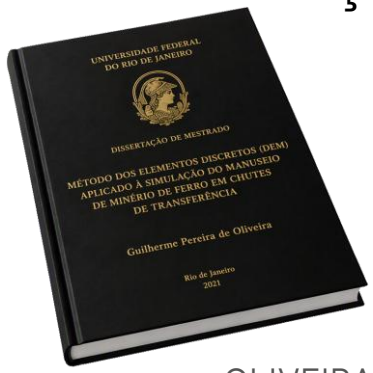


Acordo de Cooperação Vale e UFRJ

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Produção Técnica

- 2 dissertações de mestrado



OLIVEIRA, 2021



ALMEIDA, 2022

- Artigo indexado

minerals MDPI

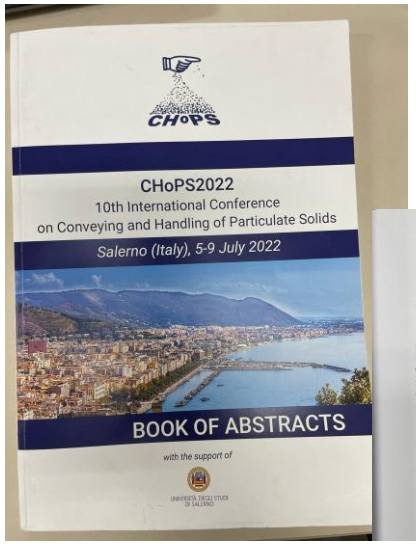
Article

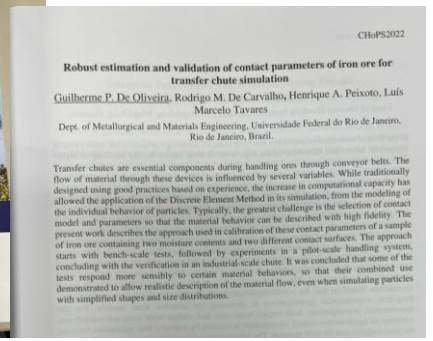
Robust Estimation and Validation of Contact Parameters of Iron Ore for Transfer Chute Simulation

Guilherme Pereira de Oliveira [1,2], Rodrigo Magalhães de Carvalho [1,*], Henrique Peixoto de Souza Almeida [1] and Luís Marcelo Tavares [1]

OLIVEIRA *et al.*, 2025

- Apresentações em Congressos





OLIVEIRA *et al.*, 2022



ESTRATÉGIA ROBUSTA DE CALIBRAÇÃO DE PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO EM CHUTES DE TRANSFERÊNCIA *

Henrique Peixoto de Souza Almeida[1]
Guilherme Pereira de Oliveira[2]
Rodrigo Magalhães de Carvalho[3]
Luis Marcelo Marques Tavares[4]

Almeida *et al.*, 2022

Elaboração da Norma

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Calibração através da reprodução em ambiente virtual

1. Padronização de 4 ensaios de bancada.
2. Reprodução em ambiente virtual.
3. Roteiro para simulação em chute e elaboração de relatório.



Processo

- 2 amostras de sínter feed + 1 pellet feed.
- 2 teores de umidade (6,5% e 9,0%).
- 5 superfícies de contato (borracha, ferro fundido, cerâmica e 2 chapas de eletrodeposição).
- 3 diferentes softwares (Bulk Flow Analyst, Rocky e EDEM).
- 36.864 simulações realizadas para cada experimento e software.

Centro de Soluções em Manuseio

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Localização:

Duque de Caxias / RJ

Visão geral:

- Centro de desenvolvimento de **soluções inovadoras e sustentáveis** para o manuseio de materiais granulados, promovendo **eficiência nas operações** e em novos **projetos, segurança, redução de custos, redução no impacto ambiental** e fortalecendo a competitividade da cadeia de valor, com foco na excelência técnica e alinhado com o desenvolvimento de novos produtos.

Serviços:

- Ensaios de caracterização.
- Simulações de escoamento.
- Treinamento e capacitação.



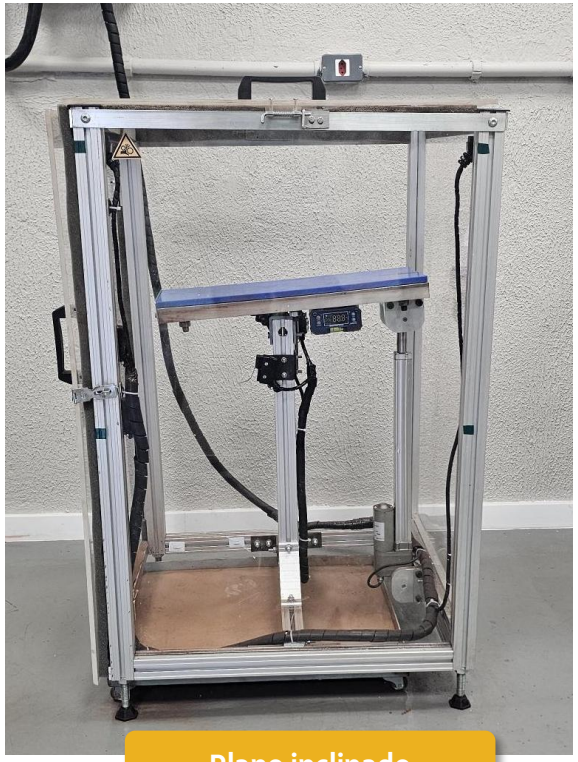
Centro de Soluções em Manuseio

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Atendimento à norma ABNT 17177:



Ângulo de repouso



Plano inclinado



Drawdown



Tamboramento

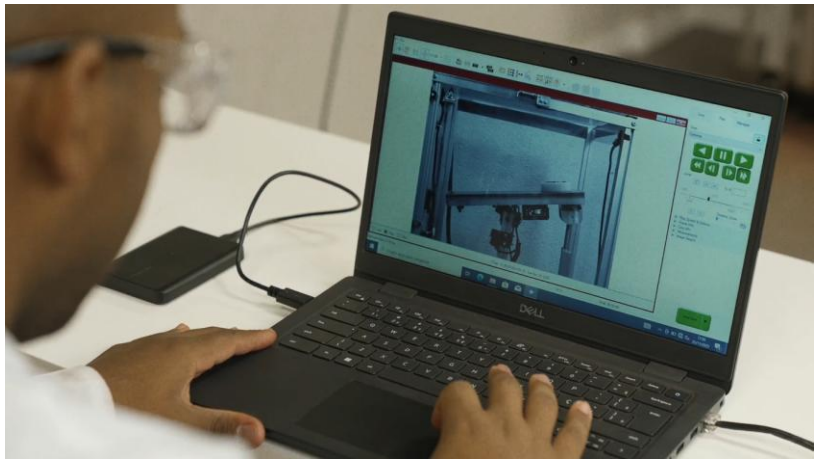
Centro de Soluções em Manuseio

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

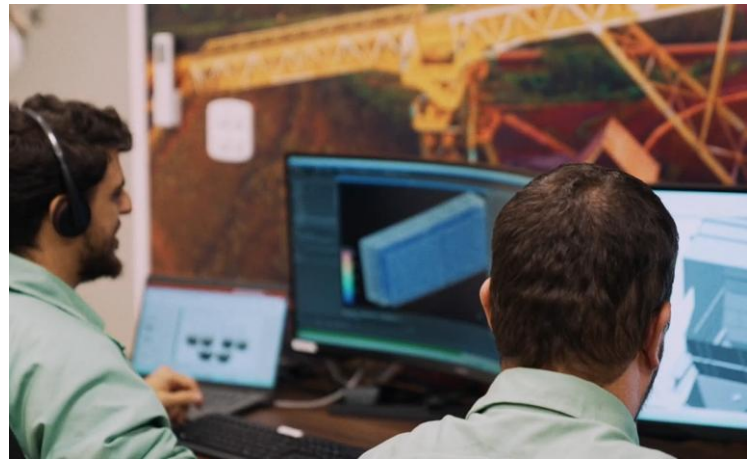
- Ensaios da ABNT NBR 17177
- Análise Mineralógica.
- Célula de Cisalhamento.











Conclusão

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Em cerca de 1 ano de vida do CSM

- Foram simulados mais de 100 chutes de transferência.
- Foram calibrados minérios em mais de 30 condições diferentes: mineralogia, umidade, granulometria e interagindo com diferentes superficies (metálica, cerâmica, polimérica...).
- Novos projetos na companhia estão sendo simulados pelo CSM. Ex. Capanema, Mega Hub Sohar, TCLD Serra Sul...
- Proposta de revisão para a norma incluindo materiais grossos.

Conclusão

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Exemplos de aplicações sucesso

- Grelhas de viradores → CASTANHEIRA e OLIVEIRA 2026
- Chute de Recuperadora → OLIVEIRA *et al*. 2024
- Chute para manuseio materiais heterogêneos → MACHADO *et al*. 2024
- Carregadores de Navio. CASTANHEIRA *et al*. 2026
- Manuseio de Carvão → MACHADO e OLIVEIRA 2025
- Controles Ambientais → OLIVEIRA e FRINHANI 2023 / FRANÇA *et al*. 2025

Conclusão

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Desenvolvimento e padronização do processo de calibração e simulação trouxeram:

- Garantia de fluxo.
- Redução de exposição de pessoas a atividades de risco.
- Aumento de produtividade.
- Maior equacionamento de propostas técnicas para serviço de caracterização e simulação realizados por terceiros.

Referências Bibliográficas

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

- Oliveira, Guilherme Pereira de. Metodologia Robusta para a Simulação de Chutes de Minério de Ferro usando o Método dos Elementos Discretos. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2021.
- Almeida, Henrique Peixoto Souza. Metodologia para Calibração de Modelos DEM de Minério de Ferro. Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2022.
- Almeida, H. P. S.; Oliveira, G. P. ; Carvalho, R. M. ; Tavares, L. M. M. . Estratégia Robusta de Calibração de Parâmetros para Simulação do Escoamento de Minério de Ferro em Chutes de Transferência. In: PROCEEDINGS 6ª ABM WEEK, 2022, São Paulo. 21º Simpósio de Mineração, 2022. v. 21. p. 257-270.
- Oliveira, G. P.; Carvalho, R. M.; Almeida, H. P. S.; Tavares, L. M. Conference CHoPS 2022 - 10th International Conference on Conveying and Handling of Particulate Solids. Robust Estimation and Validation of Contact Parameters of Iron Ore for Transfer Chute Simulation. 2022.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 17177: Transportadores contínuos de correia — Simulação do escoamento de granéis sólidos em chutes de transferência aplicando o método dos elementos discretos (DEM) — Método para calibração de parâmetros de contato — Padronização de relatório de simulação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- de Oliveira, G.P.; de Carvalho, R.M.; de Souza Almeida, H.P.; Tavares, L.M. Robust Estimation and Validation of Contact Parameters of Iron Ore for Transfer Chute Simulation. Minerals 2025, 15, 175. https://doi.org/10.3390/min15020175.

Referências Bibliográficas

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

- GUILHERME PEREIRA DE OLIVEIRA; PEDRO FRINHANI. MODELAGEM DE UM CHUTE MÓVEL COMO CONTROLE AMBIENTAL NO CARREGAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO EM NAVIOS APLICANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS, p. 81-94. In: 40º Seminário de Logística, Suprimentos e PCP, São Paulo, 2023. ISSN: 2594-360X, DOI 10.5151/2594-360X-39578.
- FRANÇA, FELIPE FORTES; MOREIRA, RODRIGO PERALTA MUNIZ; SOARES, CARLOS MAGNO FIALHO; VETTURAZZI, RAFAEL; Guilherme Pereira de Oliveira. MODELAGEM DA APLICAÇÃO DE CANHÃO DE AR EM CHUTE DE TRANSFERÊNCIA ATRAVÉS DE ACOPLAMENTO CFD-DEM NO MANUSEIO DE MINÉRIO DE FERRO, p. 301-310. In: 42º Seminário de Logística, Suprimentos e PCP, São Paulo, Brasil, 2025. ISSN: 2594-360X, DOI 10.5151/2594-360X-42698.
- GUILHERME PEREIRA DE OLIVEIRA. MACHADO, BRAYAN PASTRO; CHACUR, MARCELO BOTELHO; PANSIERE, RAPHAELA GRILLO; REDUÇÃO DE ENTUPIMENTOS EM UM CHUTE DE RECUPERADORA DE MINÉRIO FERRO APLICANDO SIMULAÇÃO DEM E FEM, p. 38-51. In: 41º Seminário de Logística, Suprimentos e PCP, São Paulo, Brasil, 2024. ISSN: 2594-360X, DOI 10.5151/2594-360X-40711.
- MACHADO, BRAYAN PASTRO; OLIVEIRA, GUILHERME PEREIRA DE. SIMPLIFICAÇÃO DE SETUP OPERACIONAL DE UM CHUTE PARA MANUSEIO DE MATERIAIS COM E SEM COESÃO APLICANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS, p. 26-37. In: 41º Seminário de Logística, Suprimentos e PCP, São Paulo, Brasil, 2024. ISSN: 2594-360X, DOI 10.5151/2594-360X-40702
- Machado, Brayan Pastro; Guilherme Pereira de Oliveira. MELHORIA NO MANUSEIO DE CARVÃO EM UM CHUTE DE CARREGADOR DE NAVIOS, p. 182-194. In: 42º Seminário de Logística, Suprimentos e PCP, São Paulo, Brasil, 2025. ISSN: 2594-360X, DOI 10.5151/2594-360X-42400
- CASTANHEIRA, M. R. ; OLIVEIRA, Guilherme Pereira de . Optimization of a Stationary Grizzly Design Using Discrete Element Method. In: 15th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation, 2026, Fremantle. ICBMH 2026 Conference Proceedings. Camberra: The Institution of Engineers, Australia, 2026.
- CASTANHEIRA, M. R. ; OLIVEIRA, Guilherme Pereira de ; MELLO, SÁVIO ALVES . Application of Adjustable Guides to Reduce Clogging and Misalignment in Shiploaders. In: 15th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation (ICBMH 2026), 2026, Fremantle. ICBMH 2026 Conference Proceedings. Camberra: The Institution of Engineers, Australia, 2026.

OBRIGADO!

IBRAM | 50 ANOS
MINERAÇÃO DO BRASIL

VALE – CSM
Centro de Soluções em Manuseio




guilherme.pereira.oliveira@vale.com
pedro.porto.cavalcanti@vale.com

COPPE
UFRJ





rodrigo@metalmat.ufrj.br
tavares@metalmat.ufrj.br
henrique@metalmat.ufrj.br

https://ltm.coppe.ufrj.br/

ibram.org.br