

## ANALISE DE ALCANCE DE DESLIZAMENTO EM PILHAS DE PRODUTO DE MINERIO DE FERRO

Brunna Abrantes de Andrade

Msc., VALE S.A, Rio de Janeiro, Brasil, [brunna.abrantes@gmail.com](mailto:brunna.abrantes@gmail.com)

Caio Duque Estrada Amendola

Msc., Progen S.A, Rio de Janeiro, Brasil, [caiodeamendola@gmail.com](mailto:caiodeamendola@gmail.com)

Lucas Bianchetti Drumond

Msc., VALE S.A., Minas Gerais, Brasil, [lbdrumond@hotmail.com](mailto:lbdrumond@hotmail.com)

Gustavo Marçal de Sousa

Dsc, VALE S.A, Minas Gerais, Brasil, [gustavo.marcal@vale.com](mailto:gustavo.marcal@vale.com)

Douglas Deoclécio Tostes Firmo

Engenheiro, VALE S.A, Minas Gerais, Brasil, [douglas.tostes@vale.com](mailto:douglas.tostes@vale.com)

**RESUMO:** A demanda por minério de ferro, que é a matéria prima do aço, é cada vez maior. Com isso, é preciso entender as dificuldades envolvidas na logística de transporte e estocagem do material. Entre a fase de transporte até a sua comercialização, tem-se a necessidade da realização de estoques seja para melhor homogeneização do material, ou para aguardar o embarque do material no navio com o teor de umidade adequado. Este estudo focará na estocagem, etapa que antecede o embarque no navio cargueiro e é precedida pelo transporte em vagões ferroviários. Na etapa de estocagem, que não dura, em geral, mais que 5 dias, é comum ocorrerem deslizamentos, tendo em vista que o material é empilhado em seu ângulo de repouso. As condicionantes do local de estocagem limitam a altura máxima recomendada para o empilhamento, por questões de segurança, para que não venham atingir as vias de acesso adjacentes ou infraestruturas existentes, com trânsito de pessoas e veículos. O presente trabalho exemplifica uma pilha de produto em sinter feed com altura fixada em 10,60m e terreno de fundação com vala preenchida com areia grossa. Através de software de equilíbrio limite é determinada a cunha de ruptura com área mais expressiva e coerente com o modo de falha. O alcance do deslizamento na pilha de produto é determinado através da iteração do valor obtido da área da superfície de ruptura com o formato do deslizamento da pilha, que de forma empírica é estabelecido que possui ângulo de inclinação, pós ruptura, de aproximadamente 15 graus, obtido através de observações e levantamentos de rupturas pretéritas. Com isso, os resultados de alcance do deslizamento variaram de 4,5m a 6,5m e estabelecida uma distância segura para a infraestrutura existente. Tais resultados vem sendo praticados e tem se mostrado eficientes quanto a segurança operacional.

**PALAVRAS CHAVES:** Stackbreak; pilha de produto; sinter feed; empilhamento.

**ABSTRACT:** The demand for iron ore, which is the raw material for steel, is increasing. Therefore, it is necessary to understand the difficulties involved in the logistics of transporting and storing the material. Between the transportation phase and its commercialization, there is a need to carry out stocks either to better homogenize the material, or to wait for the material to be loaded onto the ship with the appropriate moisture content. This study will focus on storage, a stage that precedes boarding the cargo ship and is preceded by transport in railway wagons. During the storage stage, which generally lasts no more than 5 days, slippage is common, given that the material is stacked at its angle of repose. The conditions of the storage location limit the maximum height recommended for stacking, for safety reasons, so that they do not reach adjacent access roads or existing infrastructure, with the traffic of people and vehicles. The present work exemplifies a pile of sinter feed product with a height fixed at 10.60m and foundation land with a trench filled with coarse sand. Using limit equilibrium software, the rupture wedge with the most expressive area and consistent with the failure mode is determined. The range of slippage in the product pile is determined through the iteration of the

value obtained from the area of the rupture surface with the shape of the pile slippage, which is empirically established to have a post-rupture inclination angle of approximately 15 degrees, obtained through observations and surveys of past ruptures. As a result, the landslide range results varied from 4.5m to 6.5m and a safe distance was established for the existing infrastructure. Such results have been practiced and have proven to be efficient in terms of operational safety.

**KEYWORDS:** Runout, Stockpile, sinter feed, landslide.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da mineração tem o desafio de atender e acompanhar as metas estabelecidas pela indústria siderúrgica, com a demanda crescente e a importância econômica que a exploração do minério de ferro representa. Deste modo, é preciso entender as dificuldades envolvidas na logística de transporte e estocagem do material.

O minério passa por alguns processos que exigem o manuseio do material. O produto final é obtido após o beneficiamento, em que são atingidos as características químicas e físicas desejadas para a sua comercialização. Entre a fase de transporte até a sua comercialização, tem-se a necessidade da realização de estoques seja para melhor homogeneização do material, ou para aguardar o embarque do material no navio com o teor de umidade adequado.

A estocagem é a etapa que antecede o embarque no navio cargueiro e é precedida pelo transporte em vagões ferroviários. Conforme Fortes e Pereira (2012), “nos estoques de minério, a qualidade é deteriorada. Cada etapa do manuseio é capaz de trazer consequências vistas como negativas para a qualidade do produto. Podem acontecer segregação granulométrica, degradação granulométrica (por queda ou esmagamento), desprendimento de poeira ou perda de rastreabilidade do material.”

Por se tratar de um material granular, lançado de acordo com seu ângulo de repouso natural e sujeito às intempéries, há que se salvaguardar quanto a estabilidade desta estocagem (pilha de produto), garantindo alturas seguras e com bom nível de capacidade de estocagem.

O presente estudo mostra um exemplo de como foi determinado o alcance do deslizamento de uma pilha de produto (estocagem), a fim de estabelecer uma distância segura para uma infraestrutura existente, com acesso de pessoas.

Duas importantes etapas foram estabelecidas: A primeira consistiu em analisar a estabilidade da pilha de produto, com características já conhecidas, por meio de equilíbrio limite. A segunda etapa se deu através da iteração do valor obtido da área da superfície de ruptura com o formato do deslizamento da pilha. Nas seções seguintes estas etapas são apresentadas.

## 2 METODOLOGIA EMPÍRICA PARA DETERMINAÇÃO DO ALCANCE DE DESLIZAMENTO EM PILHAS DE PRODUTO

### 2.1 Descrição do Problema

Com o objetivo de modernização das instalações, a Vale realizou a implantação de um sistema de redução de umidade em pilha de minério, em algumas pilhas de seus Portos de estocagem no Rio de Janeiro. Este sistema consiste na montagem de uma camada drenante abaixo da pilha, conectada ao um sistema de bombas capaz de “forçar”, por sucção, a drenagem da pilha e reduzir o teor de umidade do material.

Para atendimento ao projeto de Drenagem Forçada do pátio de estocagem, foi necessária a implantação de base de concreto armado, com toda uma infraestrutura destinada ao bombeamento do sistema, incluso painel para abastecimento elétrico. Por questões de eficiência do sistema de bombeamento, a infraestrutura em questão deveria atender a especificação de projeto que exigia distância não maior que 15m.

A base de bombas, tem acesso de pessoas para o acionamento do sistema e a realização das manutenções necessárias. Com isso, foi necessário estabelecer uma distância segura, para o caso de deslizamento de pilha não vir a atingir local com acesso de pessoas. A Figura 1 mostra um esquemático em vista superior da base de bombas e a pilha de produto.

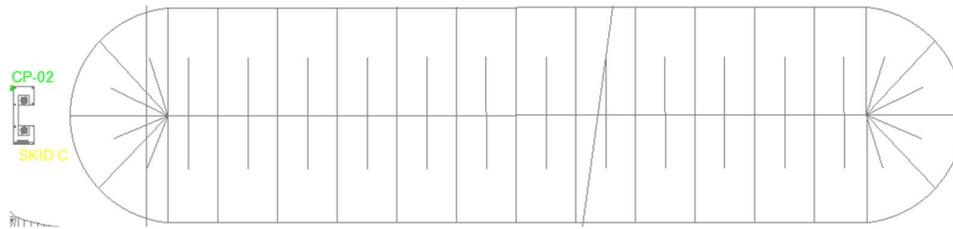


Figura 1. Vista esquemática superior do sistema de bombeamento e a pilha de produto. (fonte: Documento interno)

## 2.2 Análise de Estabilidade

Para o modelo, foi considerada uma pilha em sinter feed, com altura de empilhamento de 10,6m, 180m de comprimento e largura de 35m. A distância entre a infraestrutura (base de bombas) e a pilha deveria atender a premissa de ser menor que 15m, para a eficiência do bombeamento. Para o perfil geotécnico, foi considerada a camada drenante composta por areia com até 1,5m de espessura e o terreno de fundação foi admitido como competente, sem problemas relacionados a materiais de baixa compactidade ou consistência.

Os parâmetros de resistência considerados foram assumidos com base na experiência dos autores e ensaios de campo e laboratório realizados (ver Anexo) nos materiais considerados no estudo (sinterfeed, areia e terreno de fundação). A Tabela 01 indica os parâmetros de resistência considerados na análise.

Tabela 1. Parâmetros de Resistência considerados na análise.

Classe de solo	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Peso Específico (kN/m³)
Sinter Feed	1,0	38	23
Terreno de Fundação	50,0	35	22
Areia	1,0	30	20

A análise de estabilidade do empilhamento foi realizada através de equilíbrio limite com o software Rockscience Slide2 versão 9.026 en-001 - English (World) 64 bits. Foi considerada uma seção longitudinal, com distância entre a base de bombas e o pé da pilha a ser validada (na Figura 2 a distância de 8,15m foi dada como satisfatória). A inclinação da face do empilhamento foi desenhada com o ângulo de repouso do material, de 38°. O fator de segurança por Bishop simplificado foi de 1,119, conforme Figura 2.

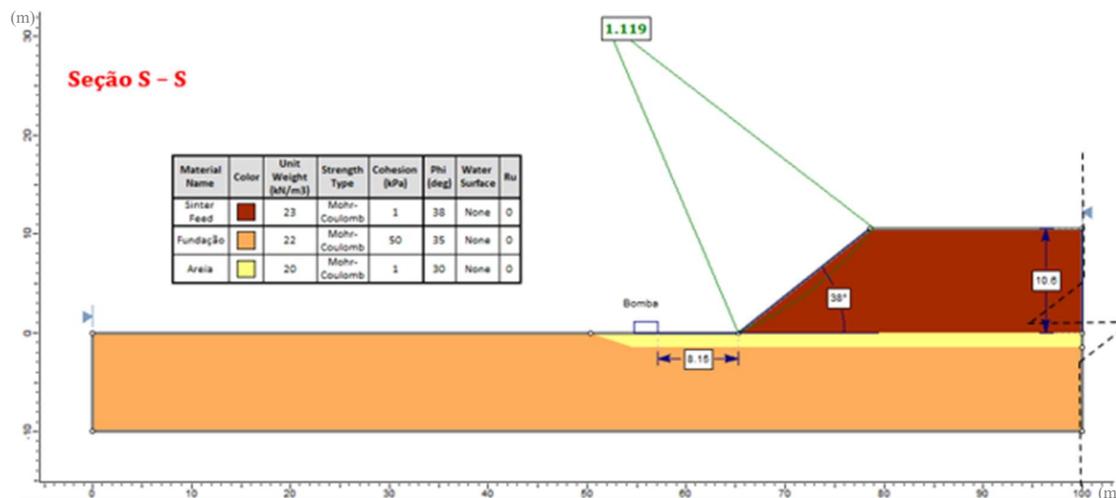


Figura 2. Análise de estabilidade da pilha de produto, por Bishop Simplificado.

Para a estimativa do alcance do material deslizado e assim estabelecer uma distância segura entre a pilha e a infraestrutura foi realizado estudo conforme apresentado no item 2.3.

### 2.3 Alcance do deslizamento

Existe uma quantidade considerável de estudos publicados para estimar o alcance de deslizamentos em taludes e encostas. De acordo com Qarinur (2015), há uma correlação linear entre a altura do talude e o alcance do deslizamento e este alcance avança a medida que a altura do talude aumenta. Qarinur também propõe que considerar o ângulo de inclinação do talude na correlação entre a altura e o alcance traz resultados mais eficazes.

No trabalho de Silva (2017) é apresentado uma lista com diversas bibliografias e equações empíricas que relacionam a distância percorrida (alcance) e outros parâmetros, em especial, o volume do movimento de massa.

No entanto, o presente estudo, baseou-se em observações de campo para pilhas de produto em sinter feed, que conduziram a estimativa de que a massa rompida do produto se conforma, após deslizamento, em um ângulo que pode variar entre  $15^\circ$  e  $20^\circ$ . A partir daí, a área da superfície de ruptura foi obtida através da análise de estabilidade apresentada no item anterior. Por iteração, a área em verde da Figura 3 coincide com a área da superfície de ruptura e possui superfície com inclinação estimada em  $15^\circ$ , o que conduziu a um alcance de 4,50m.

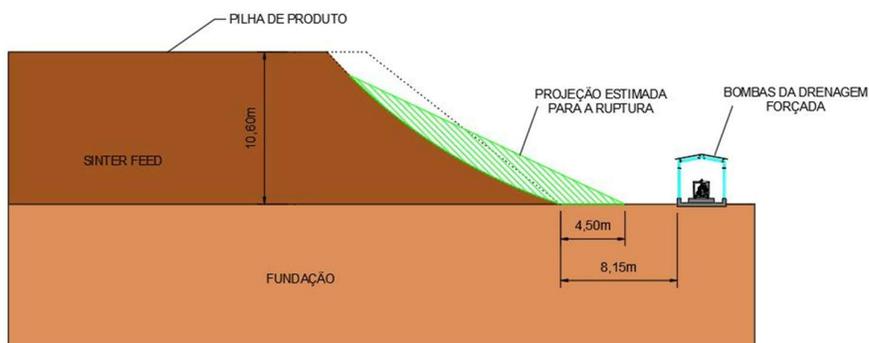


Figura 3. Metodologia empírica para estimativa do alcance de deslizamento em pilhas de produto.

Para garantir maior segurança foi proposto a locação da infraestrutura a uma distância maior que 8m, e com 5m de distância fosse construída uma leira para isolamento de acesso à área. A Figura 4 apresenta fotografias do exemplo estudado.



Figura 4. Fotografia de duas pilhas de produto distintas, com as distâncias estabelecidas da base de bombas.

Através das equações apresentadas no estudo citado anteriormente de Qarinur (2015), o alcance variaria entre 5,4m e 38,2m, para ocorrências devido a chuva ou 20m levando em consideração o ângulo de inclinação do talude. Porém, o estudo é um modelo estatístico voltado para encostas e taludes, que teve como base de dados, movimentos de terra ocorridos na indonésia entre 2007 e 2013. Assim, a modelagem estatística deve ser aplicada a condições semelhantes, que não é o caso do presente estudo, mas como comparativo de grandeza foi o estudo que mais se aplicou. Por isso, a necessidade em estabelecer um estudo voltado para pilhas de produto.

### 3 CONCLUSÕES

Para estabelecer distâncias seguras entre o empilhamento e a área com acesso de pessoas ou infraestruturas que haja acesso, ainda que esporádico, é preciso conhecer o potencial de alcance de um deslizamento de pilha de produto. Há considerável quantidade de estudos publicados sobre o assunto para movimentos de massa em taludes e encostas, em sua maioria relacionam características geométricas do talude ou da ruptura, como altura e volume, com o alcance do deslizamento. Tais estudos estabelecem equações com base em eventos pretéritos, por meio de estatística. Com pouco material desenvolvido para pilhas de produto este estudo teve o objetivo de apresentar uma metodologia empírica baseada em observação de campo.

A análise de estabilidade realizada por software de equilíbrio limite conduziu a um  $F.S = 1,119$ . Por observação de campo, sabe-se que a acomodação do material deslizado possui inclinação com o ângulo variando entre  $15^\circ$  e  $20^\circ$ . Por iteração a área da superfície de ruptura foi levada a coincidir com a área da superfície com inclinação estimada em  $15^\circ$ , assim foi estimado um alcance de 4,50m. Por segurança, foi adotada uma distância maior que 8m entre o pé da pilha e a aresta mais próxima da base de bombas. Foi recomendado o isolamento da área com a construção de leira a 5m de distância da pilha.

É fundamental a criação de um banco de dados com informações sobre deslizamentos de pilha, que torne capaz o desenvolvimento de equações ou estimativas mais criteriosas. De outro modo, modelagens mais detalhadas em 3 dimensões podem ser realizadas e comparadas com metodologias baseadas em maiores bancos de dados. No item 4, são apresentados alguns exemplos para trabalhos futuros.

### 4 CONTRIBUIÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se construir um banco de dados de deslizamentos de pilhas de produto, com informações topográficas, dados de características da pilha, como composição e ensaios de granulometria, índices pluviométricos, método de formação e empilhamento, dentre outras informações e assim estabelecer uma estimativa empírica mais realística para o problema.

Para comparação da estimativa do alcance do material deslizado em pilhas de produto pode-se utilizar as equações propostas por Corominas (1996), Gramani (2001) e Polanco (2010) por exemplo, que ao estabelecer uma abordagem em três dimensões da estabilidade da pilha, é possível estimar o volume do deslizamento e através das equações propostas por esses autores é possível estimar o alcance do deslizamento.

De outra forma, pode-se realizar uma abordagem com base na tensão de escoamento do material correlacionando-a com diferentes graus de saturação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corominas, J. (1996), "The angle of reach as a mobility index for small and large landslides". *Canadian Geotechnical Journal*, v. 33, p. 260-271.
- Fortes, F. F., Pereira, A. C., (2012), *Manuseio, Estocagem e Qualidade do Minério de Ferro*. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, V. 9, N. 2, p. 117-122, abr.-jun. 2012. Disponível em: <<http://tecnologiammm.com.br/doi/10.4322/tmm.2012.018/>>. Acesso em: 15 março 2024.
- Gramani, M., (2001), *Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, p.372.

- Napoli, M., Martire, D., Bausilio, G., et al. (2021) Rainfall-Induced Shallow Landslide Detachment, Transit and Runout Susceptibility Mapping by Integrating Machine Learning Techniques and GIS-Based Approaches, *Water*, 2021, 13, 488.
- Polanco, L. S. E., (2010), *Correlações Empíricas para Fluxo de Detritos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Qarinur, M. (2015) Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement. *Journal of the Civil Engineering Forum*, Vol. 1, No. 1, p.34.
- Silva, D. F. S. (2017) *Avaliação do alcance de deslizamentos em função da geometria da encosta - estudo de caso: Estrada de Ferro Vitória-Minas*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p.29-30.

ANEXOS

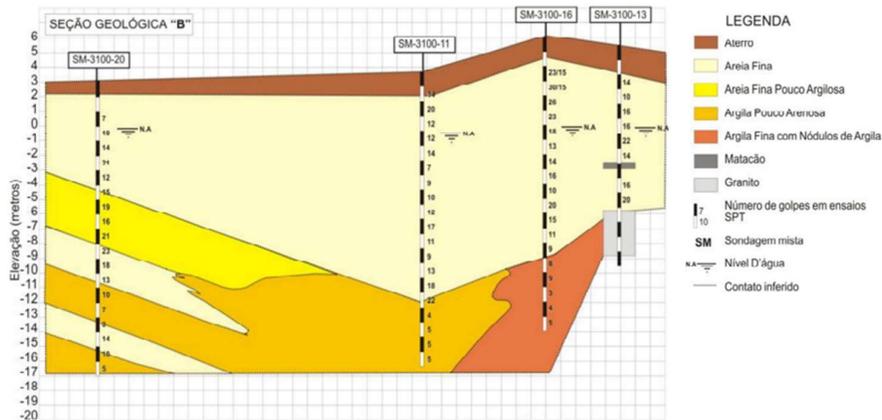
Sinter Feed: Ensaio de granulometria e composição do produto

MOVIMENTO/PILHA												
FE	SIO2	AL2O3	P	MN	PPC	FECHAM	H2O	+10	+6,3	-1	-0,15	-0,106
56,38	8,41	2,11	0,071	0,304	6,13	100,4	9,94	4,47	18,47	60,16	24,11	20,66
56,38	8,41	2,11	0,071	0,304	6,13	100,4	9,94	4,47	18,47	60,16	24,11	20,66
57,01	7,49	2,23	0,071	0,274	6,69	100,49	10,06	2,5	16,4	65,8	15,7	12,6
56,68	7,98	2,17	0,071	0,29	6,39	100,44	10	3,54	17,49	62,82	20,14	16,85
0,445	0,851	0,085	0	0,021	0,396	0,061	0,085	1,393	1,464	3,988	5,947	5,699

\*Documento Interno.

Obs.: Para os parâmetros de resistência do sinterfeed, foram levados em consideração o ensaio granulométrico e composição do material.

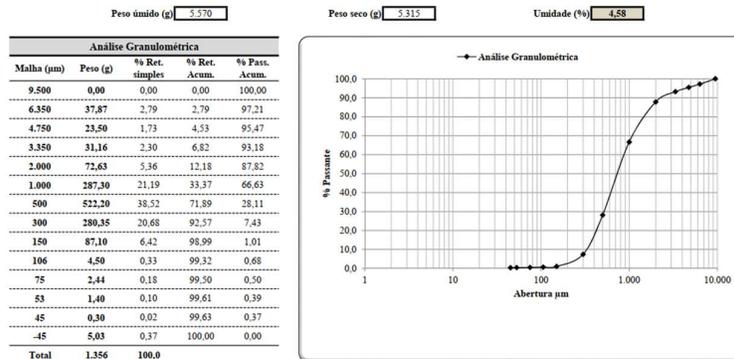
Terreno de fundação: Sondagens SPT existentes



\*Documento Interno.

Obs.: Foi admitido terreno de fundação competente, sem problemas relacionados a baixa capacidade de carga ou recalques incompatíveis com as estruturas. Foram avaliadas as sondagens existentes no terreno de fundação local.

Areia: Ensaio de granulometria



\*Documento Interno.

Obs.: Os parâmetros de resistência da areia foram admitidos com base na experiência do autor, que levou em consideração a curva granulométrica acima. Foram admitidos a baixa coesão e ângulo de atrito representativo para as características do material.