

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ESTABILIDADE EM BARRAGENS DE REJEITO NA MINERAÇÃO

Sara Dias da Silva¹
Stefanie Santos Rodrigues²
Balduino Dias Neto³
Bruna Iohanna Santos Oliveira⁴
Marcelo Linon Batista⁵

INTRODUÇÃO

O estudo de estabilidade em barragens de rejeito na mineração e a problemática do seu rompimento é objeto de intensos debates importantes devido a acidentes que acontecem e pelos potenciais prejuízos ambientais, econômicos e sociais (SILVA; SILVA, 2020). Esse tema tem uma grande relevância para a Educação Ambiental, visto que pode auxiliar estudantes e profissionais a compreender a importância de observar os impactos ambientais que suas áreas podem causar, seja na fase de implementação, execução, descomissionamento ou em possíveis acidentes deste tipo de empreendimento.

Nas atividades de mineração, a obtenção do produto de valor econômico está condicionada à execução de uma série de etapas planejadas, das quais uma das cruciais é o beneficiamento do minério, que visa separar o mineral-minério da ganga ou rejeito. Assim, o produto de valor segue para comercialização ou tratamento em indústrias químicas e siderúrgicas e os rejeitos são dispostos de forma adequada em barragens especialmente projetadas para esse fim (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

A segurança de barragens de rejeitos, resultado do beneficiamento de minérios, é essencial na mineração e depende de vários aspectos, como o ângulo de repouso estático que, segundo Mehta e Barker (1994), é a angulação máxima que um material mantém-se estável, sendo uma indicação de fluidez. Inúmeras influências podem afetar esse parâmetro, como rugosidade da base de empilhamento, umidade, tamanho e formato dos grãos (AL-HASHEMI; AL-AMOUDI, 2018).

¹ Discente do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, saradiassilva0712@gmail.com;

² Discente do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, rodriguesstefanny312@gamil.com;

³ Especialista em Gestão de Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Bahia - UFBA, baldoinodias@ifba.edu.br;

⁴ Mestra em Ciências Ambientais pela Universidade Federal da Bahia - UFBA, bruna.oliveira@ifba.edu.br;

⁵ Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras - UFLA, marcelolinon@ifba.edu.br.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência ao cisalhamento do minério de ferro e da sílica com a simulação do ensaio de ângulo de repouso.

METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo, utilizou-se pilhas cônicas construídas a partir do despejo de sílica e minério de ferro através de um funil em uma bancada. As técnicas utilizadas foram divididas em sete etapas: i. Coleta do material (aproximadamente 700 kg de sílica e minério de ferro com pesagem feita em laboratório em uma balança digital de precisão); ii. Peneiramento dos produtos na peneira série Taylor de ½" com o auxílio de conjunto vibratório automático nas peneiras de 20, 28, 35, 60 e 65# em um intervalo de tempo de 35 segundos em cada alimentação; iii. Pesagem das massas das peneiras escolhidas (20#, 60# e passante de 65#), totalizando 200 kg (a classificação foi realizada com o objetivo de uniformizar o tamanho dos grãos e minimizar os fatores de estratificação e segregação durante a formação das pilhas); iv. Construção das pilhas cônicas na base lisa e rugosa com as diferentes faixas granulométricas (o processo foi realizado três vezes em cada especificação); v. Observação do formato dos grãos com uma lupa; vi. Cálculo das médias de cada pilha cônica e dos seus respectivos ângulo de repouso de acordo a equação $\sigma = \arctan 2h/b$ (Onde "h" é a altura do cone, medido da base ao topo e "b" é a base do cone); vii. Confecção da tabela granulométrica, do formato dos grãos, e bases distintas em relação aos resultados dos ângulos de repouso obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados, foi notável que os ângulos de repouso (AR) da sílica foram superiores aos do ferro, indicando que a sílica é mais estável para construção de uma barragem segundo esta análise, visto que quanto menor o ângulo, maior a capacidade de escoamento. Em outras palavras, quando o ângulo de repouso estiver mais próximo de 90°, maior será a base ortogonal, a qual atuará como uma barreira mais eficaz para evitar a fluidez do material. A propriedade AR é importante por fornecer uma visão de como um material é acomodado, principalmente, em condições de estocagem e de como serão estabelecidas as forças internas (TEIXEIRA; LEITE; ARAÚJO, 2019).

Para facilitar a observação dos valores dos ângulos de repouso da simulação, foi gerada uma tabela com os parâmetros analisados. Primeiramente, na comparação dos ângulos de repouso da sílica com relação às duas diferentes faixas granulométricas na base lisa e rugosa (atrito), houve uma sutil variação. Na base lisa, o material retido na peneira de 60#

teve sua medida de 26° , enquanto o passante da peneira de 65# foi de $30,84^\circ$. Por outro lado, na base rugosa o material retido na peneira de 60# encontrou-se $31,8^\circ$ e no passante de 65# foi de $33,91^\circ$. Foi perceptível que, independente da base, o ângulo de repouso aumentou à medida que o tamanho das partículas diminuiu, e que, em base rugosa, houve um aumento mais notável, pela razão de ser um coeficiente de atrito mais elevado, tornando-a ideal para opor-se aos movimentos dos grãos.

Depois, na faixa granulométrica na peneira retida 20# e passante 65# na base lisa do minério de ferro, foram mensurados os valores de $10,73^\circ$ e $19,71^\circ$, em contrapartida, na base rugosa os ângulos foram $12,84^\circ$ e $21,71^\circ$. Notoriamente, os valores apresentaram um pequeno distanciamento, com interferência do tamanho e da rugosidade, mesmo que em pequena escala. Em relação a morfologia dos grãos, constatou-se que nos grãos angulares do ferro, a pilha teve maior fluidez em comparação aos grãos da sílica sendo na forma de pó, cuja pilha apresentou uma aparência mais plana.

As barragens de rejeito são definidas pela Portaria DNPM nº 70.389 (DNPM, 2017) como estruturas construídas em cota superior à da topografia original do terreno, em um curso permanente ou temporário para fins de contenção de rejeitos. As propriedades do rejeito são várias, podendo ser finos, compostos de siltes e argilas ou formados por materiais que apresentam granulometria mais grossa; essas condições estão relacionadas ao minério da mina e também ao tratamento (CAMPOS, 2021).

A caracterização geotécnica dos materiais que constituem a estratigrafia da encosta e os terrenos envolvidos em um talude, conforme estabelecido pela norma NBR 11682 (ABNT, 2009), é fundamental para compreender o comportamento do talude como um todo e avaliar sua estabilidade, devendo englobar ensaios para determinar a resistência ao cisalhamento dos materiais.

A resistência ao cisalhamento dos solos está intrinsecamente ligada à resistência entre partículas e à existência de ligações físico-químicas entre as partículas (coesão) (GERSCOVICH, 2016). O solo é um sistema trifásico constituído por sólidos, água e ar, ou seja, existem tensões efetivas transmitidas pelo contato das partículas e, conforme a saturação, parte é transmitida pela água (MARANGON, 2018). Desse modo, a barragem sendo fundada em uma rocha/solo e dependendo da sua tipologia, se é a jusante ou a montante, pode condicionar a estabilidade do maciço, e a escolha adequada do material equivale a uma barragem mais segura (MARANGON, 2018).

Um dos parâmetros da resistência ao cisalhamento é o ângulo de atrito (GERSCOVICH, 2016). Segundo Pinto (2000), o ângulo de atrito interno do solo refere-se às

“características friccionais entre as partículas, sendo definido como o ângulo máximo que a força transmitida ao solo pode fazer com a força normal à superfície de contato, sem que haja o cisalhamento do solo no plano de ruptura”.

“A determinação do ângulo de atrito requer a realização de ensaios de resistência que demandam tempo e a utilização de equipamentos especializados e com custos elevados, sendo inviável realizar estes tipos de ensaio na própria obra”, diante disso, o ângulo de repouso torna-se uma opção simples para a concretização de solos granulares, como testado por Herle & Gudehus (1999) (GIRARDI, 2016).

Os resultados observados são fundamentais para a resistência de cisalhamento, parâmetro que foi o fator crucial para o rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho - MG, no ano de 2019, causando um impacto significativo no meio ambiente e nas comunidades vizinhas e levantando discussões em todo o Brasil, segundo Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería - CIMNE (2021).

A citada organização de pesquisa avaliou que não houve intervenção de eventos sísmicos e sim uma liquefação no interior da barragem, inteiramente relacionada ao material, já que se refere ao aumento da poropressão no solo que afeta a resistência ao cisalhamento, uma vez que o solo começa a se comportar como líquido, o que só acontece quando há a presença de materiais contráteis.

Ainda de acordo com a pesquisa, a barragem de Brumadinho era essencialmente íngreme e úmida e a maioria dos seus rejeitos eram “fofos, contráteis, mal drenados e saturados, e portanto, altamente suscetíveis à liquefação” (CIMNE, 2021). Além das características do solo, os rejeitos não eram homogêneos, tendo a granulometria variada; os mais finos com permeabilidade mais baixa e estruturas mais contráteis eram mais propícios à liquefação e mais perigosos. Fica claro que considerar a segurança dessas barragens é essencial para refletir nos possíveis impactos sociais e no meio ambiente, objeto da Educação Ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de uma metodologia simples de avaliação do ângulo de repouso no laboratório para materiais granulares, obteve-se resultados compatíveis com a bibliografia atual, constatando-se que existem diferentes resultados de ângulo de repouso para os distintos materiais e bases, a partir da comparação entre sílica e minério de ferro.

O trabalho é relevante no âmbito da Educação Ambiental, visto que pode levar profissionais da área à compreensão da importância do cuidado criterioso na escolha e no

tratamento especial dos materiais para a construção de uma barragem estável, evitando acidentes, danos ambientais e a perda de vidas.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Barragem, Ângulo de repouso, Segurança.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682 - Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, p. 33. 2009.

AL-HASHEMI H.M.B., AL-AMOUDI O.S.B. A review on the angle of repose of granular materials. **Powder Technology**, v. 330, pp. 397-417, 2018.

CAMPOS, R.V.A. **Análise de investigações geotécnicas de barragens utilizando o CPTu em uma mina de ferro**. 2021. 84 p. Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas, Ouro Preto. 2021.

CIMNE - CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM INGENIERÍA (2021). Computational analyses of Dam I failure at the Corrego de Feijão mine in Brumadinho Final Report. Report, UPC, Catalunya, 561 p.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Portaria n. 70.389, de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

GERSCOVICH, D.M.S. **Estabilidade de taludes** (2ª edição). Oficina de textos. Capítulo 2 - p. 35-77, 2016.

GIRARDI, J.R.J. **Atrito em Materiais Granulares, utilizando Esferas de Vidro** [Distrito Federal] 2016. xii, 49 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2016) Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2016.

GUZMÁN, D. **Comparación del ángulo de fricción crítico con el ángulo de reposo.** Análisis de la influencia de algunos factores en la determinación del ángulo de reposo. 2008. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Bogotá. 2008.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C. A. **Tratamento de minérios.** 2010.

MARANGON, M. APOSTILA ESTABILIDADE DE TALUDES MARANGON. **Geotecnia de Fundações e Obras de Terra** | PDF | Erosão | Estresse (Mecânica). Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/332453287/Apostila-Estabilidade-de-Taludes-Marangon>>.

MEHTA, A., BARKER, G.C. **The dynamics of sand**, reports, Prog. Phys., v. 57, p. 383–416, 1994.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo, Oficina de Textos, 2000.

SILVA, E. L. E; SILVA, M. A. DA. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**, v. 44, n. spe2, p. 242–261, 2020.

TEIXEIRA, J.R.T., LEITE, J.Y.P., ARAÚJO, F.S.D. Angeles - **Um aparato para determinação de ângulo de reposo.** XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belo Horizonte-MG, 4 a 8 de Novembro de 2019.