

Proposta de Projeto de Doutoramento a Desenvolver no Âmbito do 1º Concurso para Atribuição de Bolsas de Investigação na Área de Engenharia Civil

1. Título do projeto

Título: ESTABILIDADE DE EMPILHAMENTOS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: GEOCARACTERIZAÇÃO, MODELAÇÃO À LUZ ESTADOS CRÍTICOS E SEGURANÇA

Palavras-chave: Segurança de empilhamento; Rejeitos de Mineração; Caracterização e Modelação

Referência: CEE_EC_FEUP1

2. Instituições envolvidas

Instituição onde o doutoramento será realizado: FEUP

Outras instituições participantes no projeto de investigação: Universidade de Eduardo Mondlane (UEM), Moçambique

3. Equipa de Orientação:

Orientador: António Joaquim Pereira Viana da Fonseca (FEUP)

Coorientador: Bruno Delgado Guimarães (FEUP e Vale SA); Saturnino Chembeze (UEM)

4. Descrição do Projeto

A busca por alternativas às barragens de contenção dos depósitos de rejeitos, cujo volume atingem centenas de milhares de m³, é uma grande preocupação das empresas de mineração no mundo inteiro. A empresa Vale, SA, que possui grupos de trabalho tanto no Brasil quanto no exterior, com especialistas em diversas áreas, vem estudando a deposição drenada, ou seja, o armazenamento em pilhas para rejeitos de minério de ferro, solução que tem como benefício a redução dos volumes e prazo, o mais fácil reaproveitamento futuro destes rejeitos e sobretudo maior segurança. Estas pilhas drenadas, são executadas após prensagem dos rejeitos (maioritariamente siltosos e silto-arenosos, depositados com graus de compactação que confirmam resistência necessária em estruturas de dimensões tão elevadas (podem facilmente atingir duas centenas de metros).

A definição de metodologias que visam a construção de pilhas estáveis. É um grande desígnio, sendo reconhecido que os modelos de estabilidade baseados nos estados críticos (ou estados estáveis) constituem a melhor ferramenta para estudar e caracterizar as condições ajustadas de compactação, à luz dos níveis de carga esperados e tendo em conta o comportamento drenado e, eventualmente, não drenado dos materiais. As análises de estabilidade em condições drenadas deve considerar aos fenómenos de cedência / relaxação (“creep”) e as não drenadas a eventualidade de liquefação com rotura progressiva. Os gatilhos (“triggers”) que podem conduzir à liquefação parcial ou total são diversos, sendo de salientar os seguintes (i) Alterações na geometria e desvios do projeto original; (ii) ritmos/cadências/taxas de alteamento; (iii) aumento de poro-pressões por mudança rápida das redes de água (subida do nível freático espontâneo); (iv) remoção de camada de suporte no pé de talude ou em alteamentos intermédios, incorrendo em aumento de tensão corte; (v) assentamentos de fundações na base na barragem de arranque (pé de talude) ou noutra fundação em outro(s) nível(is) de alteamentos, o que também incorre em significativo aumento de tensão de corte; (vi) sismos (terramotos); (vii) máquinas trabalhando na área e cravação de estacas ou outros elementos inclusos (vibrações

induzidas); (vii) Explosões no processo de mineração; etc., e como agora se propõe, (viii) fluência (creep) em condição não drenada associado a uma perda rápida de sucção na zona não saturada antes de forte pluviosidade.

Dentre os projetos desenvolvidos pela empresa Vale, SA, está o negócio de carvão em Moçambique, que é um rejeito fino, tal como o minério de ferro, o principal envolvido nas barragens do Brasil. O Eng. Bruno Delgado, que recentemente concluiu o seu doutoramento no DEC da FEUP (Novembro de 2019) e membro responsável pela área da geotecnia na recentemente criada direção corporativa da empresa, manifestou o apoio a este trabalho, considera que forma de disposição de rejeitos eliminará, a partir de 2020, completamente a necessidade de barragens nas operações de carvão e fará com que as barragens existentes funcionem apenas em caso de contingência. Esta solução a implementar em Moçambique trará benefícios para o negócio de carvão: “aumentará a recuperação de água de 44% para 89%, dispensará a utilização de grandes áreas para a construção de barragens e economizará recursos tanto para sua implantação quanto para seu fechamento” (sic).

Todas essas ações devem ser antecipadas, desde o início da conceção e projeto, e mais tarde e continuamente durante a vida útil desse ativo e eventual desativação. Devido à complexidade dessas ações, geometricamente, no tempo, isoladas ou em conjunto, estas só podem ser tratadas por códigos numéricos atualizados com amplas capacidades em termos de gamas de deformação e em análises eficazes de tensão-deformação com acoplamento hidráulico, com base em modelos constitutivos competentes, preferencialmente baseados em conceitos de estados críticos, que neste doutoramento se usarão e refinarão. A otimização dos trabalhos experimentais será estudada, recorrendo aos resultados de ensaios de laboratório avançados e com referência aos níveis de compactação a colocar em obra. A definição dos parâmetros hidráulicos e geotécnicos representativos e sua distribuição em altura dos empilhamentos, serão avaliados a partir das melhores e mais eficazes abordagens de engenharia e buscando soluções seguras.

A teoria dos estados críticos fornece uma base robusta para a caracterização de rejeitos de minas. Novos dados experimentais para rejeitos de platina não plásticos e um grande banco de dados de rejeitos e solos não plásticos (tamanho de grão entre $2\mu\text{m}$ e $500\mu\text{m}$) mostram que os parâmetros de estado crítico para rejeitos não plásticos seguem as mesmas tendências que não solos plásticos em função das características de escala de partículas e proporções extremas de vazios. Linhas de estado crítico determinadas para gradações extremas de rejeitos subestimam a faixa de parâmetros de estado crítico que podem ser encontrados em empilhamento de rejeitos. De fato, misturas com conteúdo intermediário de finos exibem compacidade mais densa em estado crítico. O trabalho procurará identificar propriedades índice que facilitem a geração de parâmetros geomecânicos e hidráulicos que informem o projeto, mesmo em vista de modelos avançados, o que viabilizará seu uso corrente.

5. Referências Bibliográficas

Gens, A. (2019). Hydraulic fills with special focus on liquefaction. Proc. XVII ECSMGE-2019. Geotech. Engin. Foundation of the future. doi: 10.32075/17ECSMGE-2019-1108

Oboni F & Oboni C (2020). Tailings Dam Management for the Twenty-First Century: What Mining Companies Need to Know and Do to Thrive in Our Complex World. 278 pages (Springer ISBN: 978-3-030-19446-8)

Robertson. P. K., de Melo, L., Williams, D. J., Ward Wilson, (2019). Report of the Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam I. December 12, 2019 <http://www.b1technicalinvestigation.com/>

Viana da Fonseca, A. (2012). Application of in situ testing in tailing dams, emphasis on liquefaction: case-history. Workshop on Practical Applications ISC'4 (www.isc-4.com/). “Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4”, A. Balkema, CRC, Taylor & Francis Group, London, UK. Vol. 1, pp. 181-203