

Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro

Mine dump classification in the iron ore mining

Giani Aparecida Santana Aragão

MSc, Pimenta de Ávila Consultoria Ltda.,
Nova Lima/MG, Brasil
giani.aragao@pimentadeavila.com.br

Waldyr Lopes de Oliveira Filho

PhD, Universidade Federal de Ouro Preto,
Ouro Preto/MG, Brasil
waldyr@em.ufop.br

Resumo

O artigo apresenta uma proposta canadense de classificação de pilhas de estéril do ponto de vista da sua estabilidade física. O método baseia-se na avaliação ponderada e semiquantitativa de fatores-chave que podem afetar a estabilidade. Seu resultado permite atribuir uma determinada classe à pilha de acordo com o potencial de instabilidade. Essas classes definem um nível de esforço recomendado para investigação, projeto, construção e monitoramento da pilha. Para a verificação da eficácia do sistema de classificação, foi realizado um estudo de caso diante da realidade da mineração de ferro, na cidade de Nova Lima, Minas Gerais. A execução desse trabalho envolveu uma pesquisa documental e um posterior trabalho de campo, a fim de se aplicar, as informações coletadas sobre as pilhas no sistema de classificação.

O trabalho mostra, também, inovações introduzidas pelos autores sobre o uso do sistema de classificação como meio de atestar a qualidade do manejo das pilhas e de identificar condicionantes de um projeto. O sistema de classificação mostrou que se trata de uma ferramenta muito útil, tanto no planejamento, como também na avaliação de todas as fases da vida de uma pilha.

Palavras-chave: Pilha de estéril, classificação, estabilidade, mineração de ferro.

Abstract

In this paper a Canadian proposal for waste dumps classification according to their physical stability is presented. The method is based on a semi-quantitative evaluation of key factors affecting the stability of a waste dump, and the result allows assigning a certain class of dump according to their instability potential. These classes define a recommended level of effort for investigation, design, construction and monitoring of the dumps. To check the effectiveness of the classification a case study was carried out in face of the iron ore mining reality, in Nova Lima City, Minas Gerais State. The implementation of this work involved a documentation search followed by field work and analyses in order to apply the collected information about the dumps in the classification.

The work also shows innovations introduced by the Authors about the use of the classification system as a means of assessing the quality of the dumps management and also makes it possible to identify main aspects of a project. The proposed classification system showed that it is a very useful tool for both planning and evaluation of all stages of a waste dump life.

Keywords: Waste Dump, classification, stability, iron ore mining.

1. Introdução

A extração de bens minerais faz surgir uma quantidade expressiva de materiais de pouco ou nenhum valor econômico, como o minério futuro e o estéril. O manejo do minério futuro responde a uma estratégia de negócio: tal minério pode ser aproveitado e, ainda, dar um retorno financeiro. Já a remoção de estéril da área de lavra e a sua disposição final representam apenas custos no desenvolvimento de uma mina com implicações, não só de ordem econômica, mas, também, no que diz respeito à segurança e ao meio ambiente.

Atualmente o manejo criterioso de estéril impõe-se devido a diversos fatores. Entre esses fatores destacam-se o significativo aumento no volume de material movimentado nas operações mineiras, a maior escassez de áreas adequadas à disposição, especialmente em empreendimentos mais antigos, a maior exigência dos órgãos fiscalizadores, principalmente nos aspectos ambientais, e o amplo leque

de possibilidades para a utilização futura desses depósitos. Essa situação faz com que seja necessário um esforço maior de planejamento das atividades de projeto, construção, operação e reabilitação das estruturas finais geradas pela movimentação dos estéreis.

No Brasil, o planejamento e o projeto de uma pilha estão sujeitos a aprovações legais, apesar de se exigir muito pouco sobre investigação e projeto. A norma ABNT NBR 13029 (2006) especifica os requisitos mínimos para a elaboração e a apresentação de projeto para disposição de estéril.

Dada a diversidade das pilhas em termos locais, porte, tipos de estéril, clima, etc., existe uma carência de orientação dos profissionais que lidam com esses empreendimentos. É preciso que eles estabeleçam um nível adequado de detalhamento dos estudos dessas estruturas. Essa dificuldade pode ser, em parte,

resolvida por uma classificação de pilhas.

Até o presente momento, não existe, entre nós, uma classificação de pilha de estéril com relação ao seu potencial de perigo/dano, algo mais comum de se ver quando o assunto é barragem. No estado de Minas Gerais, por exemplo, existe uma Deliberação Normativa COPAM (62/2002 alterada para 87/2005) específica para barragens, que as classifica segundo o potencial de dano ambiental.

O presente trabalho procura contribuir para preenchimento dessa lacuna ao trazer os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo avaliar um sistema de classificação de pilhas de estéril com vistas a sua utilização em gerenciamento de riscos, planejamento, projeto, construção e monitoramento dessas estruturas. Espera-se que o assunto possa despertar uma discussão de um critério de classificação a ser adotado para as pilhas no Brasil.

2. Sistema de classificação de pilhas de estéril

Um sistema de classificação proporciona, em geral, a identificação básica de um produto, estrutura ou processo, que, no caso de uma pilha de estéreis, poderia, por exemplo, informar sobre o seu tipo e a sua configuração. Essas informações facilitam a comunicação e o entendimento entre profissionais interessados em projeto e construção. Além disso, a classificação pode fornecer informações adicionais que permitam prever o provável comportamento interno da pilha (poro pressões, nível de água, etc) e identificar problemas potenciais (condicionantes).

Nesse trabalho, avalia-se um sistema de classificação de pilhas desenvolvido para o governo canadense com base na estabilidade física de uma pilha de estéril (BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, 1991). Na elaboração desse sistema, foram enviados questionários a diversos profissionais e empresas de consultoria, indagando sobre fatores que influenciavam a estabilidade das pilhas e sua importância. As informações obtidas foram tratadas de modo a se obter um consenso e daí surgiu o sistema de classificação baseado numa pontuação ponderada daqueles pontos-chave e numa categorização do potencial de ruptura das pilhas em classes.

Esse sistema de classificação é uma ferramenta que pode ser utilizada em to-

das as fases da vida de uma pilha, desde o seu planejamento. Ela propicia realizar classificações preliminares dos possíveis locais para disposição do estéril, tornando possíveis comparações entre esses locais, quanto ao potencial de instabilidade, e estabelecendo o nível de esforço de investigação, projeto, construção e monitoramento necessários para cada local de acordo com a cada classe encontrada.

O sistema de Classificação consta de duas partes principais, a saber: Avaliação de Estabilidade e Classificação de Pilha. Um complemento à Classificação é o que aqui se denomina Verificação de Enquadramento de Classe.

A Avaliação de Estabilidade da pilha trata-se de uma metodologia semiquantitativa para avaliar o potencial de instabilidade de pilhas com base em fatores-chave. A Tabela 1 lista esses fatores, sendo as três primeiras colunas referentes ao sistema de classificação propriamente dito, compreendendo a descrição, o grau ou intensidade de cada um e a ponderação sugerida. As outras colunas subsequentes apresentam exemplo de classificação dentro de um estudo de caso, que será discutido no item 3.

É importante ressaltar que a atividade de classificar segundo a Tabela 1 permite, também, identificar aspectos relevantes da pilha naqueles fatores onde a pontuação alcançada é máxima (200 ou

100 pontos). Essa observação é apontada no estudo de caso (item 3).

Com a pontuação alcançada, a pilha é, então, classificada em uma das quatro categorias de estabilidade conforme a Tabela 2. Essas categorias ou classes definem um nível de esforço recomendado para investigação, projeto e construção da pilha, ou seja, a qualidade do manejo de estéril. Quanto maior a classe, maior o nível de esforço recomendado. É bom que se esclareça, que ao ser colocada numa categoria, por exemplo, classe III ou IV, não significa que a pilha vai romper ou está com uma estabilidade precária e, sim, qual o potencial de perigo ou dano associado, traduzindo a qualidade de manejo desejado àquela classe em que ela foi classificada.

A Verificação de Enquadramento da Classe é uma etapa complementar dentro do sistema de classificação, onde é analisado se o manejo de estéril previsto ou realizado é compatível com a classificação, ou seja, avalia-se se uma pilha, por exemplo, classe III, está sendo tratada como tal, ou como uma classe diferente. Essa etapa não existe na proposta original da classificação, mas se julgou necessária para responder à questão sobre a qualidade da gestão do manejo de estéreis da pilha classificada. Ela será também apresentada no estudo de caso a seguir.

Fatores-chave que afetam a estabilidade		Faixa de Condições ou Descrições		Pontuação	Pontuação Pilhas (exemplo)			
					Grota Fria	Capão da Serra	Grota 0	
Configuração da Pilha	Altura da Pilha	<50m		0	50	200	200	
		50m - 100m		50				
		100m - 200m		100				
		>200m		200				
	Volume da Pilha	Pequeno	<1 x 10 ⁶ m ³ /banco		0	0	50	50
		Médio	1 - 50 x 10 ⁶ m ³ /banco		50			
		Grande	>50 x 10 ⁶ m ³ /banco		100			
	Inclinação do Talude	Suave	<26°		0	0	0	0
		Moderado	26° - 35°		50			
		Íngreme	>35°		100			
Inclinação de Fundação	Suave	<10°		0	0	0	0	
	Moderada	10° - 25°		50				
	Íngreme	25° - 32°		100				
	Extrema	>32°		200				
Grau de Confinamento	Confinado	- Talude côncavo em planta ou seção; - Aterros em vale ou transversais a um vale, pé de talude em contato com a parede oposta do vale; - Ravinas em forma de dente de serra suavizando a inclinação de fundação.		0	50	50	50	
	Moderadamente confinado	- Bancos ou terraços naturais nos taludes; - Taludes com inclinação uniforme, limitados por topografia natural diversificada; - Empilhamento de estêreis em encostas, em vales abertos, ou transversais a vales.		50				
	Sem Confinamento	- Talude convexo em planta ou seção; - Aterros de encosta ou aterros de crista sem confinamento na base; - Sem raízes ou bancos para auxiliar a construção.		100				
Tipos de Fundação	Competente	- Materiais de Fundação tão ou mais resistentes que os da pilha; - Não sujeita a efeitos adversos da poropressão; - Sem estruturas geológicas desfavoráveis.		0	100	100	100	
	Intermediária	- Intermediária entre competente e fraca; - Ganho de resistência do solo com adensamento; - Dissipação do excesso de poropressões com o controle da taxa de carregamento.		100				
	Fraca	- Capacidade de suporte limitada, solos moles; - Sujeita a excessos de poropressão devido ao carregamento; - Condições adversas de água subterrânea, surgências ou infiltrações; - Baixa resistência ao cisalhamento, com alto potencial de liquefação.		200				
Qualidade do material da pilha	Alta	- Resistente, durável - Menos que 10% de finos		0	100	100	200	
	Moderada	- Moderadamente resistente, durabilidade variável; - 10 a 25% de finos		100				
	Pobre	- Predominância de rochas fracas de baixa durabilidade - Mais que 25% de finos, material de cobertura (capeamento)		200				
Método de construção	Favorável	- Bancos ou camadas não muito espessos (<25m de espessura), plataformas largas; - Disposição ao longo das curvas de nível - Construção ascendente - Wrap-arounds ou terraços		0	0	0	0	
	Misto	- Bancos ou bancadas moderadamente espessas (25m - 50m); - Métodos mistos de construção		100				
	Desfavorável	- Bancos ou camadas muito espessas (>50m), plataforma estreita (aterro na forma de pontões) - Disposição abaixo da linha de queda do talude; - Construção descendente		200				
Condições piezométricas e climáticas	Favorável	- Baixas pressões piezométricas, nenhuma surgência na fundação; - Improvável desenvolvimento de superfície freática no interior da pilha; - Precipitação limitada; - Infiltração mínima dentro da pilha; - Nenhuma camada de neve ou gelo na pilha ou fundação		0	100	100	200	
	Intermediária	- Pressões piezométricas moderadas, algumas infiltrações na fundação; - Desenvolvimento limitado da superfície freática na pilha; - Precipitação moderada; - Alta infiltração no interior da pilha; - Lentas ou camadas descontínuas de neve ou gelo na pilha ou na fundação;		100				
	Desfavorável	- Altas pressões piezométricas, surgências na fundação; - Alta precipitação; - Significativo potencial de desenvolvimento de superfície freática ou lençol suspenso no interior da pilha.		200				
Taxa de decomposição	Baixa	- < 25m ³ /banco por metro linear de crista por dia; - Taxa de avanço da crista <0.1 m por dia.		0	0	0	0	
	Moderada	- 25 - 200 m ³ /banco por metro linear de crista por dia; - Taxa de avanço da crista de 0.1 m - 1.0 m por dia.		100				
	Alta	- > 200 m ³ /banco por metro linear de crista por dia; - Taxa de avanço da crista > 1.0 m por dia.		200				
Sismicidade	Baixa	Zona de risco sísmico 0 e 1 (escala Richter)		0	0	0	0	
	Moderada	Zona de risco sísmico 2 e 3		50				
	Alta	Zona de risco sísmico 4 ou maior		100				
Pontuação máxima possível de estabilidade da pilha: 1.800					350	600	800	

Tabela 1
Pontuação de Estabilidade de Pilhas de Estéril e exemplo de aplicação (modificado BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, 1991; Aragão, 2008)

Classificação da estabilidade	Potencial de Ruptura	Nível de Esforço Recomendado para Investigação, Projeto e Construção	Faixa de pontuação	Classificação Pilhas Exemplo
I	Desprezível	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecimento básico do local, documentação de referência; - Programa mínimo de ensaios de laboratório; - Rotina de checagem de estabilidade, possivelmente usando ábacos; - Restrições mínimas na construção; - Monitoramento apenas visual. 	<300	
II	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> - Investigação completa do local; - Poços de inspeção, amostragem pode ser obrigatória; - Programa limitado de ensaios de laboratório; - Estabilidade pode ou não influenciar o projeto; - Análise básicas de estabilidade obrigatória; - Certas restrições na construção; - Monitoramento visual e de instrumentos de rotina. 	300 - 600	Grota Fria
III	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Investigação detalhada do local; - Poços de inspeção obrigatórios, ou outras investigações de superfície podem ser obrigatórias; - Programa detalhado de ensaios de laboratório, incluindo propriedades-índice, resistência ao cisalhamento e durabilidade provavelmente obrigatórios; - Estabilidade influencia e pode controlar o projeto; - Análise de estabilidade detalhada, possivelmente estudos paramétricos, obrigatórios; - Projeto básico pode ser obrigatório para aprovação/ permissão; - Restrições moderadas na construção (ex. taxa de carregamento limitada, espessuras das camadas, qualidade do material, drenagem superficial adequada, etc.); - Monitoramento detalhado de instrumentação para confirmar projeto, documentar performance e estabelecer limites de carregamento. 	600 - 1200	Capão da Serra Grota 0
IV	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Investigação detalhada do local em etapas; - Poços de inspeção e possíveis trincheiras, obrigatórios; - Sondagens e outras possíveis investigações subsuperficiais provavelmente obrigatória; - Amostragem indeformada provavelmente obrigatória; - Programa detalhado de ensaios, incluindo propriedades-índice, resistência ao cisalhamento e durabilidade provavelmente obrigatórios; - Considerações sobre estabilidade essenciais; - Análises de estabilidade detalhadas, possivelmente incluindo estudos paramétricos e avaliações completas de alternativas provavelmente obrigatórias; - Projeto básico provavelmente obrigatório para aprovação/ permissão; - Restrições severas na construção (ex. taxa limite de carregamento, espessuras das camadas, qualidade do material, drenagem superficial, etc.); - Monitoramento detalhado de instrumentação para confirmar projeto, documentar performance e estabelecer limites de carregamento. 	>200	

Tabela 2
Classificação da estabilidade da pilha e nível de esforço recomendado (modificado BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, 1991).

3. Estudo de Caso

O sistema de classificação introduzido anteriormente foi examinado nessa pesquisa através de estudo de caso nas pilhas de estéreis da VALE,

nos complexos mineiros de Vargem Grande e Paraobebas, em Minas Gerais, mais especificamente no Quadrilátero Ferrífero.

Características gerais das pilhas

A primeira etapa do estudo de classificação das pilhas compreendeu uma pesquisa documental sobre os fatores-chave (Tabela 1) para cada um dos 34 empreendimentos mineiros. Iniciou-se com os documentos em meio físico. Foram analisados documentos como: projetos básicos, projetos executivos, relatórios de reuniões, relatórios de consultores, mapas, croquis, relatórios de instrumentos,

relatórios de investigação de campo, etc. Em seguida, passou-se a análise dos documentos em meio eletrônico. Ao concluir o trabalho, os dados foram computados e organizados de forma estruturada em planilhas eletrônicas. Para cada mina, foi feita uma planilha e, dentro dessas planilhas, foram colocadas as pilhas das respectivas minas, contendo as informações sobre as variáveis pesquisadas.

A empresa, na época do estudo, possuía, na região, uma relação de 34 pilhas em diversas fases (projeto, operação ou desativada).

As pilhas analisadas possuíam características semelhantes, sendo planejadas, projetadas e construídas com acompanhamento técnico. De um modo geral, são estruturas de médio e grande porte, formadas pelo método ascendente, o que constitui uma boa prática para a estabilidade das estruturas. A Tabela 3 mostra um resumo das informações coletadas.

Trabalho de Campo

Ao finalizar a análise de todos os dados, foram separadas as pilhas que possuíam o maior número de informações necessárias à classificação, evitando-se inferências. As pilhas selecionadas foram Grota Fria (desativada) e Capão da Serra (em operação), da mina do Tamanduá, e

Grota 0 (em operação de retomada, alteração), da mina da Mutuca.

Além do trabalho de escritório, realizaram-se visitas ao campo àquelas estruturas de modo a se obter um conhecimento da situação real das pilhas, do plano operacional, o “as built” de

construção, e a se ter acesso a relatórios locais, resultados de instrumentação e outras informações por meio de comunicação pessoal. Essa atividade foi muito útil para complementar e para validar os dados coletados na fase de escritório (pesquisa documental).

Tabela 3
Análise das Características
das Pilhas Estudadas

Dados Verificados		%
Fontes de Informações Coletadas	Projeto Executivo	40
	Análise de risco - FMEA	10
	Documentos diversos	60
Situação das Pilhas	Desativada	10
	Atividade	36
	Projeto	16
Método Construtivo	Construção Ascendente	100
Tipo de Pilha	Aterro em Vale	70
	Aterro em Encosta	16
	Aterro em Crista	7
	Pilha	7
Altura Geral da Pilha	<100	13
	100m a 200m	47
	>200m	40
Altura dos Bancos	10m a 20m	20
	20m	80
Ângulo de Inclinação Geral dos Taludes	21°	47
	21° a 23°	27
	<21°	26
Ângulos entre bancos	26° - 26,6°	85
	29°	15
Qualidade do Material	Filitos, xistos, itabiritos pobres, quartzitos, cangas e rochas básicas em diversos estados de alteração	90
Monitoramento	Inspeção e instrumentos	100

Classificação das Pilhas

As pilhas escolhidas foram analisadas pela Tabela 1, sendo a pontuação dos fatores de cada uma das pilhas mostrada naquela tabela (três últimas colunas da esquerda). As pilhas foram classificadas dentro de uma categoria (classe) de acordo com a Tabela 2. A pi-

lha do Capão da Serra obteve seiscentos pontos, no limiar de classificação entre classe II e classe III, sendo conservadoramente classificada como classe III, com potencial de ruptura moderado. A pilha da Grota Fria obteve trezentos e cinquenta pontos, sendo classificada

como classe II, com potencial de ruptura baixo. A pilha da Grota 0 obteve oitocentos pontos, sendo classificada como classe III, com potencial de ruptura moderado.

De acordo com a Tabela 1, é possível, também, observar que os aspectos

Tabela 4
Enquadramento de Classe

Itens	Descrição	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	
Investigação	Reconhecimento do Local	Básico	Completo	Detalhado		
	Programa de Ensaio	Mínimo	Limitado	Detalhado		
	Poço de Inspeção			Opcional	Obrigatório	
				Obrigatório		
	Amostragem Indeformada				Opcional	Obrigatório
					Obrigatório	
Sondagens				Opcional	Obrigatório	
Projeto	Análise de Estabilidade	Ábacos	Básica	Detalhada		
	Projeto Básico			Obrigatório		
Construção	Restrições na Construção	Mínima	Algumas	Moderadas		
	Monitoramento	Visual	Visual/ Instrumento Rotina	Monitoramento Detalhado		

mais relevantes de projeto (condicionantes de projeto) para as três casos estudados, de um modo geral, foram: altura das pilhas, tipo de fundação, qualidade do material da pilha e condições piezométricas e climáticas.

Com a classe definida, passou-se à etapa de se verificar o nível de esforço empregado estava compatível com a classe encontrada. Para a verificação do enquadramento da classe, foi modificada a apresentação da Tabela 2, de modo a tornar mais direta o seu uso nessa nova finalidade. Assim surgiu a

Tabela 4 - Enquadramento de Classe.

No exercício de enquadramento da pilha Grota Fria (classe II) com auxílio, também, de pesquisa documental e de visitas ao campo (itens anteriores), constatou-se que, dos nove itens de avaliação, havia informações sobre seis deles, destacando-se que, nos quesitos de investigação e projeto, o realizado, para esta pilha, estava acima do necessário (nível de classe III e IV).

A pilha Capão da Serra (classe III) também possuía informações em seis itens, chegando a respostas satisfatórias

para atendimento aos requisitos de esforço de uma pilha classe III, ou mesmo classe IV, no que tange a sondagens.

Por fim, a pilha Grota 0 (classe III) possuía informações também em seis itens, todos atendidos na classe III/IV, com exceção de um, marcado em classe superior, ou seja, acima do exigido.

O enquadramento de classe das pilhas analisadas não foi de todo completo, mas os resultados sugerem que as pilhas foram e/ou estão sendo objeto de um manejo compatível com a classificação.

4. Conclusão

O sistema de classificação de pilhas de estéril apresentado parece mostrar-se uma ferramenta muito útil na avaliação de todas as fases da vida de uma pilha, atingindo um nível razoável entre a aplicabilidade e a facilidade no estudo de caso avaliado.

Além da classificação, verificou-se que o método traz, como importante subproduto, a identificação de aspectos relevantes de projeto (condicionantes).

A questão de avaliação de enquadramento de classe foi introduzida como complemento ao sistema original, ampliando o alcance da classificação proposta, permitindo uma constatação ainda que conceitual sobre a qualidade do manejo de estéril na pilha classificada.

O resultado do enquadramento de classe no estudo de caso é apenas indicativo, pois muitos itens não possuíam

as informações necessárias.

O estudo realizado para o conjunto de todas as pilhas tornou possível, também, ter um panorama sobre o manejo de estéril da mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero (Tabela 3).

Por fim, a classificação de pilha é um conceito novo que deve ser discutido, sendo esse trabalho uma tentativa de se estabelecer um procedimento normalizado.

5. Referências bibliográficas

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Coletânea de normas de mineração e meio ambiente - NBR 13029*. Rio de Janeiro, 2006. p. 2-5.
- BC MINE WASTE ROCK PILE RESEARCH COMMITTEE. *Mined Rock and Overburden Piles. Investigation & Design Manual. Interim Guidelines*, 1991. 128p.
- ARAGÃO, G. A. S. *Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. (Dissertação de Mestrado).

Artigo recebido em 02 de fevereiro de 2010. Aprovado em 12 de novembro de 2010.