



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

## **GESTÃO DE RISCOS DE BARRAGEM DE REJEITO DE MINERAÇÃO: PREVENÇÃO NAS ETAPAS DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

**Rogério Eduardo Souza de Almeida Dias<sup>(1)</sup>; Deni Otavio Oliveira Souza<sup>(2)</sup>; Marlene Furtado da Costa<sup>(3)</sup>; Natércia Taveira Carvalhaes Dias<sup>(4)</sup>; Ana Cláudia Souza de Almeida Dias<sup>(5)</sup>**

(1) Estudante; Engenheiro Civil e Segurança do Trabalho Mestrando em Engenharia de Barragem e Meio Ambiente; Universidade Federal do Pará; Parauapebas, Pará; [resadias@yahoo.com.br](mailto:resadias@yahoo.com.br); (2) Estudante; Engenheiro Civil Mestrando em Engenharia de Barragem e Meio Ambiente; Universidade Federal do Pará; Parauapebas, Pará; [deniotavi@yahoo.com.br](mailto:deniotavi@yahoo.com.br); (3) Doutora; Engenheira Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Parauapebas, Pará; [marlenefcosta@yahoo.com.br](mailto:marlenefcosta@yahoo.com.br); (4) Especialista; Enfermeira do Trabalho; Universidade do Estado de Minas, Parauapebas, Pará; [tcnatercia@yahoo.com.br](mailto:tcnatercia@yahoo.com.br); (6) Estudante; Engenharia de Segurança do Trabalho; Pontifícia Universidade Católica; Alfenas, Minas Gerais; [acsadias@yahoo.com.br](mailto:acsadias@yahoo.com.br).

**Eixo temático:** Saúde, Segurança e Meio Ambiente

**RESUMO** – A indústria da Mineração no Brasil apresenta uma grande diversidade de reservas minerais e contribui significativamente para a geração de riqueza e desenvolvimento do país. As cidades com empresas de mineração apresentam IDH maior que a média dos seus respectivos estados, principalmente pela arrecadação e aplicação da CFEM Compensação Financeira pela Exploração Mineral. Contudo, independente do tipo de mineral extraído, a indústria da mineração apresenta em maior ou menor escala riscos socioambientais. O histórico de acidentes de grandes proporções causados especificamente por rompimento de barragens de rejeito tem demonstrado que há falhas no gerenciamento de riscos que se inicia na escolha do método construtivo e passa também por falhas de gestão de riscos de rotinas de inspeção e instrumentação de barragens de rejeito, ocasionando acidentes com consequências socioambientais catastróficas. Este estudo tem como objetivos analisar os riscos e principais fatores contribuintes para ocorrência de acidentes com barragens de rejeito de mineração e avaliar a aplicação das principais medidas de prevenção preconizadas pela Lei 12.334/2010 a uma barragem de rejeito.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de riscos. Segurança. Prevenção.

**ABSTRACT** – The mining industry in Brazil has a great diversity of mineral reserves and contributes significantly to the generation of wealth and development. Cities with mining companies have an HDI higher than the average of the respective states, mainly for the collection and application of CFEM Financial Compensation for Mineral Exploration. However, regardless of the type of mineral extracted, the mining industry has a greater or lesser extent social and environmental risks. The history of major accidents specifically caused by disruption of tailings dams has shown that there are gaps in risk management that begins in the choice of construction method and also involves management failures inspection routines risks and instrumentation



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

dam reject, causing accidents with catastrophic environmental consequences. This study aims to analyze the risks and main contributing factors to accidents with waste mining dams and assess the implementation of the main preventive measures recommended by the Law 12.334 / 2010 to a barrage of tailings.

**Key words:** Risk management. Safety. Prevention.

## **Introdução**

A indústria da Mineração no Brasil apresenta uma grande diversidade de reservas minerais e contribui significativamente para a geração de riqueza e desenvolvimento do país e é inegável que o setor de mineração promova considerável desenvolvimento nas cidades em que atua.

As cidades com empresas de mineração apresentam IDH maior que a média dos seus respectivos estados, principalmente pela arrecadação e aplicação da CFEM Compensação Financeira pela Exploração Mineral.

Contudo, independente do tipo de mineral extraído, as empresas de mineração que utilizam barragens de rejeito estão sujeitas a causar impactos socioambientais de grandes proporções. O histórico de acidentes de grandes proporções causados especificamente por rompimento de barragens de rejeito de mineração tem demonstrado consequências socioambientais catastróficas.

Este estudo tem como objetivos analisar os riscos e principais fatores contribuintes para ocorrência de acidentes com barragens de rejeito de mineração e avaliar a aplicação das principais medidas de prevenção preconizadas pela Lei 12.334/2010 a uma barragem de rejeito de mineração.

## **Material e Métodos**

Para a análise do risco por acidentes com barragens de rejeito de mineração pesquisou-se os principais casos de rompimento de barragens de mineração ocorridos nas últimas décadas para compilação por similaridade de fatores contribuintes para estas ocorrências com base nos relatórios dos acidentes.

As informações de campo foram coletadas através de visita de campo e entrevistas com profissionais especialistas em operação de barragem.

Foi definida como objeto do estudo uma barragem que, de acordo com dados do DNPM (2016), possui características geométricas de 34,0 metros de altura, 920 metros de comprimento da crista e volume de aproximadamente 75.000.000 m<sup>3</sup> e classificada, conforme DNPM (2012) como Classe C.

A barragem estudada entrou em operação no ano de 1986 e foi construída para a contenção da demanda de rejeitos oriundos do processo de beneficiamento de minério, com dois alteamentos a jusante ao longo de sua operação.

A barragem está localizada no Sudeste do Pará conforme apresentado na Figura 01.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)



Figura 01: Mapa de localização e classificação de barragens de mineração no Brasil (DNPM, 2016).

## Resultados e Discussão

De acordo com CETESB (2011), risco é considerado como a medida de danos resultante da combinação entre frequência de ocorrência do cenário accidental (ou acidente) e a magnitude das consequências ou efeitos associados a esse cenário. Para OHSAS 18.001 (2007) e ABNT ISO 31.000 (2009), o risco é expresso pela combinação da probabilidade (ou frequência) de ocorrência de um evento com a gravidade (ou severidade) do dano causado pelo evento, podendo ser representado pelo esquema da Figura 02.

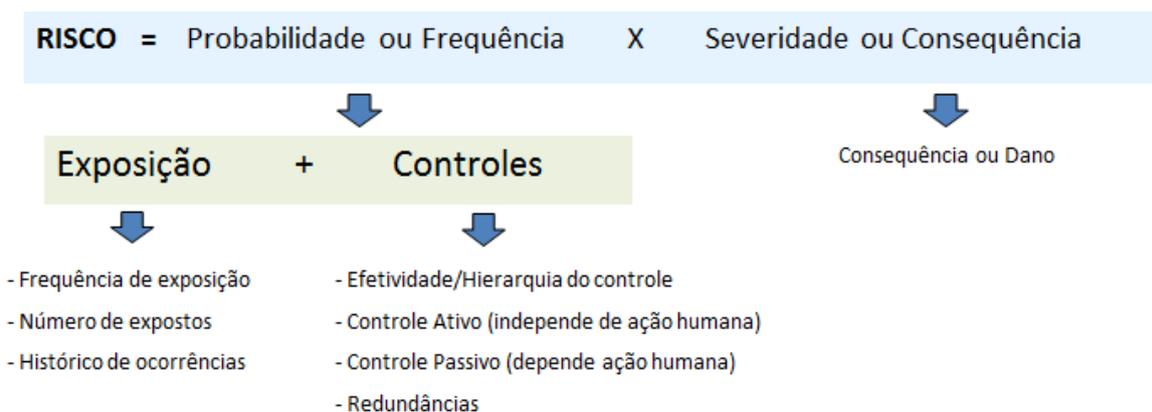


Figura 02: Esquema representativo do conceito de risco (adaptado de OHSAS 18.001, 2007).

De acordo com OHSAS 18.001 (2007), o risco é considerado aceitável quando for reduzido a um nível que pode ser tolerado pela organização. CETESB (2011) considera que o risco é considerado aceitável após a implantação de medidas de redução e concomitantemente gerenciado por meio de um programa de



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

gerenciamento de riscos que seja capaz de reduzir a probabilidade (ou frequência) de ocorrência de um evento com múltiplas fatalidades, conforme mostra a Figura 03.

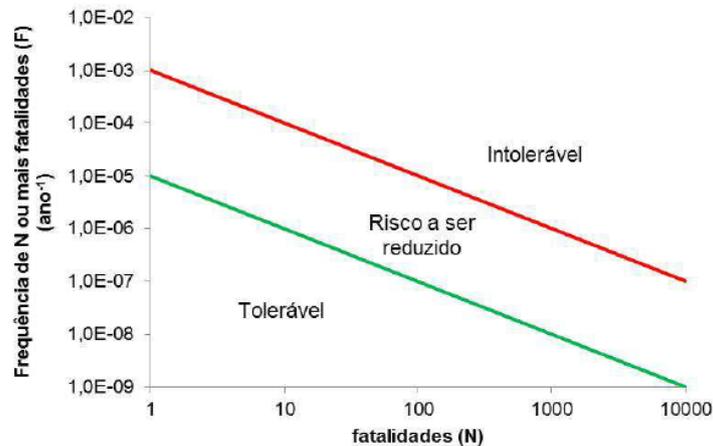


Figura 03: Conceito de aceitabilidade do risco em função do número de fatalidades em determinada frequência de ocorrência (CETESB, 2011).

Segundo ISO 31.010 (2012), o risco deve ser reduzido para patamares aceitáveis ou toleráveis com a implementação de ações para alterar a probabilidade de ocorrência, alterar o efeito do risco ou ambos. O nível do risco dependerá da adequação e eficácia dos controles existentes.

De acordo com NCSU (2005), o risco aceitável é também conhecido pelo acrônimo ALARA (As Low As Reasonably Practicable, em português corresponde ao risco “tão baixo quanto razoavelmente praticável ou alcançável”)

Segundo ISO 31.010 (2012), para considerar que o risco está em patamares aceitáveis, deve-se avaliar se os controles implementados são capazes de tratar adequadamente o risco e se estes controles estão operando na forma pretendida, podendo ser demonstrado por documentação e processos de garantia apropriados.

De acordo com ICME (1998), o conhecimento sobre métodos de construção de barragens permite afirmar que as barragens podem ser construídas de forma efetivamente segura e ambientalmente aceitáveis.

Segundo Martins (2000) e Araújo (2006), o risco de barragens de rejeito de mineração é maior quando se utiliza o método de “Alteamento a montante”, em comparação com os métodos de alteamento de “Linha de centro” e “Alteamento a jusante”, conforme mostra a Tabela 01. A maioria das barragens de rejeito de mineração que romperam nas últimas décadas foi construída pelo método de alteamento a montante (vide exemplos de método construtivo na Figura 04).

Tabela 01: Comparação de vantagens e desvantagens dos métodos construtivos (adaptado de Araújo 2006).



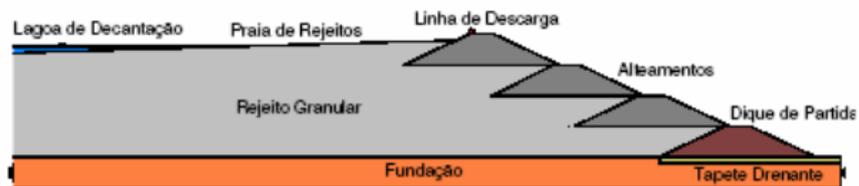
# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

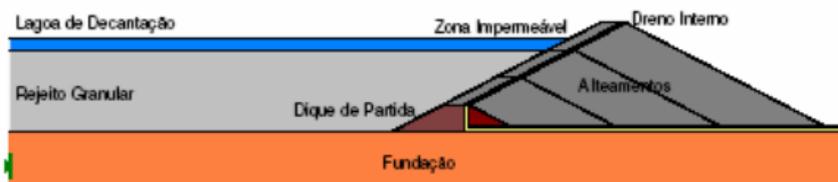
XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

M É T O D O C O N S T R U T I V O			
	Alteamento a Montante	Alteamento a Jusante	Alteamento Linha de Centro
<b>Descrição</b>	Método mais empregado	Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé	
	Construção de dique inicial e diques de alteamento no talude de montante com material de empréstimo, estéreis de lavra ou com grossos da ciclonagem	Separação dos rejeitos na crista do dique por meio de hidrociclones	Variante do método a jusante
<b>Vantagens</b>	Menor Custo	Maior Segurança	
	Maior velocidade de alteamento	Compactação de todo o corpo da barragem	Flexibilidade do volume de grossos de ciclone necessário com relação ao método jusante
<b>Desvantagens</b>	Utilizado em lugares onde há área restrita	Necessidade de grandes quantidades de grossos de ciclonagem	
	Baixa segurança por causa da linha freática próxima ao talude de jusante	Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção)	Necessidade de sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção a jusante
	Suscetibilidade de liquefação		
	Possibilidade de Piping		



Alteamento a montante



Alteamento a jusante



Alteamento por linha de centro

Figura 04: Exemplos de método construtivo de barragens de rejeito de mineração (Araújo 2006, apud Santos et al, 2016).

O primeiro risco de uma barragem de mineração que deve ser controlado antes do início da construção e principalmente em etapas de planejamento do empreendimento é o método de construção da barragem. Segundo ICOLD (1989, apud Martins, 2000) e Aguiar (2014), historicamente o método que apresenta maior número de falhas e com expressivo número de fatalidades (vide tabela 02) é o



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

método de “alteamento a montante”, que mesmo quando é executado adequadamente, é considerado de menor confiabilidade quando comparado com os outros métodos.

Tabela 02: Exemplos de acidentes com método construtivo de barragens de rejeito com alteamento a montante e severidade (Adaptado de Aguiar, 2014).

Barragem	País	Ano do Acidente	Minério	Método Construtivo	Severidade
Buffalo Creek	Estados Unidos	1972	Carvão	Alteamento a Montante	125 mortes
Stava	Itália	1985	Fluoreto de Cálcio	Alteamento a Montante	269 mortes
Merriespruit	África do Sul	1994	Ouro	Alteamento a Montante	17 mortes

Conforme ICME (1998), as falhas que ocorrem e levam barragens a ruptura são devidas a uma aplicação inadequada de métodos de engenharia, falta de experiência adequada dos profissionais e falha na supervisão de construção.

Segundo Bosco (2009), acidentes graves são precedidos por uma série de acidentes similares, quase acidentes ou falhas de nível baixo que são negligenciadas.

Neste estudo, foram estratificadas as principais recomendações de ordem prática preconizadas por Brasil (2010), através de entrevistas, visitas de campo e análise de documentos e registros. A metodologia descrita possibilitou a análise da aplicabilidade em campo dos preceitos de Brasil (2010) e sua efetividade no controle de risco de uma barragem de mineração em operação.

Os resultados foram compilados e apresentados na Tabela 03.

Tabela 03: Compilação de resultados de campo da barragem de rejeito estudada.

ROTINAS DE GESTÃO DE RISCO DE BARRAGEM DE REJEITO DE MINERAÇÃO	
Rotina de Controle de Riscos	Ação Prevista (Lei 12.334/2010 e Portaria Nº 416/2012)
1 Inspeção Visual Quinzenal de rotina.	A lei prevê inspeção visual de rotina
2 O Monitoramento dos instrumentos (Piezometro, Medidor de Nível de Água, controle vazão e nível do reservatório) é feito de forma automática com leituras diárias e arquivadas em sistema interno a cada 15 minutos. Uma leitura mensal é feita de forma oficial para ser arquivada em sistema interno da Empresa para evidenciar o atendimento a lei.	A lei prevê que o monitoramento dos instrumentos seja feito pelo menos 1 vez por mês.
3 O Plano de Segurança da barragem é feito através de um sistema próprio da Empresa em que todas os estudos e informações de ordem técnica são arquivados e organizados conforme estruturado na lei.	A lei prevê que seja feito o plano de segurança da barragem e define como deve ser sua estrutura.
4 Controle topobatimétrico do reservatório realizado com periodicidade mínima de 2 vezes por ano.	A lei prevê que seja feito o controle topobatimétrico do reservatório, mas não determina a periodicidade. É indicado pelo menos 1 vez por ano.
5 Leitura mensal dos marcos topograficos das barragens.	A lei não obriga que se faça leituras mensais de marcos superficiais nas barragens.

Como resultado, identificou-se que a Lei 12.334/2010 é aplicada em sua totalidade na barragem em estudo e os resultados de sua efetiva aplicação como



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

instrumento de gestão de riscos permitem confiabilidade e antecedência para identificar e tratar possíveis desvios indesejados no barramento com antecedência e tempo hábil para se evitar cenários de ruptura e perdas de grandes proporções.

## **Conclusões**

Considera-se que a aplicação dos conceitos de gerenciamento de riscos na tomada de decisão em todas as fases do empreendimento (do projeto à operação) é o principal fator de sucesso para empreendimentos desta natureza.

Verificou-se que a barragem de rejeito de minério objeto desta pesquisa demonstra claramente o resultado positivo que a Lei 12.334/2010 fomenta ao estabelecer o cumprimento de rotinas de gestão de risco simples e eficazes.

Considera-se que, concomitantemente com o método construtivo de alteamento a jusante, a barragem objeto desta pesquisa pode ser considerada exemplo positivo de gerenciamento de riscos.

Por fim, conclui-se que o grande desafio para os Empreendedores de mineração é o gerenciamento do risco de barragens com a efetiva aplicação das melhores técnicas existentes em todas as etapas desde a concepção do projeto e método construtivo, durante a construção e operação, de forma que esta mantenha-se segura e estável com o mínimo impacto ambiental possível.

## **Referências**

ABNT NBR 13.028:2006 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. 2006.

ABNT NBR ISO 31.000:2009 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão de riscos — Princípios e diretrizes. 2009.

ABNT NBR ISO 31.010:2012 Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão de riscos — Técnicas para o processo de avaliação de riscos. 2012.

AGUIAR, D. P. O. (2014). Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB. Dissertação de Mestrado. 146 p. Universidade de Campinas. UNICAMP. Campinas.

ARAÚJO, C. B. (2006). Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Dissertação de Mestrado. 146 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. Rio de Janeiro.

BOSCO, F. Por que acidentes (ainda) acontecem?. Revista Petro & Química. Edição 317. Editora Valete, 2009.

BRASIL (2010). Lei Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010. Política nacional de Segurança de Barragens. Online. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm)>. Acesso em: 13 fev. 2016.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

CETESB. Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência. (2011). Norma técnica 261. 2ª edição.

DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral. (2016). Cadastro nacional de barragens de mineração PNSB. Online. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao-dentro-da-pnsb>>. Acesso em 15 fev. 2016.

DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral. (2012). Portaria DNPM Nº 416, de 03 de Setembro de 2012. Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e inspeções regulares e especiais de segurança de barragens.

ICME The International Council on Metals and the Environment. (1998) Case Studies on Tailings Management. 58 p. Canadá.

ILO International Labour Organization. The prevention occupational diseases. 2013. First published. 2013.

MARTINS, L. F. R. (2000). Simulação física do processo de formação de aterros hidráulicos aplicados a barragens de rejeitos. Tese de Doutorado. 235 p. Universidade de Brasília. UNB. Brasília.

NCSU. 2005. North Carolina State University's. Radiation safety manual. Environmental health and safety center. Version IV.

OHSAS 18.001:2007 Occupational Health and Safety Assessment Series. Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho – Requisitos. 2007.

SANTOS, D. A. M.; CURI, A.; SILVA, J. M. (2016). Técnicas para a disposição de rejeitos de minério de ferro. Artigo. 9 p. Universidade Federal de Ouro Preto. UFOP. Ouro Preto.