

DIEGO ANDRIOLI

ESTUDO DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO BRASILEIRAS

SÃO PAULO

2016

DIEGO ANDRIOLI

ESTUDO DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO BRASILEIRAS

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo César Sansone

SÃO PAULO

2016

TF-2016
Andriolo
Lyra 2798379

H2016j

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700010020

Catalogação-na-publicação

Andriolo, Diego
Estudo das barragens de mineração brasileiras / D. Andriolo -- São Paulo,
2016.
44 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Barragens (Brasil) 2.Mineração 3.Análise estatística de dados
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

para meu pai e mãe, Waldir e Kátia, que
sempre me apoaram em meus projetos,
(por mais esquisitos que parecessem).
Obrigado.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais por sempre me incentivarem e serem exemplos para mim, e a toda minha família, por entender minha ausência em diversas festas e eventos nos últimos anos.

Aos amigos que fiz na Escola Politécnica, principalmente nesses dois últimos anos de curso, em que a turma diminuiu e as dificuldades aumentaram. Todos sabemos o quanto árduo é atravessar esse período da graduação e seria impossível atravessá-lo sozinho.

Ao Engº Ricardo Deguti de Barros Silva, do DNPM/SP, por ter sugerido e incentivado um trabalho sobre o tema de barragens, em uma conversa informal, após sua palestra a convite do professor Eduardo César Sansone, para a disciplina de Abertura de Vias Subterrâneas.

E um agradecimento especial ao professor e orientador Eduardo César Sansone, por estar sempre disponível para orientações e pela extrema dedicação em corrigir o trabalho até os mínimos detalhes. Sua prestatividade sempre me motivou na busca pela melhoria.

RESUMO

Compete ao DNPM, entre suas funções, manter o cadastro das barragens de mineração sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB – Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens. Além disso, deve exigir do empreendedor o cadastramento e atualização das informações relativas às barragens de sua responsabilidade. De acordo com o declarado pelos empreendedores no Relatório Anual de Lavra, o DNPM classifica as barragens de mineração em cinco classes: A, B, C, D e E. Essa classificação se baseia no Quadro para Classificação de Barragens para Disposição de Resíduos e Rejeitos em consonância com a Resolução CNRH N°143, de 10 de julho de 2012. É possível encontrar os dados de todas as barragens de mineração inseridas na PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens. Esse trabalho analisou os dados disponíveis das 399 barragens cadastradas para traçar um panorama geral das barragens de mineração brasileiras, com foco maior na situação das barragens do Estado de São Paulo. Os resultados mostram que a maioria das barragens encontram-se na classificação C, intermediária, e apenas 18 na classificação A, que estão na Categoria de Risco elevada e possuem Alto Dano Potencial Associado. Em São Paulo, não há nenhuma barragem classificada como A ou B.

ABSTRACT

It is up to DNPM, among its duties, to keep the register of mining dams under its jurisdiction, identifying the owners of the dams, due to incorporation to the SNISB – National Information System of Dam Safety. Furthermore, DNPM must require the owner the register and update of the information of the dams on its responsibility. According to the declared by the owners of the dams on the Mining Annual Report, the DNPM classifies the mining dams in five categories: A, B, C, D and E. This classification is based on the Table for Tailings and Waste Dams Classification, in accordance to the Resolution CNRH N°143, from June 10th of 2012. All the data of mining dams declared to the PNSB – Dam Safety National Policy is available at DNPM website. This work analyzed the data of the 399 registered dams to outline the Brazilian mining dams, focusing on the situation of the São Paulo State dams. The results showed that most of the dams are classified as C, intermediate level, and only 18 dams are classified as A, dams in the High Risk Category and with high Potential Damage Associated. In the State of São Paulo, there aren't dams classified as A or B.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO.....	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 BARRAGENS.....	12
2.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO	12
2.2.1 Método de montante	13
2.2.2 Método de jusante	14
2.2.3 Método da linha de centro.....	15
2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE BARRAGENS	16
2.4.1 Classificação de barragens	18
2.4.2 Plano de segurança de barragem	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 PANORAMA DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO BRASILEIRAS	25
4.2 MAIORES BARRAGENS DE MINERAÇÃO DO BRASIL.....	32
4.3 ANÁLISE DAS BARRAGENS DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	35
5. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS.....	43

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Barragem de terra convencional construída em única etapa.....	12
Figura 2: Princípio de segregação hidráulica.....	13
Figura 3: Barragens de rejeitos com alteamento de montante.....	14
Figura 4: Barragem com alteamento a jusante através de ciclonagem de rejeitos.....	15
Figura 5: Barragem com alteamento por linha de centro com solo compactado.....	15
Figura 6: Comparação entre os três métodos de construção de Barragens de Rejeitos.....	16
Figura 7: Características Técnicas	18
Figura 8: Estado de Conservação	19
Figura 9: Plano de Segurança – PS	20
Figura 10: Classificação da Categoria de Risco.....	20
Figura 11: Dano Potencial Associado – DPA	21
Figura 12: Classificação DPA.....	22
Figura 13: Classe da Barragem	22
Figura 14: Gráfico da distribuição das empresas proprietárias das barragens.....	25
Figura 15: Gráfico da distribuição de barragens por Estado	25
Figura 16: Relação de barragens de rejeitos divididas por estado e substância.....	26
Figura 17: Distribuição de frequências das substâncias.....	27
Figura 18: Gráfico de distribuição das alturas.	28
Figura 19: Gráfico de classificação das alturas.....	28
Figura 20: Gráfico de distribuição de volumes.	29
Figura 21: Gráfico de classificação dos volumes.....	29
Figura 22: Gráficos de distribuição de frequências do CRI e do DPA	30
Figura 23: Distribuição da Classificação Final.....	30
Figura 24: Relação das barragens de rejeitos divididas por estado e classificação.....	31
Figura 25: Barragens de Mineração Inseridas na PNSB.	32
Figura 26: Barragens da Kinross.	33
Figura 27: Barragens da Samarco.....	34
Figura 28: Barragem de Rejeitos da Anglo American.	34
Figura 29: Classificação das barragens de mineração do Estado de São Paulo.	35
Figura 30: Localização das barragens de rejeitos do Estado de São Paulo.	36
Figura 31: Barragens na Região Metropolitana de São Paulo.....	36
Figura 32: Barragens do Estado de São Paulo inseridas na PNSB.	37
Figura 33: Filtro tipo prensa e rejeito após filtragem.	38
Figura 34: Bacia para decantação e bacia com fosfogesso já decantado.....	39
Figura 35: Marco topográfico e piezômetros na Vale de Cajatí.	39
Figura 36: Caixa Sueca na barragem da CBA.	40

LISTA DE ABREVIATURAS

CDA	<i>Canadian Dam Association</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
PAE	Plano de Ação Emergencial
PIB	Produto Interno Bruto
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragem
PS	Plano de Segurança da Barragem
RAL	Relatório Anual de Lavra
ROM	<i>Run of Mine</i>
SEM	Secretaria de Energia e Mineração
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SSRH	Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

1. INTRODUÇÃO

A indústria mineral desempenha importante papel no cenário brasileiro. Dados de 2014 apontam que o produto do setor mineral foi de US\$ 40 bilhões, correspondendo a 5,0% do PIB industrial brasileiro daquele ano (IBRAM, 2015).

Além disso, o Brasil se posiciona como um grande *player* da produção mineral mundial, estando entre os três primeiros colocados entre os produtores e exportadores de diversos minerais, tais como: nióbio (1º), talco e pirofilita (2º), grafita (3º), minério de ferro (3º), bauxita e alumina (3º), vermiculita (3º) e amianto-crisotila (3º) (USGS, 2014).

Como consequência da grande movimentação de massas característica da indústria mineral, tem-se grande produção de rejeitos, que são materiais de pouco valor comercial e por isso são descartados da unidade de beneficiamento.

Entende-se por rejeitos, resíduos resultantes de processos de beneficiamento a que são submetidos os minérios, visando extrair os elementos de interesse econômico (produto final). Esses processos têm a finalidade de regularizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final. Os procedimentos empregados para esse fim são muito variados, pois dependem basicamente do tipo e da qualidade do minério a ser extraído (ESPÓSITO, 2000). Neste sentido, a barragem de rejeitos é a estrutura destinada à contenção e ao armazenamento desse produto.

O rompimento de uma barragem pode ocasionar um grande desastre ambiental e socioeconômico, podendo acarretar até mesmo a perda de vidas. Como exemplo extremo, pode-se citar o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, da mineradora Samarco, localizada no município de Bento Rodriguez – MG, ocorrido em 5 de novembro de 2015. O rompimento da barragem, com volume de aproximadamente 90 milhões de m³, causou a morte de 19 pessoas, além de atingir o rio Doce, cuja bacia hidrográfica abrange 230 municípios dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, desembocando no oceano. Este é um dos maiores desastres ambientais já ocorridos no Brasil.

No Brasil, o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) é o órgão responsável por “fiscalizar a pesquisa e a lavra para o aproveitamento mineral, bem como as estruturas decorrentes dessas atividades”. A lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Portanto, esta Autarquia também recebe a atribuição de fiscalizar a implementação dos planos de segurança de barragens de mineração, a serem elaborados pelos próprios empreendedores, de acordo com a lei.

Atualmente, existem 399 barragens cadastradas na PNSB, sendo 38 consideradas grandes ou muito grandes, com volume superior a 25 milhões de m³. O rompimento de qualquer uma dessas pode causar danos equivalentes ou até maiores do que os causados pela barragem de Fundão. Assim sendo, cabe aos engenheiros responsáveis realizar um projeto adequado destas barragens de mineração, atendendo a requisitos técnicos e legais, de modo a evitar graves acidentes como o de Mariana.

1.1 OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar as barragens de rejeitos de mineração brasileiras, através de dados disponibilizados pelo DNPM e outras fontes, gerando um panorama geral dessas barragens.

Para atingir esse objetivo geral, traçou-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar levantamento bibliográfico de aspectos construtivos e legais sobre barragens de mineração;
- A partir da análise de dados disponibilizados pelo DNPM no Cadastro Nacional de Barragens, gerar gráficos e tabelas mostrando o panorama geral das barragens de mineração brasileiras;
- Verificar onde se encontram as barragens com maior volume e potencial de dano associado;
- A partir do relatório realizado pelo Grupo de Trabalho instituído pela Resolução Conjunta SEM/SMA/SSRH/CMIL de 1 a 27 de novembro de 2015, traçar um panorama geral das barragens de mineração do Estado de São Paulo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As barragens de rejeitos de mineração são estruturas construídas pelas mineradoras com objetivo de armazenar os rejeitos produzidos durante o processo do beneficiamento do minério. Tais estruturas devem atender às exigências de proteção ambiental e de segurança, além de inserir-se como parte integrante do processo produtivo, atendendo, por exemplo, às necessidades de recuperação e introdução de águas nos circuitos da mina e da usina de concentração. Deve-se também ter como horizonte a possibilidade de, no futuro, reaproveitar este rejeito como um bem mineral, pois o avanço tecnológico e a escassez de bens minerais poderão viabilizar este empreendimento (SOARES, 2010).

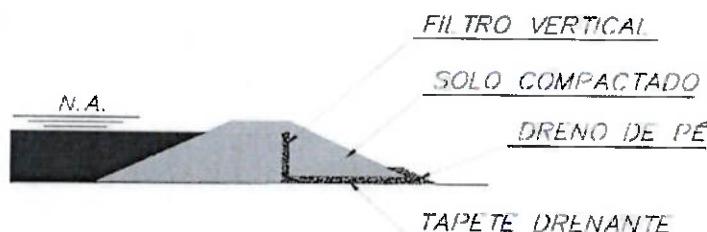
2.1 BARRAGENS

A Lei Federal Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, define barragem como qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas.

2.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Existem algumas diferenças fundamentais entre a barragem convencional e a barragem de mineração. Na barragem convencional, há controle completo do material de construção, o solo proveniente de empréstimo. Sua construção é feita em uma única etapa, onde o solo é compactado com controles de construção, além de permitir tratamento de sua fundação (MAFRA, 2016). Na Figura 1, é possível observar o perfil de uma barragem convencional.

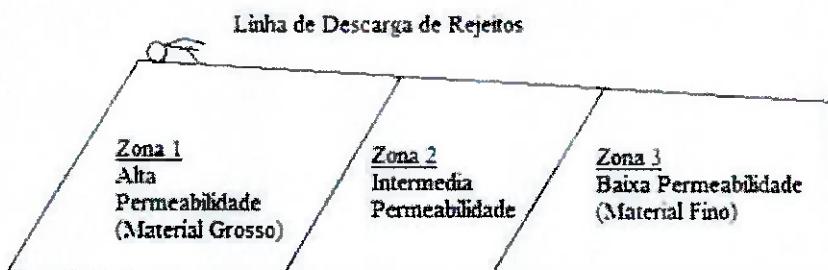
Figura 1: Barragem de terra convencional construída em única etapa.



Fonte: MAFRA (2016)

Na barragem de rejeitos de mineração o controle do material é menor, pois este provem dos rejeitos da usina de beneficiamento e possui ampla granulometria. A barragem é construída em etapas, ao longo da operação da mina, pela metodologia do aterro hidráulico. O princípio da segregação hidráulica divide a região formada pelo material da barragem em três zonas, de alta, média e baixa permeabilidade, a partir do ponto de descarga dos rejeitos (MAFRA, 2016). A Figura 2 ilustra essa subdivisão por zonas.

Figura 2: Princípio de segregação hidráulica.



Fonte: MAFRA (2016).

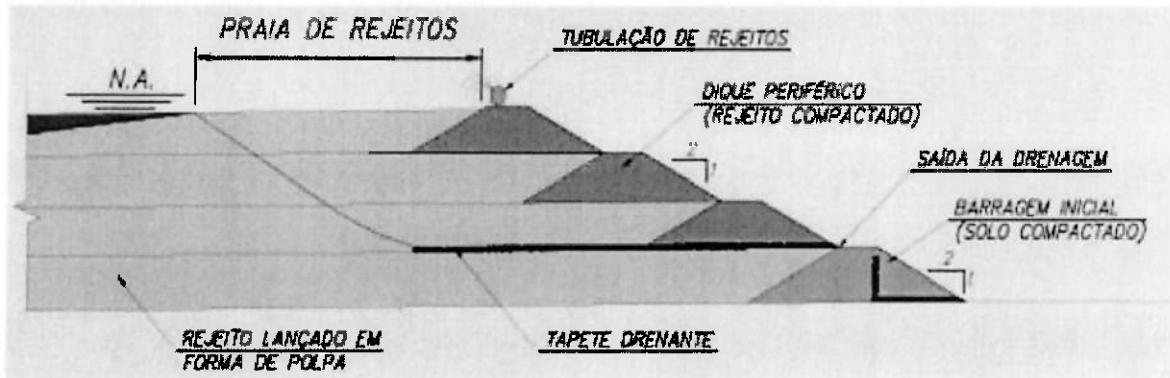
O contraste entre as zonas de permeabilidade permite o controle do nível de água da barragem.

Existem três métodos construtivos de barragens, que se diferenciam principalmente pelo método do alteamento, ou seja, pela direção em que os alteamentos são feitos em relação ao dique inicial.

2.2.1 Método de montante

Nesse método, a polpa é descarregada ao longo do perímetro da crista do dique, formando uma praia. A descarga pode ser feita por ciclones, ou por meio de uma sequência de tubulações menores perpendiculares à tubulação principal, chamados de *spigots*, que permitem melhor uniformidade na formação da praia. Como os rejeitos possuem ampla distribuição granulométrica, as partículas mais grossas e densas sedimentam mais rapidamente, ficando nas zonas próximas ao dique, enquanto as mais finas e menos densas ficam suspensas e são transportadas para as zonas internas da bacia de sedimentação (LORENZO, 2006). A Figura 3 ilustra essa situação

Figura 3: Barragens de rejeitos com alteamento de montante.



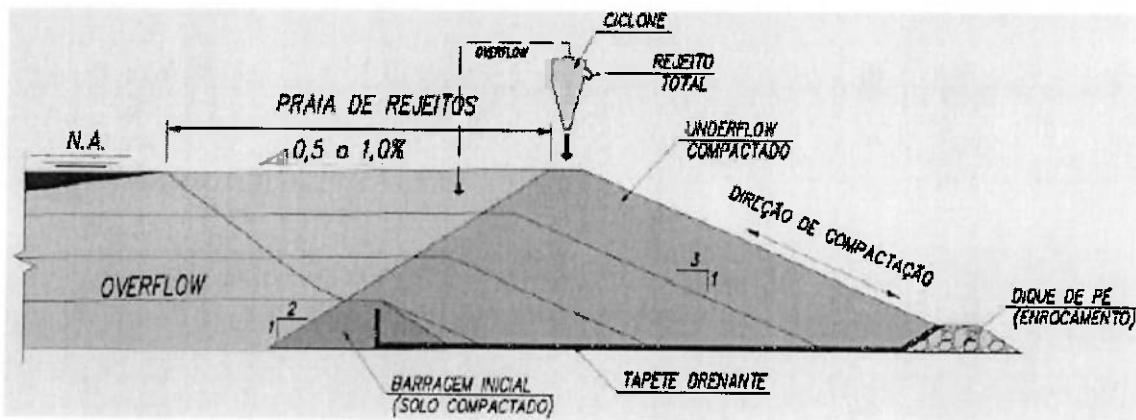
Fonte: MAFRA (2016)

2.2.2 Método de jusante

Nesse método, é construído um dique inicial impermeável, o qual deve ter uma drenagem interna, composto por filtro inclinado e tapete drenante. O talude interno da barragem, ou talude de montante nos alteamentos, é impermeabilizado. Os rejeitos são ciclonados e o *underflow* é lançado no talude de jusante. Somente são usados os rejeitos grossos no alteamento, os quais são compactados quando as características de umidade da zona o permitem. Também se pode utilizar material de empréstimo, ou estéril proveniente da lavra (LORENZO, 2006).

A Figura 4 apresenta uma variante do método de alteamento a jusante, onde é construído um dique inicial e um dique de enrocamento. Os rejeitos vão sendo depositados entre essas duas estruturas para formar o alteamento. A camada impermeabilizante do talude de montante é substituída por um tapete drenante, entre os diques iniciais e de enrocamento, o que faz com que a linha freática não fique próxima ao talude de jusante.

Figura 4: Barragem com alteamento a jusante através de ciclonagem de rejeitos.



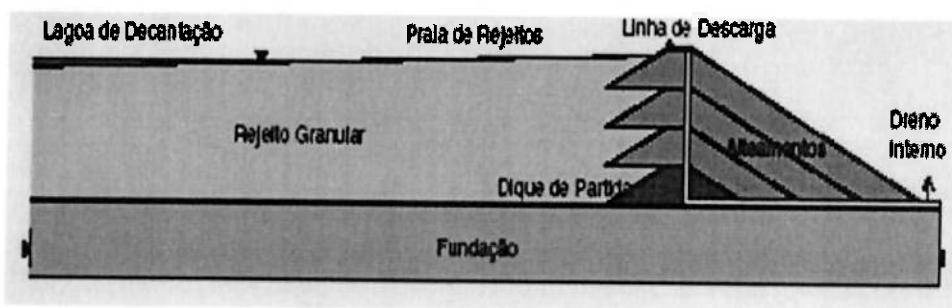
Fonte: MAFRA (2016)

2.2.3 Método da linha de centro

Esse método recebe esse nome, pois o eixo da barragem é mantido na mesma posição conforme ela é elevada. Inicialmente é construído um dique de partida e o rejeito é lançado perifericamente da crista do dique até formar uma praia. O alteamento subsequente é feito lançando materiais de empréstimo, estéril da mina ou *underflow* de ciclone, sobre o limite da praia anterior e no talude de jusante do maciço de partida, mantendo o eixo coincidente com o eixo do dique de partida (LORENZO, 2006).

A Figura 5 mostra esse método, enquanto a Figura 6 trás uma comparação entre os três métodos construtivos.

Figura 5: Barragem com alteamento por linha de centro com solo compactado.



Fonte: MAFRA (2016)

Figura 6: Comparação entre os três métodos de construção de Barragens de Rejeitos.

	Método de montante	Método de jusante	Método da linha de centro
Método constitutivo	<ul style="list-style-type: none"> • Método mais antigo, e o mais empregado; • Construção de dique inicial e os diques do alteamento periféricos com material de empréstimo, estérveis da lavra ou com <i>underflow</i> de ciclone; • Lançamento a partir crista por ciclone ou <i>spigots</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé; • Separação dos rejeitos na crista do dique por meio de hidrocicloones; • Dreno interno e impermeabilização a montante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variação do método de jusante.
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo. • Maior velocidade de alteamento; • Utilizado em lugares onde há limitante de área; 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior segurança (menor probabilidade de ruptura); • Superfície de ruptura passando em zona resistente e compactada; • Maior controle do nível freático; • Compactação de todo o corpo da barragem; • Pode-se misturar os estérveis da lavra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variação do volume de <i>underflow</i> necessário com relação ao método da jusante.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil controle do nível freático; • A superfície de ruptura passa pelo material de baixa resistência, • Difícil construção de sistema de drenagem eficiente, • Susceptibilidade de liquefação; • Possibilidade de <i>piping</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo mais elevado; • Necessidade de grandes quantidades de <i>underflow</i> (problemas nas 1^{as} etapas). • Ocupa maior área; • Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção). 	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de fissuração no corpo da barragem; • Risco de <i>piping</i>; • Necessidade de sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção a jusante; • Custo intermediário entre montante e jusante.

Fonte: Adaptado de LOZANO (2006).

2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE BARRAGENS

O Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, é uma autarquia federal criada pela Lei número 8.876, de 2 de maio de 1994, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, dotada de personalidade jurídica de direito público, com autonomia patrimonial, administrativa e financeira, tem sede e foro em Brasília, Distrito Federal, e circunscrição em todo o território nacional (BRASIL, 1994).

O DNPM tem por finalidade promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais e superintender as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território

nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais, os respectivos regulamentos e a legislação que os complementam (BRASIL, 1994).

A construção e manutenção de barragens de mineração estão inseridas no grupo de atividades de mineração. Portanto, também cabe ao DNPM à atribuição de fiscalizar a implementação dos Planos de Segurança das Barragens de Mineração a serem elaborados pelos empreendedores, conforme previsto na Lei Federal N°12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010).

Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Deve ser inserida na PNSB qualquer barragem que apresentar pelo menos uma das seguintes características:

- (i) altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m;
- (ii) capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³;
- (iii) reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- (iv) categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

A Seção I dessa lei trata da classificação de barragens, por base na categoria de risco, no dano potencial associado e por critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O DNPM disponibiliza um arquivo digital a ser preenchido pelos empreendedores para classificação das barragens de disposição de rejeitos. De acordo com o declarado pelos empreendedores no Relatório Anual de Lavra (RAL), o DNPM classifica as barragens de mineração em cinco classes: A, B, C, D ou E. Para sua classificação, utiliza-se o Quadro para Classificação de Barragens para Disposição de Resíduos e Rejeitos em consonância com a Resolução CNRH Nº 143, de 10 de julho de 2012.

2.4.1 Classificação de barragens

Como todo cadastro, o primeiro passo é registrar dados básicos, como nome do empreendedor, nome da barragem e a data no momento do preenchimento. Em seguida, deve-se classificar a barragem quanto à Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado (DPA), para chegar ao resultado final da avaliação.

A classificação da categoria de risco divide-se em três sessões de pontuação. A primeira delas aborda as Características Técnicas (CT): altura (a), comprimento (b) e vazão de projeto (c). A Figura 7 ilustra esse quadro com as respectivas pontuações de cada característica. Com a somatória de (a), (b) e (c), obtém-se o valor CT, que será utilizado posteriormente.

Figura 7: Características Técnicas

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT		
Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)
$CT = \sum (a \text{ até } c)$		

Fonte: DNPM (2012).

Em seguida, deve-se preencher o segundo quadro de classificação da Categoria de Risco, relativo ao Estado de Conservação (EC). Esse quadro avalia a confiabilidade das estruturas extravasoras (d), percolação (e), deformações e recalque (f) e deterioração dos taludes/paramentos (g). A Figura 8 mostra a

pontuação de cada item e, novamente, deve-se realizar a soma desses itens para obtenção do valor EC.

Figura 8: Estado de Conservação

Confiabilidade das Estruturas Extravasadoras (d)	Percolação (e)	Deformações e Recalques (f)	Deterioração dos Taludes / Parâmentos (g)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasadoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e parâmentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e parâmentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)
EC = \sum (d até g)			

Fonte: DNPM (2012)

O terceiro e último quadro de pontuação para classificar a barragem quanto a Categoria de Risco, é relativo ao Plano de Segurança da Barragem (PS). Nesse quadro, é levado em consideração a documentação do projeto (h), a estrutura organizacional e qualificação dos profissionais na equipe de segurança da barragem (i), manuais de procedimento para inspeção de segurança e monitoramento (j), Plano de Ação Emergencial – PAE – (k) e o relatório de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de segurança (l). O somatório de pontos desses itens fornece o valor final PS. A Figura 9 ilustra em detalhes esse quadro.

Figura 9: Plano de Segurança – PS

Documentação de Projeto (h)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)	Manuals de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)	Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (k)	Relatórios de Inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (l)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
PS = \sum (h até l)				

Fonte: DNPM (2012)

A soma dos pontos das Características Técnicas, Estado de Conservação e Plano de Segurança fornece uma pontuação total, utilizada para classificar a barragem quanto à Categoria de Risco em Alto, Médio ou Baixo, conforme Figura 10.

Figura 10: Classificação da Categoria de Risco

I.1 - CATEGORIA DE RISCO		Pontos
1	Características Técnicas (CT)	
2	Estado de Conservação (EC)	
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS		0

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	$>= 60$ ou $EC^*=10$ (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	$<= 35$

(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.

Fonte: DNPM (2012)

A segunda classificação a ser feita da barragem, refere-se ao Dano Potencial Associado (DPA). Este leva em consideração o volume total do reservatório (a), existência de população à jusante (b), impacto ambiental (c), impacto socioeconômico (d). A somatória desses itens fornece o DPA, necessário para a classificação da barragem. A Figura 11 detalha os pontos de cada um desses itens.

Figura 11: Dano Potencial Associado – DPA

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Muito Pequeno $\leq 500 \text{ mil m}^3$ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local) e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande $\geq 50 \text{ milhões m}^3$ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-

Fonte: DNPM (2012).

Com a pontuação do DPA, classifica-se a barragem conforme mostrado na Figura 12. Por fim, com a classificação da Categoria de Risco e do Dano Potencial Associado, utiliza-se a tabela da Figura 13 para situar a barragem entre as classes A, B, C, D ou E.

Figura 12: Classificação DPA

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
	ALTO	≥ 13
	MÉDIO	$7 < \text{DPA} < 13$
	BAIXO	≤ 7

Fonte: DNPM (2012).

Figura 13: Classe da Barragem

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	C	D	E

Fonte: DNPM (2012)

2.4.2 Plano de segurança de barragem

A Seção II da Lei trata do Plano de Segurança da Barragem. O plano deve conter os seguintes itens mínimos:

- (i) identificação do empreendedor;
- (ii) dados técnicos referentes à implantação do empreendimento;
- (iii) estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe de barragem;
- (iv) manuais de procedimentos dos roteiros de inspeção de segurança e monitoramento e relatório de segurança de barragem;
- (v) regra operacional dos dispositivos de descarga de barragem;
- (vi) indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos;
- (vii) Plano de Ação Emergencial (PAE), quando exigido;
- (viii) relatórios das inspeções de segurança;
- (ix) revisões periódicas de segurança.

O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração do PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigir-lo sempre para as barragens classificadas como de dano potencial associado alto.

O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor em caso de situação de emergência, bem como, identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

- (i) identificação e análise das possíveis situações de emergências;
- (ii) procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;
- (iii) procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;
- (iv) estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi feita uma revisão de literatura sobre barragens de mineração. Na revisão foram apresentadas as técnicas construtivas dos principais tipos de barragens e a descrição de aspectos legais relacionados a barragens de mineração, especificamente sobre os tópicos:

- i) Legislação de barragens;
- ii) Classificação de barragens de Mineração;
- iii) Plano de segurança de Barragens.

Em seguida, realizou-se uma análise do panorama brasileiro das barragens de mineração, com base nos dados disponibilizados pelo DNPM no Cadastro Nacional de Barragens.

Também foi feita um estudo do panorama das barragens de mineração do Estado de São Paulo, através da análise do relatório elaborado pelo Grupo de Trabalho constituído por SEM (Secretaria de Energia e Mineração), SMA (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo), SSRH (Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo) e CMIL (Construção e Manutenção Industrial Ltda.).

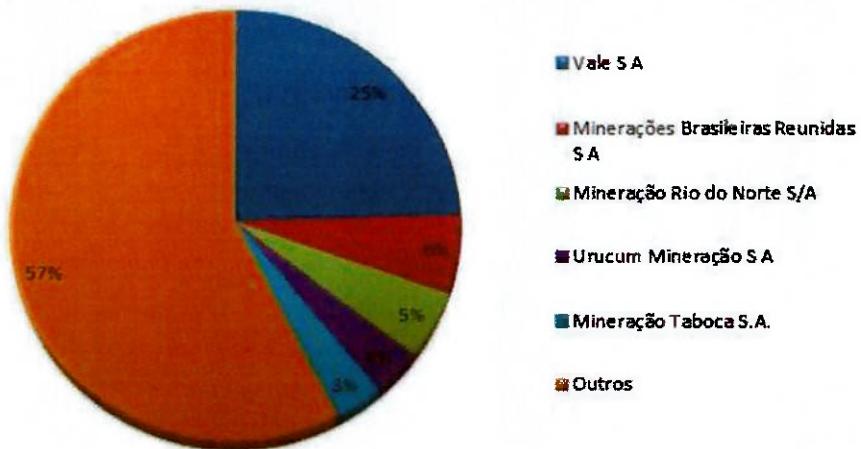
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PANORAMA DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO BRASILEIRAS

Existem 399 barragens de mineração cadastradas na PNSB. Destas, 13 são de cava exaurida com barramento, enquanto as outras 386 são barragens propriamente ditas.

A Vale S.A. detém 96 dessas barragens, cerca de um quarto do total. Outras quatro empresas possuem juntas mais 70 barragens. As outras 225 barragens restantes são divididas por dezenas de empresas, de pequeno ou grande porte. Na Figura 14 é possível ver essa concentração de barragens nas mãos de poucas empresas.

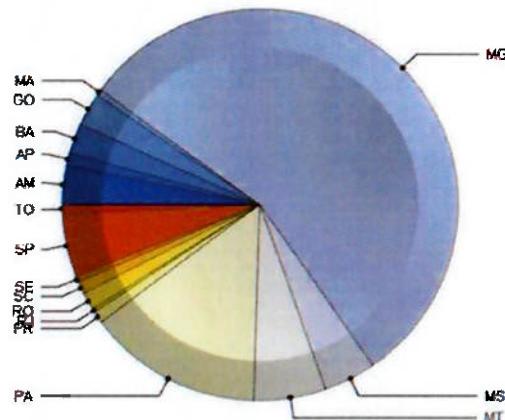
Figura 14: Gráfico da distribuição das empresas proprietárias das barragens.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Mais da metade dessas barragens de mineração localizam-se no estado de Minas Gerais, seguido por Pará e São Paulo. A Figura 15 representa a divisão das barragens por estados.

Figura 15: Gráfico da distribuição de barragens por Estado



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

A tabela na Figura 16 sumariza a distribuição das barragens por estado:

Figura 16: Relação de barragens de rejeitos divididas por estado e substância.

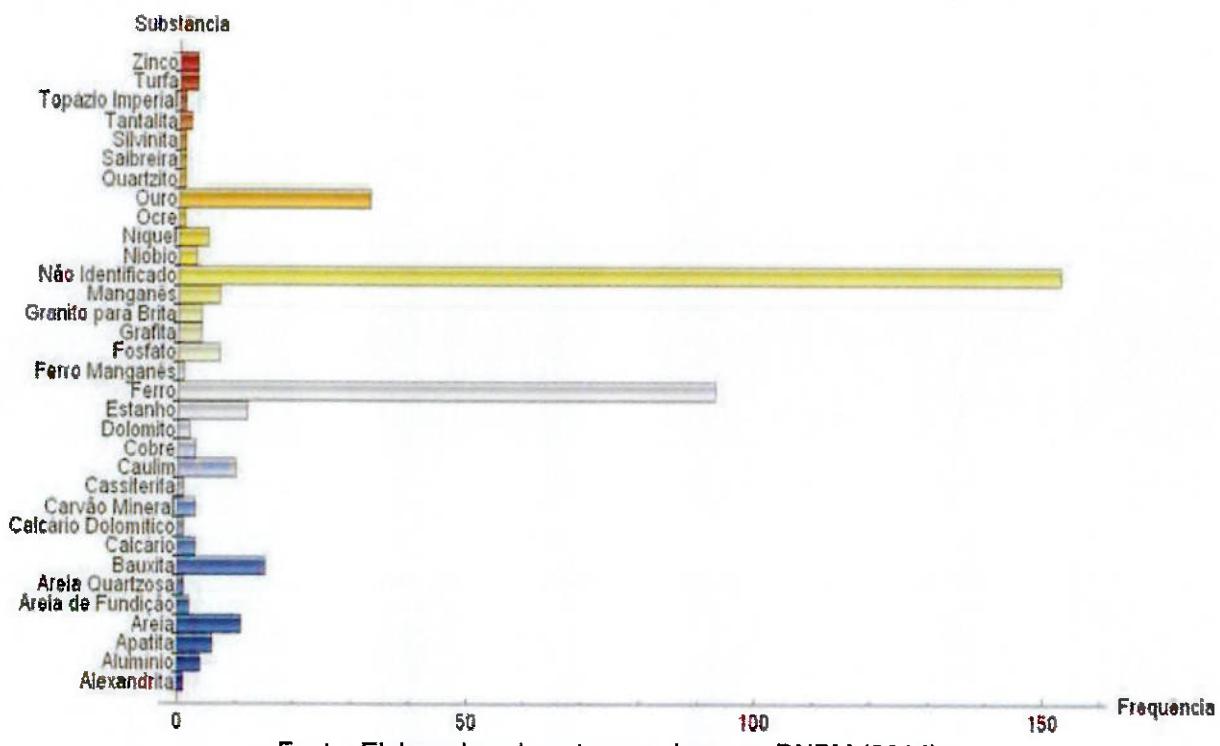
SUBSTÂNCIA	ESTADO															TOTAL	
	AM	AP	BA	GO	MA	MG	MS	MT	PA	PR	RJ	RO	SC	SE	SP	TO	
Alexandrita						1											1
Alumínio									4								4
Apatita			1		4									1			6
Areia									6					6			12
Areia de Fundição														2			2
Areia Quartzosa										1							1
Bauxita					5			10									15
Calcário		1		1	1												3
Calcário Dolomítico						1											1
Carvão Mineral									1			2					3
Cassiterita										1							1
Caulim	1								8					1			10
Cobre		1							2								3
Dolomito					2												2
Estanho	10										2						12
Ferro		2			85	4	2										93
Ferro Manganês						1											1
Fosfato			2			4									1		7
Grafita					4												4
Granito para Brita														4			4
Manganês					3	3		1									7
Não Identificado	3	3	3	1	86	10	14	18	2		3	2	1	5	2		153
Níobio				2		1											3
Níquel		1	1					3									5
Ocre						1											1
Ouro	1	4	2		13		9	3	1								33
Quartzito						1											1
Saireira						1											1
Silvinita													1				1
Tantalita					2												2
Topázio Imperial						1											1
Turfa													3				3
Zinco						3											3
TOTAL	13	4	10	11	2	220	17	23	57	4	1	6	4	2	22	3	399

Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Como visto nas figuras 15 e 16 mais da metade das barragens do país estão no estado de Minas Gerais. Desses, quase a metade são barragens de rejeito de minério de ferro. Já o segundo colocado em número de barragens, Pará, concentra dois terços das barragens de bauxita do país e oito das dez de caulim. São Paulo possui metade das barragens de areia do Brasil, enquanto a outra metade encontra-se no Pará.

Quanto à principal substância contida na barragem, ocorre a distribuição de frequências da Figura 17:

Figura 17: Distribuição de frequências das substâncias.



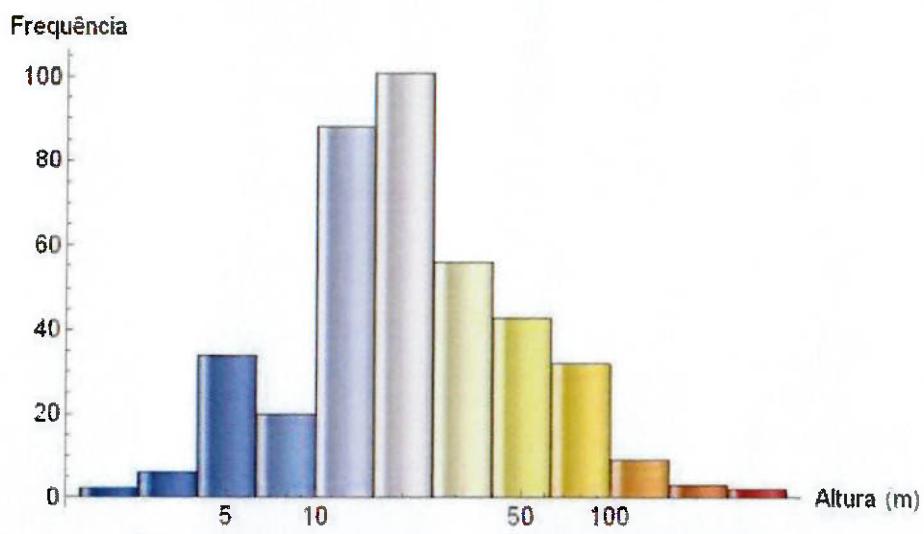
Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Como mostra o gráfico, o líder da classificação, com 153 barragens, é representado pelas barragens em que a substância principal não foi identificada. Quanto às substâncias identificadas, o ferro lidera, seguido por ouro e bauxita.

Seguindo as diretrizes para classificação de barragens do DNPM, agora serão analisados os aspectos técnicos das barragens.

Quanto às alturas das barragens de mineração cadastradas na PNSB, observa-se a frequência da Figura 18:

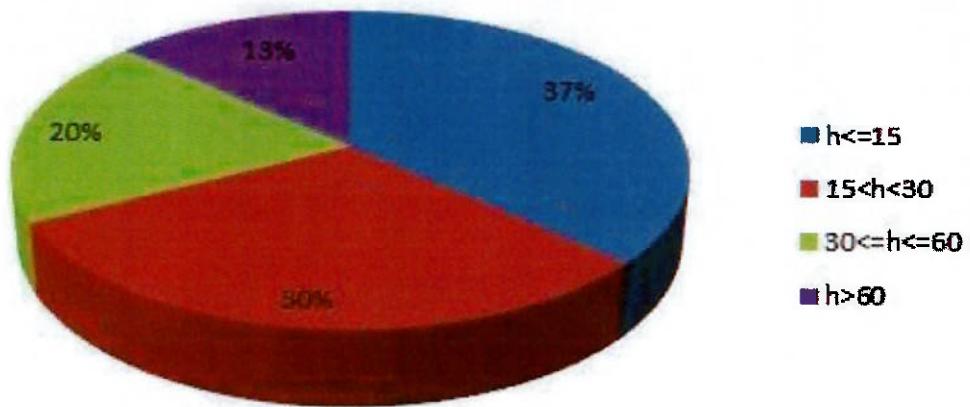
Figura 18: Gráfico de distribuição das alturas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Levando-se em conta a pontuação da classificação relativa à altura, as barragens dividem-se da forma apresentada na Figura 19:

Figura 19: Gráfico de classificação das alturas.

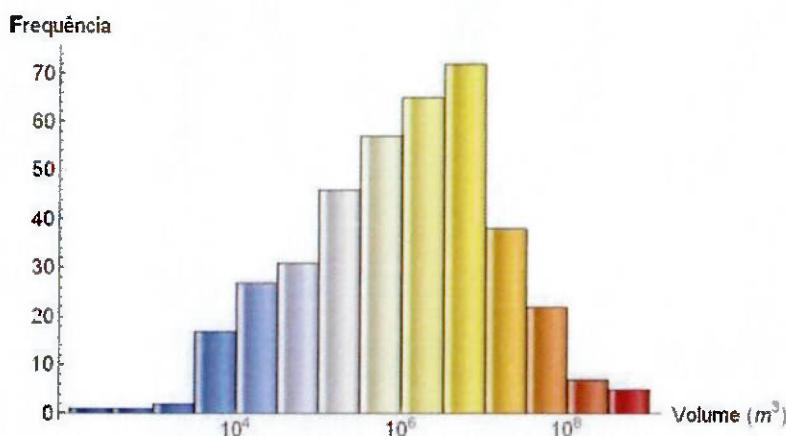


Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

A maioria das barragens, 147 no total, é classificada como pequena, com menos de 15 metros de altura. As classificadas como muito grandes representam 13% do total das barragens ou 53 barragens em números absolutos.

Quanto ao volume total das barragens, observa-se a distribuição de frequências da Figura 20.

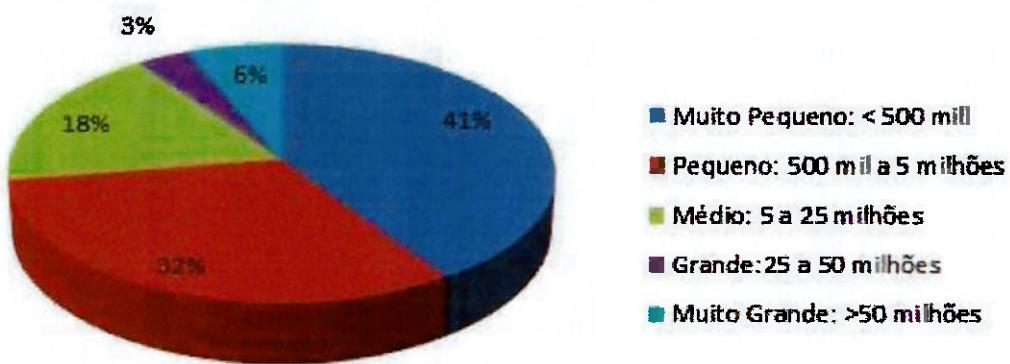
Figura 20: Gráfico de distribuição de volumes.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

A divisão dessas barragens, de acordo com a classificação de volume definido pelo CNRH, é observada na Figura 21.

Figura 21: Gráfico de classificação dos volumes.

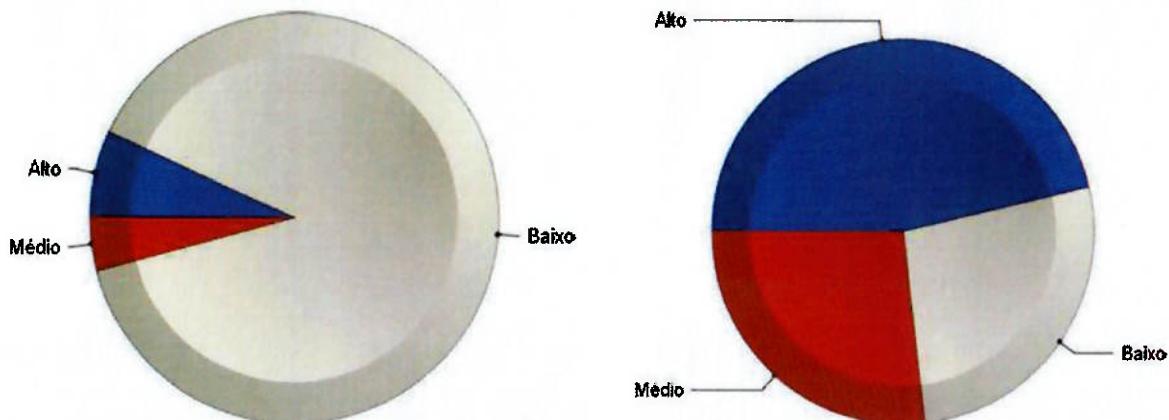


Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Aproximadamente 40 barragens estão classificadas como grande ou muito grande, com capacidade volumétrica absoluta superior a 25 milhões de m^3 . Um total de 162, ou 41% do total, são barragens classificadas como muito pequenas.

Seguindo os critérios de classificação, analisou-se as barragens pela Categoria de Risco (CRI). Lembrando que esse critério leva em consideração a pontuação obtida pelas características técnicas, estado de conservação e plano de segurança de barragens. A grande maioria das barragens, 354, é classificada na categoria de baixo risco, enquanto 18 e 27 enquadram-se em médio e alto riscos, respectivamente. Quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), quase metade das barragens (184), está na categoria de Alto dano. A Figura 22 ilustra essas duas classificações.

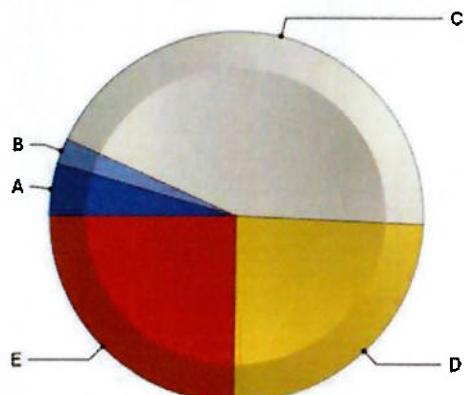
Figura 22: Gráficos de distribuição de frequências do CRI e do DPA.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

A classificação final, que relaciona a CRI com o DPA, possui a divisão apresentada na Figura 23. Como era de se esperar, um maior número de barragens está na categoria C (175 no total), pois a maioria das barragens está na categoria “Baixo” na classificação da CRI e em “Alto” no DPA.

Figura 23: Distribuição da Classificação Final.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Apenas 18 barragens, 4,5% do total, se encontram na categoria A, aquelas que apresentam Categoria de Risco Alto e Dano Potencial Associado Alto. Porém, são as que merecem mais atenção.

É interessante analisar como essas barragens estão distribuídas pelo país. A Figura 24 apresenta uma tabela que relaciona a classificação da barragem com o estado em que se encontra.

Figura 24: Relação das barragens de rejeitos divididas por estado e classificação.

ESTADO	CLASSIFICAÇÃO					TOTAL
	A	B	C	D	E	
AM	10	1	2			13
AP				1	3	4
BA			4	4	2	10
GO			10		1	11
MA			1		1	2
MG	2	4	106	58	50	220
MS	2		14	1		17
MT			6	4	13	23
PA	4	3	22	19	9	57
PR			1	1	2	4
RJ				1		1
RO				1	5	6
SC		1		2	1	4
SE				2		2
SP			9	2	11	22
TO				2	1	3
TOTAL	18	9	175	98	99	399

Fonte: Elaborado pelo autor com base no DNPM (2014).

Observando a tabela, percebe-se que apesar de Minas Gerais concentrar 220 barragens, apenas duas estão na categoria A. São duas barragens de rejeitos de minérios de ouro da Mundo Mineração Ltda., na cidade de Rio Acima.

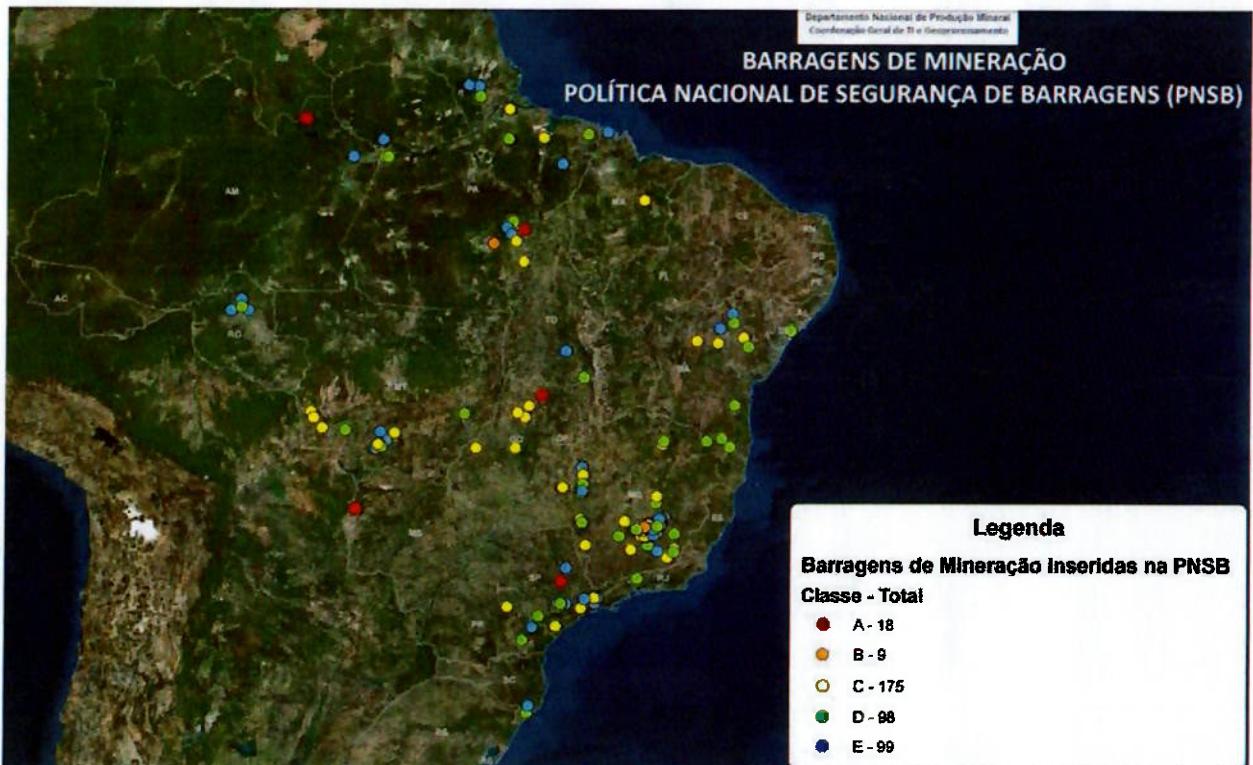
Por outro lado, o estado do Amazonas possui apenas 13 barragens, mas 10 são classificadas como A. Essas 13 barragens pertencem à Mineração Taboca S.A., localizam-se na cidade de Presidente Figueiredo e reservam rejeitos de minério de Estanho.

As duas minas de Mato Grosso do Sul classificadas como A, pertencem à Urucum Mineração, em Corumbá, e são de minério de manganês.

Já das quatro barragens na categoria A do Pará, três são de rejeitos de minério de caulim, da Imerys Rio Capim Caulim S.A. no município de Barcarema e uma de rejeitos de minério de ouro. Essa barragem é uma cava exaurida, a Cava do Garimpo, cadastrada pela Serra Pelada Companhia de Desenvolvimento Mineral, localizada na cidade de Curionópolis.

A Figura 25 mostra um mapa do Brasil mostrando a localização exata de cada uma dessas barragens discriminada pela classificação.

Figura 25: Barragens de Mineração Inseridas na PNSB.



Fonte: DNPM (2014).

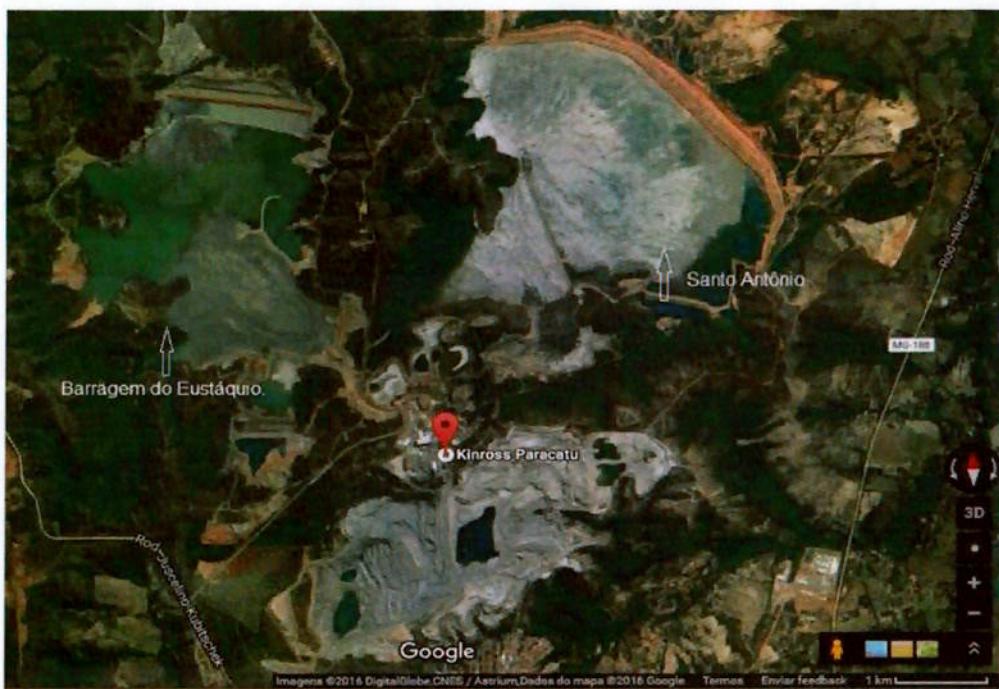
4.2 MAIORES BARRAGENS DE MINERAÇÃO DO BRASIL.

A seguir, serão mostradas imagens aéreas das maiores barragens de rejeito de mineração do país, bem como, uma breve análise de cada uma.

A Kinross, em sua Mina de Ouro em Paracatu – MG, possui a maior barragem de rejeitos do país, Barragem do Eustáquio, com capacidade de 750.000.000 m³. Apesar de suas dimensões, ela recebe a classificação C na PNSB.

A Figura 26 é uma foto aérea dessa barragem e da cava da mina de Ouro de Paracatu.

Figura 26: Barragens da Kinross.



Fonte: Google Earth (2016)

Ao lado dela, está a terceira maior barragem, Santo Antônio, com capacidade de 483.000.000 m³. Apesar de a figura apresentar a escala da foto, é mais interessante utilizar a própria cava como escala e ter uma noção melhor da grandiosidade dessas barragens.

Já a segunda maior barragem do país pertence à Samarco Mineração S.A. Com nome de Santarém, essa barragem de rejeitos de minério de ferro possui capacidade absoluta de 672.000.000 m³. Ao seu redor, localizam-se outras duas barragens muito grandes. A de Germano, com capacidade absoluta de 121.000.000 m³ e a de Fundão, com capacidade absoluta de 91.886.000 m³. Apesar de ser a menor das três na região, seu rompimento em novembro de 2015 causou, possivelmente, o maior desastre ambiental da história da mineração. As três barragens recebem a classificação C na PNSB.

Na Figura 27 é possível observar essas três barragens e o quanto próximas elas se encontram.

Figura 27: Barragens da Samarco.



Fonte: Google Earth (2016).

A quarta maior barragem de rejeitos também pertence a uma mina de ferro. Localizada no município de Conceição do Mato Dentro – MG, a Barragem de Rejeitos da Anglo American Minérios de Ferro Brasil S.A. tem capacidade absoluta de 380.000.000 m³. Essa barragem está representada na Figura 28 e também recebe a classificação C na PNSB.

Figura 28: Barragem de Rejeitos da Anglo American.



Fonte: Google Earth (2016).

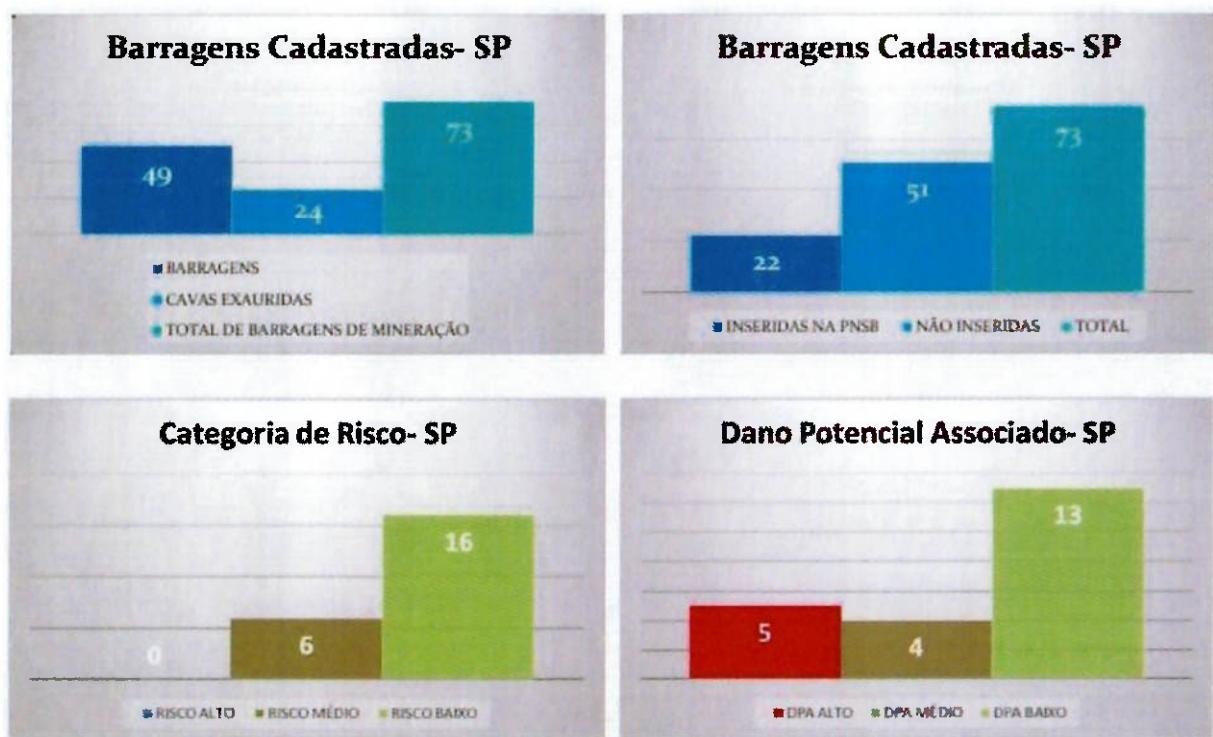
Essa barragem ainda está longe de atingir sua capacidade total, uma vez que a exploração da mina começou recentemente, em outubro de 2014.

4.3 ANÁLISE DAS BARRAGENS DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Conforme dados disponibilizados pelo DNPM, existem 73 barragens no estado de São Paulo no CNBM. Dessas 22 estão cadastradas na PNSB, que corresponde a aproximadamente 5% das barragens cadastradas em todo o país. Das 73, 24 são de cava exaurida.

Das barragens cadastradas na PNSB, quanto à Categoria de Risco (CRI), 16 estão na categoria de baixo risco e 6 na categoria de médio risco. Nenhuma barragem do Estado está na categoria de alto risco. Já no que se refere ao Dano Potencial Associado (DPA), 13 barragens estão classificadas em baixo, 4 em médio e 5 em alto. Essas categorias resultam em uma classificação geral com 11 barragens na Classe E, 2 na D e 9 na C. Todas essas informações estão resumidas na Figura 29 na forma de gráficos.

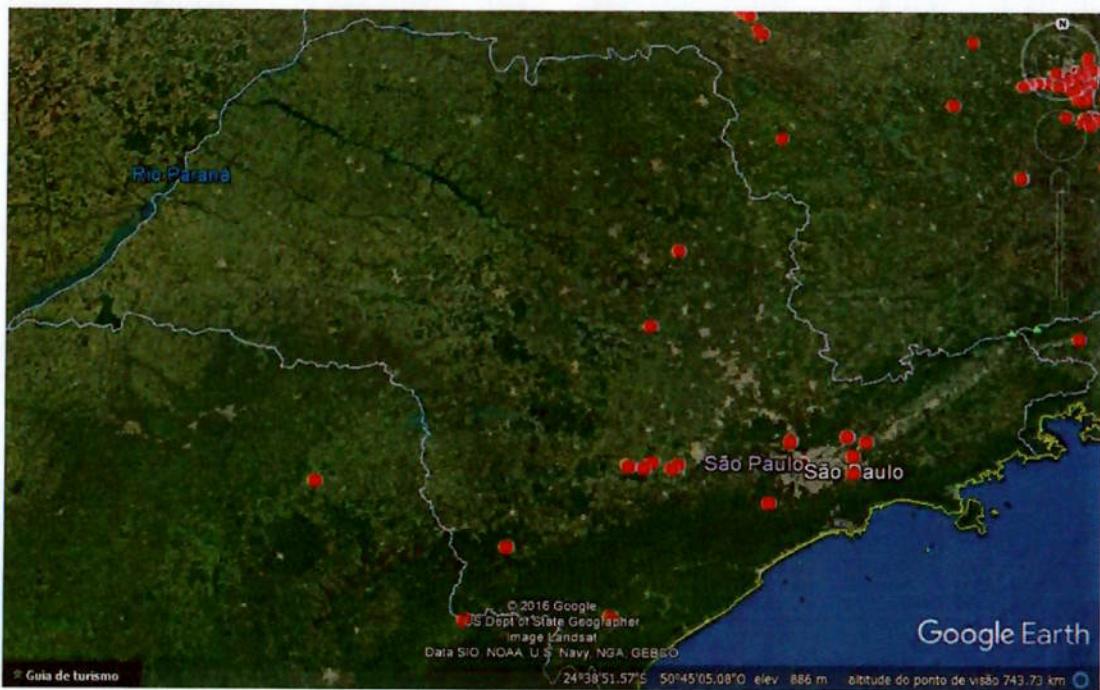
Figura 29: Classificação das barragens de mineração do Estado de São Paulo.



Fonte: Arcoverde (2016).

A partir de documento disponibilizado pelo DNPM e do programa *Google Earth*, é possível gerar a imagem da Figura 30, com a localização de todas as barragens cadastradas na PNSB.

Figura 30: Localização das barragens de rejeitos do Estado de São Paulo.



Fonte: DNPM, 2015 (modificado).

Existem 8 barragens próximas à região metropolitana de São Paulo, sendo três em Santa Isabel, duas em São Paulo, duas em Mogi das Cruzes e uma no município de Guararema. A localização exata delas está representada na figura 31.

Figura 31: Barragens na Região Metropolitana de São Paulo.



Fonte: DNPM, 2015 (modificado).

A Figura 32 mostra na forma de tabela as 22 barragens de mineração inseridas na PNSB.

Figura 32: Barragens do Estado de São Paulo inseridas na PNSB.

Nome do Empreendimento	Nome da Barragem de Mineração	Município	Altura Barragem (m)	Volume Total Reservatório(m³)	Substância Principal	CRI Categoría de Risco	DPA Dano Potencial Associado	Classificação
Pedreira Itapeti - EMBU S/A	Barragem de sedimentos	Mogi das Cruzes	27	447.372	Granito p/ brita	Baixo	Alto	C
Pedreira Juruá - EMBU S/A	Barragem de sedimentos	São Paulo	49	4.570.088,08	Granito p/ brita	Baixo	Alto	C
Empresa de Mineração Horil Ltda.	Sítio Horil	Mogi das Cruzes	15,9	131.746	Caulim	Baixo	Baixo	E
Mineração Amílcar Martins Ltda.	Tanque de Contenção	São Lourenço da Serra	0	0	Null	Médio	Médio	C
Mineração Descalvado Ltda.	Dique Externo II	Descalvado	15	412.539	Null	Baixo	Baixo	E
Mineração Jundu Ltda.	11- Des	Descalvado	16	1.140.224	Areia de fundição	Baixo	Baixo	E
Mineração Jundu Ltda.	3 - Guara	Guararema	20	614.400	Areia de fundição	Baixo	Baixo	E
Mineração Ouro Branco Ltda.	Ouro Branco	Salto de Pirapora	15	231.000	Areia	Baixo	Baixo	E
Mineradora São Joaquim Ltda. ME	Tanque de Decantação	Sarapuí	5/0	450.000	Areia	Médio	Baixo	D
Minerais & Metais Com. e Ind. Ltda.	Itapeva	Ribeirão Branco	15	300.000	Null	Médio	Baixo	D
Pedreira Sargon Ltda.	Dique 1	Santa Isabel	5	80.000	Null	Médio	Médio	C
Pedreira Sargon Ltda.	Dique 2	Santa Isabel	5	42.500	Granito p/ brita	Médio	Médio	C
Pedreira Sargon Ltda.	Dique 3	Santa Isabel	5	85.000	Granito p/ brita	Médio	Médio	C
Territorial São Paulo Mineração	Barragem de clarificação	São Paulo	25	500.000	Null	Baixo	Baixo	E
Ulson Romanha & Cia Ltda.	Chapadinha 061	Itapetininga	15	825.000	Areia	Baixo	Baixo	E
Ulson Romanha & Cia Ltda.	Chapadinha 221	Itapetininga	15	1.125.000	Areia	Baixo	Baixo	E
Ulson Romanha & Cia Ltda.	Piraporã	Salto de Pirapora	15	84.000	Areia	Baixo	Baixo	E
Unidos Extr. e Com. de Ar. e Ped. Ltda.	Unidos	Sarapuí	15	337.500	Areia	Baixo	Baixo	E
Vale Fertilizantes S.A.	Barragem 1	Cajati	72	5.482.139	Apatita	Baixo	Alto	C
Vale Fertilizantes S.A.	Barragem 12	Cajati	39,5	3.600.000	Apatita	Baixo	Alto	C
Vale Fertilizantes S.A.	Barragem 2	Cubatão	95	7.000.000	Apatita	Baixo	Baixo	E
Vale Fertilizantes S.A.	Barragem Cimpor	Cajati	75	5.955.022,4	Apatita	Baixo	Alto	C

Fonte: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL (2016).

A grande maioria dos empreendimentos produz agregados (areia e brita). Apenas um empreendimento produz caulim e os outros são complexos mineroquímicos de grande porte, em Cajati e Cubatão, responsáveis pela produção de fertilizantes e insumos para ração animal.

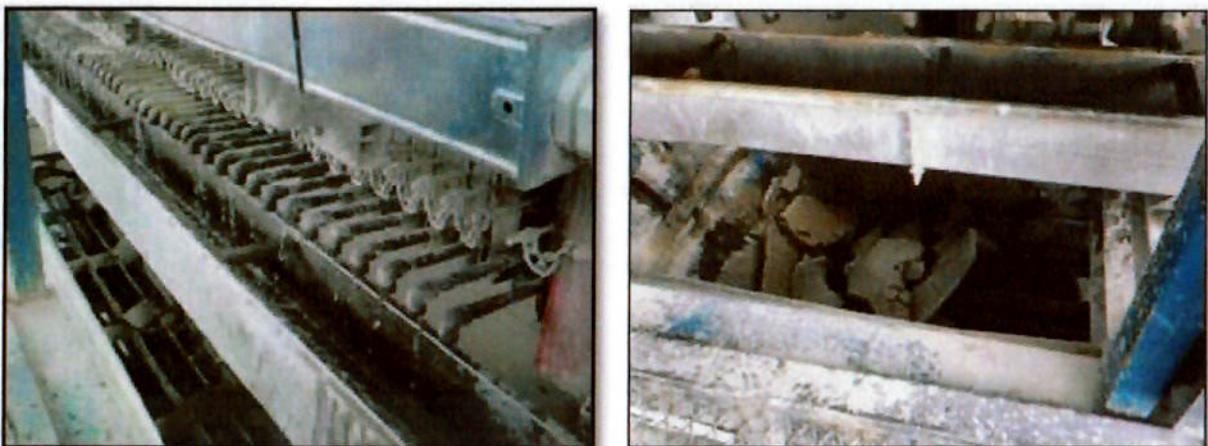
Apenas 22 barragens estão inseridas na PNSB. O grupo de trabalho responsável pelo relatório das barragens do Estado de São Paulo não obteve informações do motivo das outras 51 barragens não estarem inseridas na PNSB. Uma das hipóteses levantada é a de que o empreendedor não conseguiu encaixar sua barragem em nenhuma das quatro características previstas na Lei da PNSB. Nesse caso, o empreendedor deve solicitar uma revisão da classificação efetuada pelo órgão fiscalizador (DNPM), devendo apresentar estudo que comprove essa

necessidade. Cabe ao órgão fiscalizador, em no máximo a cada 5 anos, reavaliar a classificação se achar necessário.

Essas barragens não estão cadastradas na PNSB, mas estão indicadas no sistema RALWEB. Como existem cerca de 2.800 áreas habilitadas para mineração e apenas 73 barragens cadastradas no RALWEB, além do fato de que todo tipo de barragem deve ser cadastrado, acredita-se haver um número muito maior de barragens não cadastradas.

Apesar da maioria das empresas possuírem processos a úmido que requerem utilização de barragem, algumas utilizam processos que reduzem ou eliminam essa necessidade. Por exemplo, a empresa Pedrix Ltda., que produz areia artificial, utiliza um processo de tecnologia *drystacking* (espessamento e filtragem). Utiliza-se um filtro prensa e circuito fechado com recirculação de água, que elimina o uso de barragem para decantação de rejeitos. A Figura 33 apresenta detalhes desse processo.

Figura 33: Filtro tipo prensa e rejeito após filtragem.



Fonte: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL (2016).

A indústria de transformação mineral também apresenta exemplos para redução do uso de barragens. A Anglo American utiliza um filtro para desaguamento, que leva o material diretamente para a pilha de fosfogesso. Neste caso, as bacias existentes são utilizadas apenas para conter o material carregado pelas águas pluviais. Já a Vale Fertilizantes S/A, Unidade 2 de Cubatão, utiliza água como veículo da lama com fosfogesso para bacia, até sua secagem. Em seguida, o

material decantado é transportado para pilha de armazenamento. A figura 34 apresenta essa situação.

Figura 34: Bacia para decantação e bacia com fosfogesso já decantado.



Fonte: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL (2016).

Quanto ao monitoramento e controle da estabilidade das barragens do Estado de São Paulo, o relatório do GT constatou diversos cenários. Há casos em que não se percebe grande preocupação, tanto pela inexistência quanto pela ineficiência de procedimentos de monitoramento. Nos casos em que há monitoramento, as práticas são predominantemente manuais, ressentindo monitoramento remoto, online e em tempo real.

Destaca-se a existência de instrumentos e procedimentos para monitorar as barragens nas empresas Vale Fertilizantes S/A, de Cajati, Pedreira Juruaçu de São Paulo e CBA, de Alumínio.

A Vale Fertilizantes utiliza marcos topográficos para medição de deslocamentos superficiais horizontais e verticais, e piezômetros para medição da cota do nível de água. A Figura 35 mostra esses instrumentos.

Figura 35: Marco topográfico e piezômetros na Vale de Cajati.



Fonte: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL (2016).

A Companhia Brasileira de Alumínio utiliza um medidor de recalque conhecido como caixa sueca para medição de deslocamentos verticais. A caixa localiza-se na face e a jusante da barragem de terra e enrocamento, conforme Figura 36.

Figura 36: Caixa Sueca na barragem da CBA.



Fonte: Relatório do GT Barragens SEM/SMA/SSRH/CMIL (2016).

De forma geral, as empresas que apresentam atividades de rotina de monitoramento são assistidas regularmente por profissionais especializados e com formação técnica apropriada. As outras empresas apresentam-se desprovidas de apoio técnico especializado.

Com respeito à elaboração do PAE (Plano de Ação Emergencial), verificou-se que duas barragens inseridas na PNSB (Pedreira Juruaçu e Territorial São Paulo Mineração Ltda.) protocolaram o documento na Defesa Civil Estadual. Já a CBA entregou o documento para a CETESB. A Pedreira Itapeti protocolou o PAE junto à prefeitura de Mogi das Cruzes. O GT notou certo desconhecimento por parte dos agentes locais sobre a situação da segurança e estabilidade da maioria das barragens do Estado de São Paulo, além de desconhecimento sobre seus riscos associados e danos ambientais potenciais.

5. CONCLUSÕES

O DNPM disponibiliza os dados das barragens de mineração cadastradas em seu sistema, mas não apresenta nenhuma análise desses dados. Com este trabalho, buscou-se apresentar o panorama geral das barragens brasileiras através de gráficos e tabelas. Por meio de uma análise estatística, é possível observar de forma quantitativa características técnicas das barragens, como altura, volume, principal substância presente e localização, bem como suas classificações.

Quanto à classificação das barragens, observa-se que a legislação específica cinco classes muito bem definidas e o passo a passo de como classificá-las. Mas talvez essa classificação não retrate bem a realidade e necessite de uma revisão.

Apenas 18 barragens de mineração no Brasil se encontram na classificação A, ou seja, possuem alto risco e alto potencial de dano associado. Porém, diversas barragens, como a de Fundão em Mariana, são classificadas na categoria C. Uma barragem nessa classificação intermediária pode transmitir certa sensação de segurança, porém Fundão é, infelizmente, um grande exemplo de que essa sensação pode ser falsa.

Também se buscou mostrar com detalhes as maiores barragens de rejeitos cadastradas. Todas as barragens apresentadas, apesar de seus grandes volumes, são classificadas na categoria C. Esse fato pode ser um indicador de que a classificação de barragens merece uma revisão.

Por último, foi apresentado o panorama das barragens de mineração do Estado de São Paulo. O Estado é o terceiro em número de barragens, porém, não apresenta nenhuma barragem classificada nas categorias A ou B. Por outro lado, existem oito barragens localizadas muito próximas à Grande São Paulo. O rompimento de qualquer uma delas poderia atingir um número elevado de pessoas, causando muitos danos socioeconômicos, além dos danos ambientais.

Também se notou uma elevada discrepância entre o número de áreas ambientais licenciadas no Estado de São Paulo (2800) e o número total de barragens cadastradas na PNSB (73). Isso sugere que o número de barragens pode

ser muito maior, barragens estas que podem apresentar riscos ambientais e sociais. Esse cenário merece atenção e sugere-se a coleta de novos dados.

Outro ponto que merece destaque sobre as barragens do Estado de São Paulo é o baixo número de barragens que são monitoradas. É importante que as empresas tenham suporte técnico para cumprir os procedimentos de monitoramento.

O Estado de São Paulo não apresenta nenhuma barragem com o potencial de danos da barragem de Fundão, mas uma ruptura poderá trazer grandes transtornos, como afetar a qualidade da água de abastecimento público. Os agentes públicos responsáveis devem, assim, ter maior conhecimento sobre o PAE das barragens para evitar ou minimizar tragédias.

Conclui-se, dessa forma, que os objetivos inicialmente propostos para a pesquisa foram atingidos.

REFERÊNCIAS

ARCOVERDE, W. L. (DNPM). **Situação Atual do Controle de Barragens de Mineração no Brasil.** Seminário Técnico - Barragens de Mineração (SEM-SP). Anais. São Paulo; Secretaria de Energia e Mineração, 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/885.pdf>> Acesso em: 10 de setembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004.** Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL. Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994. Autoriza o Poder Executivo a instituir como Autarquia o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e dá outras providências. **Diário Oficial da União** – de 03/05/1994 Seção 1, Página 6549.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União** de 21/09/2010, seção 1, página 1.

BRASIL. Portaria nº 416, de 03 de setembro de 2012. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens. **Diário Oficial da União** de 05/09/2012, nº 173, Seção 1, pág. 77.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Classificação das Barragens de Mineração inseridas na PNSB – data base 04/2014. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens>> Acesso em 30 de abril de 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Quadro para Classificação de Barragens para Disposição de Resíduos e Rejeitos. 09/2012. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens>> Acesso em 30 de abril de 2016.

ESPÓSITO, T. D. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico.** Tese de Doutorado, Publicação G.TD-004A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 363p, 2000.

FIORI, A.P.; Carmignani, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas – aplicações na estabilidade de taludes.** Curitiba: Editora UFPR, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral Brasileira.** 09/2015. Disponível em <www.ibram.org.br> Acesso em 15 de abril de 2016.

LINS, F.A.F.; LUZ, A.B. **Introdução ao tratamento de Minérios**, 5º edição, Rio de Janeiro: CETEM, 2010, p. 3 – 20.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Estrutura e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 128 p, 2006.

MAFRA, J. M. Q. **Construção de Barragens de Rejeitos de Mineração**. Seminário Técnico - Barragens de Mineração (SEM-SP). Anais. São Paulo: Secretaria de Energia e Mineração, 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/872.pdf>> Acesso em 06 de setembro de 2016.

SOARES, L. Barragem de Rejeitos. **Tratamento de Minérios**. 5º edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2010 p. 831–896.

SZNELWAR, José Jaime (Coord.) et al. **Barragens de Mineração no Estado de São Paulo: diagnóstico e Recomendações**. Relatório do GT Barragens SEEM/SMA/SSRH/CMIL 27 de novembro de 2015. São Paulo: SEEM, 2016. 235p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries**. 2014. Disponível em < <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014.pdf> > Acesso em 15 de abril de 2016.