

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE  
CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO E  
DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DE  
MINAS GERAIS EM RELAÇÃO AO POTENCIAL  
DE RISCO**

**Anderson Pires Duarte**

**Belo Horizonte**

**2008**

**CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE  
CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO E DE  
RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DE MINAS  
GERAIS EM RELAÇÃO AO POTENCIAL DE RISCO**

**Anderson Pires Duarte**

**Anderson Pires Duarte**

**CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE  
CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO E DE  
RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DE MINAS  
GERAIS EM RELAÇÃO AO POTENCIAL DE RISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Avaliação e gerenciamento de impactos e de riscos ambientais

Orientadora: Terezinha de Jesus Espósito

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2008

**“Uma longa viagem começa com um único passo.”**

**Lao Tsé**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Av. Contorno 842 – 7º andar 30110-060 Belo Horizonte – BRASIL

Tel: 55 (31) 3238-1882 Fax: 55 (31) 3238-1882 posgrad@desa.ufmg.br

www.smarh.eng.ufmg.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em Relação ao Potencial de Risco

**ANDERSON PIRES DUARTE**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

*Terezinha de Jesus Espósito*

Profª TEREZINHA DE JESUS ESPÓSITO

*Lisete Celina Lange*

Profª LISÉTE CELINA LANGE

*Márcio Benedito Baptista*

Prof. MÁRCIO BENEDITO BAPTISTA

*Maria Giovana Parizzi*

Profª MARIA GIOVANA PARIZZI

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

*Léo Heller*

Prof. Léo Heller  
Coordenador

*Terezinha de Jesus Espósito*

Profª. Terezinha de Jesus Espósito  
Orientadora

Belo Horizonte, 22 de agosto de 2008.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a oportunidade que tive de ingressar neste curso. Isso se estende a todos que contribuíram para que isso pudesse se concretizar.

À minha família, que mesmo distante está sempre presente, norteando meu caminho e me estimulando para conquistas e crescimento pessoal. Aos irmãos, obrigado mais uma vez pelo apoio e zelo. Aos meus pais, pelas lições e virtudes, das quais sempre procuro seguir.

Aos amigos de República, Adiéliton, André e Filipe pela amizade e convivência. Aos amigos: Paula, Fernanda, Júnia, Leandro e Fabiana, que compartilharam comigo momentos inesquecíveis em BH. Sem vocês eu tenho certeza que eu não estaria aqui até hoje.

Aos amigos que conquistei no DESA, que promoveram as melhores festas, os maiores micos e os melhores filmes!

Aos professores do Programa de Pós Graduação em SMARH, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e por todo o conhecimento repassado.

À FEAM, por conceder esta oportunidade e pela confiança neste trabalho, especialmente à Márcia Romanelli, Rodrigo Tonidandel, Rosângela Moreira e Zuleika Torquetti, que se dispuseram prontamente em ajudar na consolidação desta pesquisa.

E o meu agradecimento especial à professora e orientadora Terezinha Espósito. Não tenho palavras para agradecer o quanto suas contribuições foram especiais para esta pesquisa e para o meu amadurecimento profissional. Sua sabedoria me mostrou caminhos, motivando sempre a busca pela melhoria. Obrigado por participar da concretização deste objetivo.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta fase da minha vida, o meu muito obrigado!

## RESUMO

Recentes acidentes envolvendo barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais vêm despertando a atenção para estas estruturas, que crescem cada vez mais com o aumento da produção industrial. Atualmente, no Brasil, tudo caminha para a criação de uma Política Nacional para Segurança de Barragens, já que ainda não há uma padronização de critérios para cada fase do ciclo de vida destas estruturas. Em Minas Gerais, a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) através da Deliberação Normativa (DN) 62 (COPAM, 2002), alterada pela DN 87 (COPAM, 2005) e pela DN 113 (COPAM, 2007), realiza o cadastro e a classificação das barragens através do potencial de dano ambiental, considerando critérios de altura, volume, população a jusante, instalações a jusante e aspectos ambientais a jusante. De acordo com o potencial de dano ambiental, as barragens devem se submeter, periodicamente, a novas auditorias técnicas de segurança, sendo a cada três anos para as classificadas como Classe I; de dois em dois anos para as de Classe II; e anualmente para as de Classe III. Em parceria com a FEAM, esse trabalho aplicou dados de 124 barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais do estado de Minas Gerais em um modelo de avaliação de potencial de risco desenvolvido para barragens convencionais por Menescal *et al* (2001) e adaptado nesta pesquisa para barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais de modo a gerar resultados representativos e funcionais. O modelo considera aspectos de Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica, fornecendo uma ferramenta adicional para subsidiar a tomada de decisões quanto ao gerenciamento dessas barragens, permitindo focar a atenção naquelas que apresentarem situação mais crítica quanto ao potencial de risco e ao potencial de dano ambiental. Os resultados do modelo proposto mostram que nenhuma barragem apresentou potencial de risco muito alto/emergência. No entanto, 30% das barragens apresentaram potencial de risco médio/alerta, o que revela a necessidade de priorizar a atenção e intervenção nestas estruturas.

## ABSTRACT

Recent accidents involving tailings and waste dams started to turn attention to these structures, which is growing as industrial production increases. The Brazilian's experience has contributed to the creation of the Dams Security National Policy. This policy has been instrumental in developing standardized criteria for each of the structural phases (life cycle) of dams. The State Environmental Foundation of Minas Gerais (FEAM) through their legal framework DN 62 (COPAN, 2002), modified in 2005 (DN 87); and in 2007 (DN 113) registers and classifies dams through height, volume, downstream human populations, installation and environmental aspects. In accordance with the potential risk of environment damage, the dams must be submitted, periodically, in new technical audit of security, being to every three years for the classified as Class I; two years for the Class II and annually for the Class III. In partnership with the FEAM, this work applied data of 124 wastes and tailings dams of Minas Gerais State, in a model of potential risk evaluation developed by Menescal *et al* (2001) and adapted in this research for wastes and tailings dams, in order to generate representative and functional outcomes. The model considers aspects of danger, vulnerability and strategical importance, supplying an additional tool to subsidize the decision making of the dams' management, allowing to focus in that to present more critical situation in potential risk and the environment damages potential. The findings of the research showed no dam was rated as very high for potential risks; 30% of the dams as Medium Alert risk was found, what it discloses the necessity to prioritize the attention and intervention in these structures.



# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
3.1 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS .....	6
3.2 MÉTODOS DE ALTEAMENTO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS .....	7
3.3 INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS.....	10
3.4 ASPECTOS HISTÓRICOS DA GESTÃO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO .....	12
3.5 PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE A GESTÃO DE BARRAGENS CONVENCIONAIS E DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS.....	15
3.6 INCIDENTES E ACIDENTES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS.....	16
3.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS: CENÁRIO INTERNACIONAL.....	20
3.7.1 <i>Gestão de barragens de contenção de rejeitos em alguns países</i> .....	20
3.7.2 <i>Aspectos sobre legislações de alguns países</i> .....	29
3.7.2.1 Europa.....	29
3.7.2.2 Austrália .....	30
3.7.2.3 Estados Unidos, Canadá e México .....	30
3.7.2.4 África do Sul.....	33
3.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE BARRAGENS CONVENCIONAIS E DE CONTENÇÃO DE REJEITOS: CENÁRIO NACIONAL .....	33
3.8.1 <i>Projeto de Lei nº 1.181 (BRASIL, 2003)</i> .....	35
3.8.2 <i>Projeto de Lei nº 4.038 de 2004 e Projeto de Lei nº 436 de 2007</i> .....	36
3.8.3 <i>Deliberação Normativa nº 62 (COPAM, 2002)</i> .....	38
3.8.4 <i>Deliberação Normativa nº 87 (COPAM, 2005)</i> .....	40
3.8.5 <i>Deliberação Normativa nº 113 (COPAM, 2007)</i> .....	42
3.8.6 <i>Apliação da legislação em barragens de contenção de rejeitos de Minas Gerais</i> .....	42
3.9 GESTÃO DA SEGURANÇA EM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS .....	46
3.9.1 <i>Gerenciamento de risco</i> .....	46
3.9.2 <i>Responsabilidades relativas à segurança das barragens de contenção de rejeitos</i> .....	50
3.9.2.1 Proprietários de barragem.....	51
3.9.2.2 Projetistas .....	52
3.9.2.3 Operadores.....	53
3.9.2.4 Reguladores .....	53
3.9.2.5 Participação pública.....	53
3.9.2.6 Atuação de entidades envolvidas.....	54
3.9.3 <i>Fases da gestão de segurança em barragens de contenção de rejeitos</i> .....	57
3.10 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA EM BARRAGENS CONVENCIONAIS E DE CONTENÇÃO DE REJEITOS .....	59
3.11 MODELO DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO PROPOSTO POR MENESCAL ET AL (2001) PARA AÇUDES DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO.....	63
3.12 CONCLUSÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA .....	69
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>70</b>
4.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA NESTA PESQUISA.....	70
4.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	75
<b>5 DEFINIÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO MODIFICADO .....</b>	<b>77</b>
5.1 ALTERAÇÕES REALIZADAS NO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO .....	77
5.1.1 <i>Periculosidade</i> .....	77
5.1.2 <i>Vulnerabilidade</i> .....	79
5.1.3 <i>Importância Estratégica (I)</i> .....	82

5.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO.....	85
<b>6 APLICAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
6.1 PERICULOSIDADE.....	87
6.2 VULNERABILIDADE.....	90
6.3 IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA .....	95
6.4 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACORDO COM O MODELO DE POTENCIAL DE RISCO MODIFICADO .....	97
6.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE POTENCIAL DE RISCO MODIFICADO COMPARADOS COM OS GERADOS NA METODOLOGIA DE POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (COPAM, 2005)98	
<b>7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</b>	<b>102</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA.....	102
7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO POTENCIAL DE RISCO E RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	105
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO I – FORMULÁRIO PARA CADASTRO DE BARRAGENS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO II – APLICAÇÃO DAS BARRAGENS DO GRUPO 1 NO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO MODIFICADO .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO III - BARRAGENS DO GRUPO CONTROLE.....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> – Barragem de contenção de rejeitos da Mineração Rio Pomba Cataguases, Mirai-MG .....	<b>07</b>
<b>Figura 3.2</b> – Métodos de alteamento em barragens .....	<b>08</b>
<b>Figura 3.3</b> – Rompimento da Barragem Rio Pomba Mineração Cataguases, 2007 ....	<b>19</b>
<b>Figura 3.4</b> – Impactos de rompimento em barragem no município de Mirai-MG .....	<b>19</b>
<b>Figura 3.5</b> – Distribuição das barragens cadastradas por tipo de atividade .....	<b>43</b>
<b>Figura 3.6</b> – Resultado da avaliação inicial dos relatórios de auditoria de segurança de barragens .....	<b>44</b>
<b>Figura 3.7</b> – Conclusões do auditor sobre as condições das barragens auditadas ....	<b>45</b>
<b>Figura 3.8</b> – Estágios da mina e custos potenciais de reabilitação .....	<b>57</b>
<b>Figura 3.9</b> – Esquema proposto para avaliação do potencial de risco .....	<b>63</b>
<b>Figura 3.10</b> – Metodologia para estabelecimento de critérios para operação e segurança de açudes .....	<b>64</b>
<b>Figura 4.1</b> – Distribuição das barragens aplicadas no modelo de potencial de risco ..	<b>72</b>
<b>Figura 4.2</b> – Fluxograma da utilização do modelo potencial risco adotado nesta pesquisa .....	<b>75</b>
<b>Figura 6.1</b> – Periculosidade .....	<b>87</b>
<b>Figura 6.2</b> – Periculosidade: Relação Altura .....	<b>88</b>
<b>Figura 6.3</b> – Periculosidade: Relação Volume .....	<b>88</b>
<b>Figura 6.4</b> – Periculosidade: Tipo de Barragem .....	<b>89</b>
<b>Figura 6.5</b> – Periculosidade: Tipo de Fundação .....	<b>89</b>
<b>Figura 6.6</b> – Periculosidade: Vazão de Projeto .....	<b>90</b>
<b>Figura 6.7</b> – Vulnerabilidade .....	<b>90</b>
<b>Figura 6.8</b> – Vulnerabilidade: Tempo de Operação .....	<b>91</b>
<b>Figura 6.9</b> – Vulnerabilidade: Projeto as built .....	<b>92</b>
<b>Figura 6.10</b> – Vulnerabilidade: Confiabilidade das estruturas vertedouras .....	<b>92</b>
<b>Figura 6.11</b> – Vulnerabilidade: Alteamento .....	<b>93</b>
<b>Figura 6.12</b> – Vulnerabilidade: Percolação .....	<b>93</b>
<b>Figura 6.13</b> – Vulnerabilidade: Deformações, afundamentos, assentamentos .....	<b>94</b>
<b>Figura 6.14</b> – Vulnerabilidade: Deterioração dos taludes .....	<b>94</b>
<b>Figura 6.15</b> – Vulnerabilidade: Instrumentação e monitoramento .....	<b>95</b>
<b>Figura 6.16</b> – Importância estratégica: Volume útil .....	<b>96</b>
<b>Figura 6.17</b> – Importância estratégica: População a jusante .....	<b>96</b>
<b>Figura 6.18</b> – Importância estratégica: Interesse econômico e ambiental .....	<b>97</b>
<b>Figura 6.19</b> – Classificação do modelo potencial de risco modificado .....	<b>97</b>
<b>Figura 6.20</b> – Classes de potencial de dano ambiental de acordo com a DN 87 (COPAM, 2005) .....	<b>99</b>
<b>Figura 6.21</b> – Combinação dos resultados do modelo de potencial de risco modificado com o potencial de dano ambiental DN nº 87 (COPAM, 2005) .....	<b>100</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> – Porcentagens usuais de utilização dos principais instrumentos em projetos de instrumentação .....	<b>11</b>
<b>Tabela 3.2</b> – Alguns exemplos de rompimentos em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais no cenário internacional .....	<b>18</b>
<b>Tabela 3.3</b> – Alguns exemplos de recentes acidentes em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais em Minas Gerais .....	<b>20</b>
<b>Tabela 3.4</b> – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países .....	<b>22</b>
<b>Tabela 3.5</b> – Critérios para classificação de dano ambiental das barragens .....	<b>41</b>
<b>Tabela 3.6</b> – Número de barragens em mineração e indústria por classe de dano ambiental .....	<b>43</b>
<b>Tabela 3.7</b> – Classificação das barragens estudadas segundo sua altura e/ou volume de acordo com CBGB .....	<b>61</b>
<b>Tabela 3.8</b> – Periculosidade (P) .....	<b>65</b>
<b>Tabela 3.9</b> – Vulnerabilidade (V) .....	<b>66</b>
<b>Tabela 3.10</b> – Importância Estratégica (I) .....	<b>67</b>
<b>Tabela 3.11</b> – Classes de potencial de Risco .....	<b>68</b>
<b>Tabela 3.12</b> – Frequência de Inspeções .....	<b>68</b>
<b>Tabela 4.1</b> – Escopo da metodologia adotada .....	<b>74</b>
<b>Tabela 5.1</b> – Periculosidade Modificada .....	<b>77</b>
<b>Tabela 5.2</b> - Alteração das classes de volume para barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais – Potencial de risco Modificado .....	<b>79</b>
<b>Tabela 5.3</b> – Vulnerabilidade Modificada .....	<b>80</b>
<b>Tabela 5.4</b> – Importância Estratégica (I) .....	<b>82</b>
<b>Tabela 5.5</b> – Alteração do Volume Útil para Volume Atual .....	<b>83</b>
<b>Tabela 5.6</b> – Pontuação para definição do interesse econômico e ambiental .....	<b>84</b>
<b>Tabela 5.7</b> – Pontuação Modificada .....	<b>86</b>
<b>Tabela 6.1</b> – Paralelo entre o modelo potencial de risco modificado e classificação de potencial de dano ambiental.....	<b>100</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional de Águas  
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica  
CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens  
CGAFI – Comitê Gestor de Fiscalização Ambiental Integrada  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CNSB – Conselho Nacional de Segurança de Barragens  
COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COPAM – Conselho de Política Ambiental  
CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia  
DN – Deliberação Normativa  
EIA – Estudo de Impacto Ambiental  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
IC – Índice de Comportamento  
ICOLD – International Commission on Large Dam  
I – Importância Estratégica  
NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras  
P – Periculosidade  
PR – Potencial de Risco  
SIAM – Sistema Integrado de Informação Ambiental  
SIH – Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica  
SNIB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens  
UNEP – United Nations Environment Programme  
USCOLD - United States Committee On Large Dams  
SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente  
SEMAD – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável  
V – Vulnerabilidade

# 1 INTRODUÇÃO

Existem no Brasil inúmeros barramentos de diversas dimensões e destinados a diferentes usos, tais como barragens de infra-estrutura para acumulação de água, geração de energia, aterros ou diques para retenção de resíduos industriais, barragens de contenção de rejeitos de mineração, entre outros. A diversidade de tamanhos e usos das barragens e aterros de contenção reflete-se também nas condições de manutenção dessas estruturas. Algumas são impecavelmente mantidas, atendendo normas de segurança compatíveis com os padrões internacionais mais exigentes, enquanto outras ficam esquecidas, sujeitas a enchentes ou a ultrapassagem dos níveis de segurança, podendo resultar no rompimento da estrutura.

O contexto dessa dissertação será focado nas barragens de contenção de rejeitos, que são estruturas construídas para conter os materiais resultantes do beneficiamento do minério, sendo executadas em estágios, na medida em que os rejeitos são gerados, diluindo custos da construção e operação. Destaca-se neste texto que, barragens convencionais são aquelas construídas em concreto, terra e/ou enrocamento, cujas finalidades do reservatório podem ser quaisquer, exceto contenção de rejeitos.

As barragens de contenção de rejeitos são reconhecidas por gerarem um impacto ambiental significativo. Neste sentido, a gestão dos rejeitos está se tornando um dos critérios pelos quais o desempenho ambiental das empresas é julgado. Além disso, apesar da legislação, conhecimento e tecnologia disponíveis, as barragens de contenção de rejeitos continuam rompendo e causando prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Uma razão comum para as falhas é que as barragens não são operadas de acordo com critérios adequados para projeto, construção e operação.

Algumas falhas ocorridas em barragens de contenção de rejeitos custaram vidas e causaram danos ambientais consideráveis. Acidentes graves resultaram em grandes volumes de rejeitos descarregados no meio ambiente. Têm-se também os reservatórios de rejeitos cada vez maiores, envolvendo muitas vezes efluentes tóxicos e outros materiais potencialmente perigosos.

Além do risco de eventos catastróficos, como um rompimento inesperado, os impactos ambientais das barragens de contenção de rejeitos durante a fase de operação vêm despertando cada vez mais o interesse entre agências ambientais e comunidades locais, tornando pública a gestão dos rejeitos e aumentando a pressão para aplicação e manutenção de técnicas seguras de operação.

O Brasil carece de um cadastro das barragens com informações mínimas que possibilitem aos órgãos de defesa civil agir adequadamente na ocorrência de acidentes. No caso das barragens de contenção de rejeitos, a situação é ainda mais crítica, pois, além de um eventual rompimento causar inundação, pode ocorrer também a contaminação dos corpos de água que receberem seus conteúdos.

Em Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) realiza um trabalho de cadastramento e classificação das barragens seguindo parâmetros da Deliberação Normativa (DN) 62 (COPAM, 2002), que foi alterada pela DN 87 (COPAM, 2005) e pela DN 113 (COPAM, 2007). A classificação indicada nestas deliberações estabelece classes de potencial de dano ambiental, estimando as consequências em relação ao dano ambiental em caso de uma ruptura. De acordo com esta classificação são estabelecidos prazos (um, dois ou três anos) para realização de auditorias técnicas periódicas, realizadas por consultor externo ao quadro de funcionários da empresa. Os relatórios destas auditorias devem levantar as condições físicas e estruturais das barragens e atestar se as mesmas apresentam condições seguras de estabilidade. Caso não apresentem, o relatório deve conter um plano de ações com prazo para implantação de melhorias, a fim de corrigir as falhas e garantir a estabilidade das estruturas.

A presente pesquisa aplicou dados de 124 barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais do estado de Minas Gerais em um modelo de potencial de risco desenvolvido por Menescal *et al* (2001). Estas barragens foram selecionadas por critérios de disponibilidade de dados para aplicação no modelo, função do reservatório (armazenamento de resíduos industriais ou rejeitos de mineração), classificação de dano ambiental e localização geográfica. O modelo tem como objetivo estimar o risco potencial de ruptura e definir prioridades de intervenção, alocação de recursos de manutenção e recuperação, bem como servir de referência para ações de segurança, priorização de investimentos em reparos, melhorias, monitoramento por instrumentação, periodicidade de inspeções, modernização de equipamentos, planos de ação emergenciais, dentre outros. As barragens de maior risco deverão ser as prioritárias para estas ações. Aplicando o modelo de potencial de risco proposto nesta pesquisa buscar-se-á atender uma demanda de informações sobre a gestão de barragens para empreendedores, órgãos fiscalizadores e entidades interessadas.

A inovação desta pesquisa é que este modelo nunca foi utilizado para avaliação de risco em barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais, uma vez que o modelo original foi desenvolvido para avaliação da segurança em açudes no semi-árido

nordestino.

A seguir é apresentado a estrutura desta dissertação, que se encontra dividida em 7 capítulos. No Capítulo 1 tem-se uma introdução. O Capítulo 2 apresenta os objetivos geral e específicos.

O Capítulo 3, Revisão da Literatura, apresenta informações sobre a gestão de segurança em barragens de contenção de rejeitos, dentro de uma visão dos principais aspectos inerentes à segurança, como legislação, tipos de barragens, metodologias para avaliação da segurança, gerenciamento de riscos, responsabilidades das partes interessadas, dentre outros aspectos. Observa-se que a segurança de barragens vai além do aspecto estrutural, contemplando, também, os aspectos hidráulico-operacionais, ambientais, sociais e econômicos. Dentro da visão histórica, aspectos relativos às causas de ruptura de barragens e a evolução da legislação sobre o assunto vêm ganhando força nos últimos anos. Apresenta-se também um ligeiro histórico das ações de segurança em barragens no estado de Minas Gerais, com o foco nos relatórios de auditorias técnicas de segurança das barragens e nos trabalhos realizados pela FEAM.

O modelo de potencial de risco (MENESCAL *et al*, 2001) também é apresentado no Capítulo 3. O modelo considera três aspectos para classificação das barragens: Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica. Considerando as informações técnicas de projeto e construção (dimensão, capacidade, tipo de barragem, tipo de fundação e vazão de projeto) é determinada a Periculosidade das estruturas. Com base nos dados de inspeção de campo e estado das condições atuais da barragem (tempo de operação, existência de projeto “*as built*”, confiabilidade das estruturas vertedouras, tomada d’água, percolação, deformações e deterioração dos taludes) é efetuada uma avaliação preliminar da segurança que permite estimar a Vulnerabilidade das estruturas. A partir do estabelecimento de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais (volume atual, população a jusante e custos de recuperação) define-se a Importância Estratégica das barragens.

No Capítulo 4 é apresentada a Metodologia adotada para realização desta pesquisa. Neste capítulo são apresentados tanto aspectos referentes ao levantamento bibliográfico quanto à utilização do modelo de potencial de risco (MENESCAL *et al*, 2001).

O Capítulo 5 apresenta a Definição do Modelo de Potencial de Risco Modificado nas 124 barragens selecionadas do estado de Minas Gerais, sendo apresentadas as alterações e calibrações realizadas no modelo de potencial de risco original, para torná-lo aplicável à



realidade das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais. Os principais parâmetros modificados foram: classes de volume, inclusão de classificação para alteamento, instrumentação e monitoramento das estruturas e alterações no embasamento conceitual sobre custos de recuperação do ambiente a jusante em caso de rompimento. Também foi realizada uma calibração na pontuação do modelo, adotando como referência algumas barragens cuja estabilidade já era conhecida, que atuaram como Grupo Controle, de modo a garantir representatividade e funcionalidade dos resultados.

O Capítulo 6 apresenta a Aplicação do Modelo e Análise dos Resultados, destacando a influência de cada parâmetro no resultado final da classificação de potencial de risco, além de apresentar uma comparação entre o modelo de potencial de risco proposto e o de potencial de dano ambiental (COPAM, 2005), de forma a subsidiar os tomadores de decisão com mais informações para a gestão destas estruturas.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões da pesquisa em relação à revisão de literatura e ao modelo proposto, além de recomendações para pesquisas futuras.

## 2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral a classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais do estado de Minas Gerais quanto ao potencial de risco, gerando uma ferramenta complementar de gestão para auxiliar na tomada de decisões por parte de empresas e órgãos fiscalizadores.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre a gestão da segurança em barragens de contenção de rejeitos, atendendo a demanda de informações de empresas e órgãos fiscalizadores;
- A partir dos relatórios de auditoria técnica de segurança de barragens incluídas no cadastro realizado pela FEAM em 2006, aplicar os dados das principais barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais do estado de Minas Gerais, no modelo de avaliação de potencial de risco desenvolvido por Menescal *et al* (2001);
- Realizar alterações no modelo de potencial de risco, de modo a torná-lo aplicável às barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais;
- Realizar calibração no modelo de potencial de risco, verificando a representatividade e funcionalidade dos resultados para avaliação da segurança em barragens de contenção de rejeitos e resíduos;
- Estabelecer relações entre os resultados do modelo de potencial de risco proposto com a atual classificação de potencial de dano ambiental (COPAM, 2005).

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Disposição de rejeitos

A mineração é um complexo de atividades necessárias à extração econômica de bens minerais da crosta terrestre, provocando transformações no meio ambiente, através de atividades de lavra e processo. A lavra constitui-se no conjunto de atividades coordenadas que extraem um bem mineral, objetivando o seu aproveitamento industrial ou uso direto. Os processos de mineração (tratamentos) envolvem separações físicas e químicas para obtenção da substância mineral de interesse (ESPÓSITO, 2000).

No processo também são produzidos os rejeitos, que são considerados até então, 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).

Em função do tipo de minério processado e dos tratamentos adotados podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas. Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000).

O descarte pode ser na forma a granel (transportados por meio de caminhões ou correias transportadoras), ou na forma de polpa (mistura de água e sólidos), transportada por meio de tubulações com a utilização de sistemas de bombeamento ou por gravidade.

De forma geral, pode-se dizer que os rejeitos podem ser dispostos em minas subterrâneas, em cavas exauridas de minas, em pilhas, por empilhamento a seco (método “*dry stacking*”), por disposição em pasta ou em barragens de contenção de rejeitos.

A seleção de um método ou outro para a disposição dos rejeitos depende da natureza do processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos.

Entre os métodos de disposição, as barragens de contenção de rejeitos ainda são as preferidas

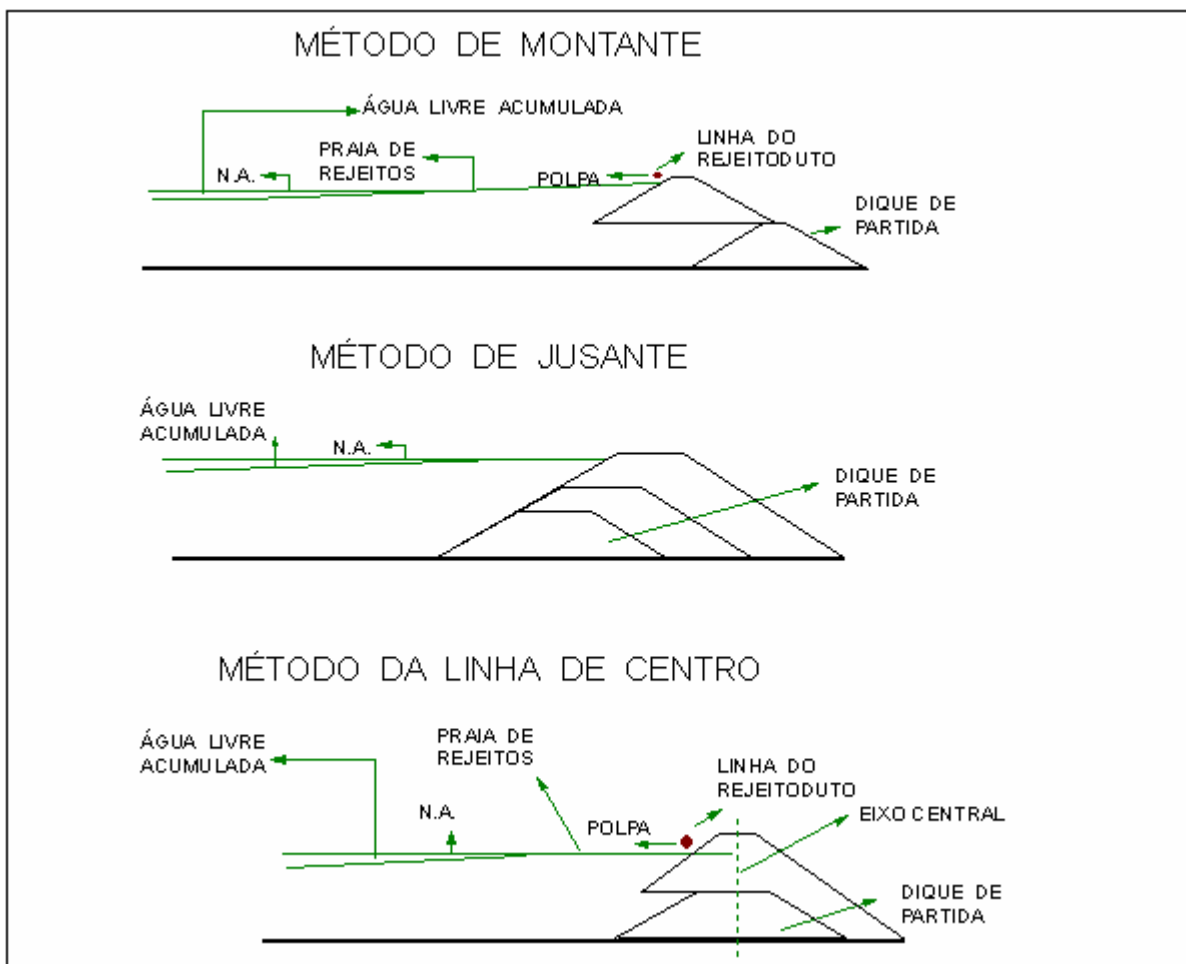
(Figura 3.1). Essas barragens podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis ou mesmo o próprio rejeito. De acordo com Davies & Martin (2000), o grande volume de rejeitos gerados, condicionados aos custos da disposição, faz com que seja atrativa a utilização destes materiais como material de construção das próprias barragens de contenção, desde que sejam obedecidas algumas premissas, tais como: separação da fração grossa e fina (as propriedades geotécnicas são diferentes entre as frações), controle dos processos de separação (granulometria), utilização de sistemas de drenagens eficientes, compactação dos rejeitos (aumento da densidade e da resistência), proteção superficial da barragem, dentre outras.



**Figura 3.1** - Barragem de contenção de rejeitos da Mineração Rio Pomba Cataguases, Mirai-MG.

### ***3.2 Métodos de alteamento de barragens de contenção de rejeitos***

As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo visando a diluição dos custos no processo de extração mineral, através de alteamentos sucessivos. Assim, um dique de partida é construído inicialmente e a barragem passa por alteamentos ao longo de sua vida útil, podendo ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, através de três métodos: montante, jusante ou linha de centro, conforme apresentando na Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Métodos de alteamento em barragens. Fonte: Espósito (2000).

O método de montante é o mais antigo, simples e econômico método de construção de barragens. A etapa inicial na execução deste tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada esta etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAÚJO, 2006).

De acordo com Troncoso (1997), o método de montante para alteamento de barragens de rejeito é o mais econômico em curto prazo, pois permite obter a menor relação entre volumes de areia / lama.

Embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método de montante apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. O agravante neste caso está ligado ao fato dos alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados. Assim, sob condição saturada e estado de

compacidade fofo, estes rejeitos (granulares) tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos (ARAUJO, 2006).

Nesse método construtivo ainda existe uma dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível d'água dentro da barragem, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura.

Já no método de jusante, a etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique de partida. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida.

De acordo com Klohn (1981), as vantagens envolvidas no processo de alteamento para jusante consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção. Nenhuma parte ou alteamento da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado, além disso, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a construção da barragem e prolongados durante seu alteamento, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumentando sua estabilidade. A barragem também pode ser projetada e construída apresentando a resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que há a possibilidade de atendimento integral das especificações de projeto.

Entretanto, barragens alteadas pelo método de jusante necessitam de maiores volumes de material para construção, apresentando maiores custos associados ao processo de ciclonagem ou ao empréstimo de material. Além disto, com este método, a área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos é muito maior, devido ao progresso da estrutura para jusante em função do acréscimo da altura (ARAUJO, 2006).

Barragens alteadas pelo método de linha de centro apresentam uma solução intermediária entre os dois métodos citados anteriormente, apresentando vantagens dos dois métodos anteriores, tentando minimizar suas desvantagens.

Segundo Assis & Espósito (1995), o comportamento geotécnico do método de linha de centro se assemelha mais a barragens alteadas para jusante, constituindo uma variação deste método, onde o alteamento da crista é realizado de forma vertical, sendo o eixo vertical dos

alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida. Neste método, torna-se possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, o que possibilita o controle da linha de saturação e promove uma dissipação de poropressões, tornando o método apropriado para utilização inclusive em áreas de alta sismicidade.

Segundo Araújo (2006), a escolha de um ou outro método de execução irá depender de uma série de fatores, tais como: tipo de processo industrial, características geotécnicas e nível de produção de rejeitos, necessidade de reservar água, necessidade de controle de água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos envolvidos. No entanto, como as barragens alteadas pelo método de montante têm se mostrado de maior facilidade de execução e mais economicamente viáveis, essas têm sido as preferencialmente adotadas pelas empresas mineradoras.

### **3.3 Instrumentação de barragens**

O interesse crescente pela segurança de barragens, sejam convencionais ou para contenção de rejeitos, tem levado, em um número apreciável de países, à implementação de normas e critérios específicos para o projeto, a construção, a observação, a inspeção e o acompanhamento da operação dessas barragens. Neste contexto, o monitoramento hidráulico-mecânico de barragens convencionais através da instalação de um adequado sistema de instrumentação desempenha um papel fundamental na avaliação do comportamento destas estruturas, tanto durante o período de construção quanto no regime de plena operação. Através da leitura de valores de cargas de pressão, dos deslocamentos, vazões e tensões desenvolvidas no corpo da barragem propriamente dita, ou no maciço de fundação, é possível comparar quantidades experimentalmente medidas com aquelas previstas pelo projeto ou estimadas para uma operação segura da barragem, sujeita, durante a sua vida útil, a várias mudanças de carregamento causadas, por exemplo, por flutuação do nível do reservatório e oscilações de temperatura (AFFONSO, 2004).

Em um programa de instrumentação, deve-se estabelecer quais instrumentos a serem utilizados assim como dimensionar a quantidade necessária aos objetivos que se deseja alcançar. Segundo Kanji & Figueira (1990) *apud* Affonso (2004), dada a grande diversidade das situações locais e de tipos de soluções, os projetos de instrumentação variam muito, não sendo aplicável uma receita única. Pode-se, entretanto, de uma forma estatística, configurar qual tem sido a prática comum adotada na instrumentação de barragens de terra e/ou enrocamento, de onde se poderia observar tendências e fatores comuns.

Vale ressaltar que, de acordo com Kanji & Figueira (1990) *apud* Affonso (2004), percebe-se na literatura uma tendência a se correlacionar a altura das barragens em metros (H) ao número total de instrumentos utilizados (N), como um critério para avaliar a quantidade de instrumentação empregada. Esta relação pode variar para cada tipo de instrumento empregado, no entanto, ao se fazer esta correlação em instrumentos tais como piezômetros, células de pressão total, medidores de deslocamentos horizontais e verticais, marcos topográficos e inclinômetros, tem-se no cenário internacional que, para barragens baixas (menor que 20 m) adota-se a correlação H:N=1:3 e para barragens altas (maior que 200 m) adota-se a correlação H:N=1:1.

Já no cenário nacional, para barragens baixas (menor que 20 m) adota-se a correlação H:N=1:1, para barragens altas (até 100 m) adota-se a correlação H:N=1:1,3 e para barragens muito altas (maior que 100 m) adota-se a correlação H:N=1:1.

A partir destes dados, Kanji & Figueira (1990) *apud* Affonso (2004) concluíram que, de forma geral, existe uma correlação da ordem de 1:1, ou seja, o número total de instrumentos instalados é igual à altura da barragem em metros.

As exceções a esta regra no Brasil, quando existem, geralmente são motivadas por projetistas com menor tradição em barragens, os quais adotam critérios de projeto reconhecidamente conservadores e a ocorrência de obras pertencentes a clientes não tradicionais da área hidroelétrica (destinadas à mineração, irrigação, abastecimento de água), com menor uso da instrumentação.

Kanji & Figueira (1990) *apud* Affonso (2004) estudaram ainda a relação entre o número total de instrumentos instalados e a quantidade de cada um dos tipos de instrumentos específicos em obras de barragens, apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Porcentagens usuais de utilização dos principais instrumentos em projetos de instrumentação

<b>Instrumento</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa de Variação</b>
Piezômetros	50 %	(20 % a 80 %)
Marcos Topográficos	30 %	(20 % a 40 %)
Medidores de Deslocamento (horiz/vert)	20 %	(10 % a 30 %)
Inclinômetros	5 %	(0 % a 8 %)

Fonte: Modificado de Kanji & Figueira (1990) *apud* Affonso (2004).



Assim, pode-se considerar que, em média, 50 % dos instrumentos em barragens de terra são piezômetros. Já os inclinômetros têm sido utilizados em número bem menor, ou seja, cerca de 5 % dos instrumentos de barragens de terra e enrocamento.

Dentro deste contexto, pode-se dizer que as barragens de contenção de rejeitos, quando instrumentadas, em sua maioria, seguem a tendência apresentada na Tabela 3.1, ou seja, apresentam como principais instrumentos os piezômetros.

### ***3.4 Aspectos históricos da gestão de barragens de contenção de rejeitos de mineração***

Para compreender o estado em que se encontra a atual gestão das barragens de contenção de rejeitos de mineração será reportada uma breve evolução histórica, no que diz respeito aos aspectos sociais, regulamentares e ao desenvolvimento tecnológico. O levantamento apresentado a seguir foi realizado por USCOLD (2004).

Até o século XV, a geração de rejeitos pelas empresas de mineração e os impactos decorrentes de sua disposição no meio ambiente eram considerados desprezíveis. No entanto, com a introdução da força a vapor e com o aumento significativo da capacidade de processamento dos minerais de interesse econômico, a geração de rejeitos aumentou significativamente e estes precisavam ser removidos da área de produção, sendo então encaminhados para algum local conveniente, geralmente próximo aos rios ou cursos d'água.

Já no século XIX, o desenvolvimento tecnológico aumentou ainda mais a habilidade de minerar corpos com baixo teor mineral, resultando na produção ainda maior de rejeitos, com cada vez menor granulometria. Entretanto, as práticas de disposição de rejeitos permaneceram praticamente inalteradas e, como resultado, mais rejeitos estavam sendo depositados e transportados para distâncias cada vez maiores das fontes geradoras para os cursos d'água, lagos e oceanos.

No início do século XX, pequenos distritos minerários começaram a se desenvolver, atraindo indústrias de apoio e desenvolvendo a comunidade local. Surgiram também conflitos pelo uso da terra e da água, particularmente por interesses agrícolas, pois os rejeitos frequentemente acumulados no solo obstruíam os poços de irrigação, além de contaminar as áreas a jusante. Os produtores rurais começaram a associar a diminuição da colheita nas terras impactadas por rejeitos e os aspectos relacionados ao uso da terra e da água conduziram os conflitos iniciais que abriram caminho para elaboração das primeiras legislações sobre o gerenciamento de

resíduos da mineração.

Precedentes legais gradativamente trouxeram um fim à disposição incontrolada de rejeitos na maioria dos países ocidentais, com o cessamento de práticas inadequadas que ocorriam até 1930. Entretanto, algumas destas práticas acontecem até hoje em muitos países em desenvolvimento.

Para a manutenção da mineração e a mitigação dos impactos ambientais, as indústrias investiram na construção das primeiras barragens de contenção de rejeitos. As barragens construídas no início do século XIX geralmente eram projetadas transversalmente ao curso d'água, com considerações limitadas apenas para inundações. Consequentemente, quando fortes chuvas ocorriam, poucas destas barragens permaneciam estáveis. Em muito poucas, ou mesmo nenhuma, havia engenheiros ou critérios técnicos envolvidos na fase de construção e operação.

Até meados de 1930, equipamentos para movimentação de terras não eram acessíveis para a construção das barragens. Um pequeno dique era inicialmente preenchido com rejeitos hidráulicamente depositados e depois incrementado por pequenas bermas. Esse procedimento de construção, atualmente mecanizado, continua sendo utilizado em muitas empresas de mineração em países em desenvolvimento.

Em 1940, a disponibilidade de equipamentos de alta capacidade para movimentação de terras, especialmente em minas a céu aberto, tornou possível a construção de barragens de contenção de rejeitos com técnicas de compactação e maior grau de segurança, de maneira similar às barragens convencionais.

O desenvolvimento da tecnologia para construção de barragens de contenção de rejeitos ocorreu de modo empírico, engrenado pelas práticas de construção e equipamentos disponíveis em cada época. Esse desenvolvimento ocorreu sem o benefício do projeto de engenharia, no entanto, na década de 50, muitos princípios fundamentais de geotecnia já eram compreendidos e aplicados em barragens de contenção de rejeitos.

Em 1965, um terremoto causou rompimento de muitas barragens no Chile, recebendo considerável atenção e sendo um fator chave na pesquisa sobre as causas das rupturas. Assim, no início da década de 70, a maioria dos aspectos técnicos (por exemplo, infiltração, liquefação e estabilidade da fundação) já eram bem entendidos e controlados pelos projetistas.

Durante os últimos trinta anos, aspectos ambientais também cresceram em importância. A atenção foi amplamente voltada para estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes. Aspectos de estabilidade física têm permanecido na vanguarda, por causa de recentes acidentes que tomaram infeliz publicidade para a indústria da mineração, com implicações financeiras severas em muitos casos. Segundo Davies (2001), uma ruptura significativa de uma barragem de contenção de rejeitos certamente pode apresentar um custo direto elevado, além de custos indiretos, como a desvalorização do patrimônio físico e ambiental.

Na maior parte dos casos de ruptura de barragens de contenção de rejeitos descritos por Klohn (1972), os aspectos técnicos eram os responsáveis pelas principais causas de falhas. Porém, estes mecanismos, mesmo que bem compreendidos, continuam sublinhando fracassos em barragens de rejeitos, e as práticas de administração continuam ausentes em muitos casos.

Numa primeira fase, o controle da segurança das barragens era basicamente orientado para a segurança estrutural e hidráulica-operacional, em que a característica básica era investir na causa potencial da ruptura da barragem. A regra era optar pelo controle rigoroso do projeto, construção e operação como forma de garantir à sociedade, em geral, e às populações residentes nos vales a jusante, uma segurança satisfatória, compatível com probabilidade de ruptura extremamente baixa. Posteriormente, as técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação vieram reforçar o controle da segurança em longo prazo.

Com o passar do tempo, a produção de rejeitos aumentou e as áreas para disposição se tornaram cada vez mais escassas. Atualmente, o desenvolvimento dos projetos de engenharia vem permitindo a construção de barragens com alturas cada vez maiores e conseqüentemente, permitindo maiores volumes a serem armazenados.

Durante o século XX, muitos fatores facilitaram a construção de grandes barragens, com cada vez mais conhecimento e controle dos aspectos de segurança, tais como melhor compreensão do comportamento dos materiais, novos desenvolvimentos na ciência de mecânica do solo, introdução de maquinaria cada vez mais forte para movimentação de terra, dentre outros aspectos. Um número significativo de barragens passaram a atingir grandes dimensões, com alturas máximas que, em algumas obras, ultrapassam 300 metros e, em cerca de uma centena delas, ultrapassam 150 metros (ICOLD, 1994).

Atualmente, pode-se dizer que o conhecimento de métodos de projeto e a experiência com as

barragens convencionais promovem segurança e aceitação da sociedade para construção destas barragens. Entretanto, as falhas ocorrem, muitas vezes devido à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente durante a construção, ou negligência das características vitais incorporadas na fase de construção.

### **3.5 Principais diferenças entre a gestão de barragens convencionais e de barragens de contenção de rejeitos**

Neste item são apresentadas algumas diferenças entre a gestão das barragens convencionais e barragens de contenção de rejeitos, já que atualmente algumas práticas são comuns para ambas, mas por serem significativamente diferentes em muitos aspectos, muitas destas práticas não podem ser igualmente aplicadas. As principais diferenças entre estas barragens são discutidas por Szymanski (1999), e descritas a seguir.

- Barragens de contenção de rejeitos são tipicamente construídas em estágios, enquanto que as barragens convencionais são geralmente construídas em estágio único, em um curto período de tempo. Como resultado, as condições das barragens de contenção de rejeitos estão sempre mudando com o aumento progressivo da carga dos rejeitos na fundação do reservatório com o tempo, e por isso sua segurança deve ser continuamente reavaliada. Uma condição estável não é alcançada até que cesse a operação da mina. Em muitos países, as barragens de contenção de rejeitos são projetadas, construídas e operadas sobre as mesmas legislações e revisões das barragens convencionais;
- Barragens convencionais são vistas como um recurso, com finalidade de abastecimento de água, geração de energia elétrica, dentre outros. Assim, sua construção, operação e manutenção recebem um alto padrão de cuidado e atenção pelos proprietários, que geralmente possuem sua própria equipe de engenheiros experientes. Em contrapartida, as barragens de contenção de rejeitos são vistas por muitos proprietários como improdutivas, ou parte da operação com perda de dinheiro. O significado destes aspectos é que as atitudes e os esforços na operação da mina são naturalmente menos voltados para o gerenciamento dos rejeitos;
- Barragens convencionais são tipicamente de propriedade do Estado ou companhia de utilidade pública, com autoridades que gerenciam o recurso água. Estes proprietários geralmente possuem recursos substanciais à sua disposição, e tem um relacionamento diferente com público, já que a barragem objetiva diretamente o benefício público. Ao

contrário, as barragens de contenção de rejeitos, que são de propriedade da companhia de mineração, não fornecem nenhum benefício direto ao público;

- As companhias de mineração geralmente não possuem profissionais próprios com experiência em barragens, recorrendo então a consultores externo ao seu quadro de funcionários. Isso introduz uma nova questão no gerenciamento das instalações de rejeitos: a perda potencial da boa e clara comunicação e perda da continuidade do projeto;
- Barragens de contenção de rejeitos geralmente retêm materiais sólidos e água que podem ser considerados contaminantes, se liberados para o meio ambiente. A composição destes materiais depende do processo industrial e do tipo de mineral explorado. A contaminação do meio ambiente pode acontecer através de drenagem ácida, infiltração dos contaminantes para o lençol freático, contaminação do solo e água superficial a jusante, podendo até mesmo afetar a fauna local que utiliza a água da barragem para consumo.

A linha comum para cada uma destas diferenças é que as barragens demandam gestões específicas, ou seja, cada barragem apresenta peculiaridades em relação ao local em que se encontra, ao tipo de processo industrial e às características dos rejeitos, ao tipo de construção e operação e, por isso, não devem ser utilizadas fórmulas prontas, comuns para todas as barragens. Cada barragem de contenção de rejeitos é única e demanda estudos específicos para uma gestão eficiente.

### ***3.6 Incidentes e acidentes com barragens de contenção de rejeitos***

De acordo com Vieira (2005), acidente é uma anomalia de grande porte correspondente à ruptura parcial ou total de uma obra e/ou a sua completa desfuncionalidade, com graves consequências econômicas e sociais. Incidente é um evento físico indesejável, de pequeno porte, que prejudica a funcionalidade da obra, podendo vir a gerar eventuais acidentes, ainda que muito pequenos, se não corrigidos a tempo.

A eliminação ou o controle de todos os incidentes deve ser a preocupação principal de todos os envolvidos nas questões de prevenção de acidentes ou controle de perdas.

As barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais são estruturas complexas e dinâmicas que requerem cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação, manutenção das estruturas, bem como para o descomissionamento. No histórico de acidentes reportados pela ICOLD (2001), as principais causas de rompimento de

barragens são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, falta de controle da erosão, deficiências no controle e inspeção pós-fechamento e falta de dispositivos graduais de segurança ao longo da vida útil da estrutura.

As causas destes acidentes podem estar relacionadas com a perda da compreensão dos fatores que controlam a segurança das operações, ou seja, falta ou falhas na instrumentação e monitoramento. Existem poucos casos de eventos não previsíveis ou causados por condições climáticas inesperadas (tais como terremotos, por exemplo), uma vez que o conhecimento de hoje permite a previsão destes eventos. Os incidentes e acidentes também são resultados de condições inadequadas de investigações de campo, projeto, construção, operação, monitoramento, ou a combinação destes.

O conhecimento sobre os fatores que controlam o comportamento das barragens de contenção de rejeitos cresceu bastante nos últimos trinta anos. As consequências e a percepção pública dos rompimentos nas barragens de contenção de rejeitos cresceram consideravelmente, tornando os proprietários e os gerenciadores mais conscientes dos riscos envolvidos nas construções dos reservatórios.

A probabilidade de uma falha ocorrer pode ser baixa, porém as consequências podem ser desastrosas para comunidades locais e o ambiente a jusante. O risco imposto por toda a barragem de contenção de rejeitos será específico para o local, dependendo, por exemplo, do projeto, da construção e manutenção da barragem, das características da rocha subjacente, das condições de precipitação e da atividade sísmica na área, por isso, cada aspecto deve receber devida atenção, de modo a evitar falhas e acidentes.

Entretanto, há uma relutância dos proprietários em divulgar os incidentes ou falhas a não ser quando os casos se tornam públicos, dominados pela mídia e jornais. Em barragens, as falhas ganham mais publicidade que os sucessos adquiridos ao longo do tempo. Exemplos de notáveis rompimentos de barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais que custaram vidas, recursos naturais e materiais, são abordados na Tabela 3.2.

A primeira ruptura de uma barragem tradicional pelo método de montante, provavelmente foi a de Barahona, no Chile. Durante um grande terremoto em 1928, a barragem se rompeu, matando mais de 50 pessoas, resultando numa inundação catastrófica. A barragem de Barahona foi substituída por uma mais estável, pelo método de jusante, com uso de ciclones para obter o material grosseiro dos rejeitos para a construção da barragem (ICOLD, 2001).

**Tabela 3.2** – Alguns exemplos de rompimentos em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais no cenário internacional

<b>Mês e Ano</b>	<b>Ocorrência</b>
Setembro de 1970	Mufilira, Zambia: 89 mortes, 68.000 m <sup>3</sup> derramados na área de mineração
Fevereiro de 1972	Buffalo Creek, EUA: 125 mortes, 500 casas destruídas.
Novembro de 1974	Bafokeng, África do Sul: 3 milhões de m <sup>3</sup> de lodo seguiram por 45 km, resultando em 12 mortes.
Janeiro de 1978	Arcturus, Zimbawe: 20.000 m <sup>3</sup> , uma morte.
Julho de 1985	Stava, Itália: 269 mortes, rejeitos seguiram por 8 km
Fevereiro de 1994	Merriespruit, África do sul: 17 mortos, 500.000 m <sup>3</sup> de lodo seguiram por 2 km.
Agosto de 1995	Omai, Guiana: 4.2 milhões de m <sup>3</sup> lodo cianeto.
Setembro de 1995	Placer, Filipinas: 50.000 m <sup>3</sup> , 12 mortos.
Março de 1996	Marcopper, Filipinas: 1.5 milhões de toneladas de rejeitos.
Agosto de 1996	El Porco, Bolívia: 400.000 toneladas envolvidas.
Outubro de 1997	Pinto Valley, EUA: liberação de 230.000 m <sup>3</sup> de rejeitos.
Abril de 1998	Aznalcóllar, Espanha: liberação de 4-5 milhões de m <sup>3</sup> água tóxica e lodo
Dezembro de 1998	Haelva, Espanha: liberação de 50.000 m <sup>3</sup> de resíduos industriais tóxicos e ácidos.
Abril de 1999	Placer, Surigao del Norte, Filipinas: 700.000 toneladas de rejeitos contaminados com cianeto foram derramadas. 17 casas destruídas.
Janeiro de 2000	Baia Maré, Romênia: 100.000 m <sup>3</sup> de cianeto contaminaram água com os rejeitos derramados.
Março de 2000	Borsa, Romênia: 22.000 toneladas de rejeitos contaminados por metais pesados foram liberados, contaminando água e solo.
Setembro de 2000	Mina de Aitik, Suécia: 1,8 milhões de m <sup>3</sup> de água liderada.
Outubro de 2000	Martin Country Coal Corporation, Kentucky, EUA: 0,95 milhões de m <sup>3</sup> de rejeitos derramados nos rios a jusante, ocorrendo mortalidade de peixes e tornando água imprópria ao abastecimento.

Fonte: Modificado de ICOLD (2001).

As Figuras 3.3 e 3.4 e a Tabela 3.3 apresentam alguns casos recentes de rompimento de barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais em Minas Gerais. Foi a partir de rompimentos como estes que a legislação brasileira começou a se desenvolver e atuar, estabelecendo cobrança das diretrizes de gerenciamento e rotinas de inspeção.



**Figura 3.3** – Rompimento da Barragem Rio Pomba Mineração Cataguases, 2007.



**Figura 3.4** – Impactos de rompimento em barragem no município de Miraf-MG.



**Tabela 3.3** – Alguns exemplos de recentes acidentes em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais em Minas Gerais

<b>Mês e Ano</b>	<b>Ocorrência</b>
Junho de 2001	Mineração Rio Verde Ltda. Nova Lima, MG. O rompimento da barragem resultou em 5 mortes, danos à fauna, flora e unidade de conservação, danos à adutoras de abastecimento de água, assoreamento de rios, além de pagamento de multa e prestação de serviços sociais.
Março de 2003	Indústria Cataguazes de Papel. Cataguazes, MG. Lixívia negra causa interrupção no fornecimento de água.
Março de 2006	Rio Pompa Mineração Cataguazes. Miraf, MG. Vazamento de lama casou danos ambientais, prejuízos materiais e suspensão de abastecimento de água em cidades de MG e RJ.
Janeiro de 2007	Reincidente: Rio Pompa Mineração Cataguazes. Miraf, MG. Rompimento da barragem causa danos ambientais, prejuízos materiais, suspensão do abastecimento de água; mais de 500 pessoas desalojadas.

Rupturas de barragens de rejeitos geralmente ocorrem onde um ou mais aspectos do projeto e construção/operação são deficientes. Muitas rupturas ocorreram como resultado de práticas operacionais que foram incompatíveis com os requerimentos de projeto, ou vice-versa. Isso não é para dizer que um projeto mal elaborado pode ser salvo por práticas operacionais exemplares, nem que um bom projeto possa resistir às práticas operacionais inadequadas. Isso indica que rupturas podem ocorrer quando um projeto mal elaborado é combinado com práticas operacionais inadequadas. (WAGENER *et al*, 1997).

### **3.7 Considerações sobre legislação e regulamentação de barragens de contenção de rejeitos: cenário internacional**

#### **3.7.1 Gestão de barragens de contenção de rejeitos em alguns países**

Delliou (2001) realizou uma revisão sobre legislação de barragens de contenção de rejeitos em diversos países, e concluiu que não há uma padronização definida no que diz respeito aos métodos de classificação e fiscalização, ou seja, cada país tem criado seus próprios critérios de acordo com seu histórico de desenvolvimento e características locais.

Alguns países, como Estados Unidos e Austrália, possuem legislação específica para os sistemas de contenção de rejeitos, enquanto outros enfatizam suas legislações para barragens convencionais e diques de contenção de cheias, sistemas estes que predominam em países como França e Holanda.

Países como Portugal, Estados Unidos, Espanha e França possuem um sistema legislativo já avançado, inclusive com classificação quantitativa de riscos de acordo com as características

das barragens e dos rejeitos.

A forma das regulamentações pode ser tanto focal quanto difocal. Em alguns países o esquema regulador se baseia em legislação específica para segurança de cada tipo de barragens (exemplo: Alemanha). Já em outros países, como a Eslovênia, a segurança de barragem é tratada como um aspecto mais geral da legislação, por exemplo, combinado com água, barragens para geração de energia ou como recursos naturais (BRADLOW *et al*, 2002).

A maioria das barragens de contenção de rejeitos é operada pela própria companhia de mineração e supervisionada pelas autoridades de mineração do Estado. Por isso, a segurança destas barragens muitas vezes fica em segundo plano, já que estas autoridades têm outras tarefas a cumprir, como avaliar a produção, o meio ambiente e a segurança no trabalho, dentre outras.

Atualmente, alguns países já estão introduzindo a avaliação de risco na legislação, mas estas técnicas necessitam de uma definição mais precisa do nível aceitável do risco existente e provável, uma vez que a definição do nível de risco aceitável pode ser influenciada por julgamento cultural ou pessoal. Geralmente, a definição destes critérios não é clara e estão implícitos nas legislações atuais (MARTINS, 1999).

Golder (1999) sugere que as regulamentações referentes ao armazenamento de rejeitos deve ser flexível suficiente para acomodar as variações físicas, técnicas e considerações sociais dos diferentes locais. Uma estrutura de regulamentação ideal deve acomodar mudanças futuras, como o conhecimento técnico e o crescimento esperado da comunidade. A regulamentação também deve ser escrita para identificar pró-ativamente as mudanças potenciais e os perigos, ao invés de simplesmente reduzir os eventos inaceitáveis depois de ocorrido.

A Tabela 3.4 apresenta os resultados da revisão de literatura a respeito da gestão de barragens, indicando para cada país, quais os níveis de altura e volume uma barragem está sujeita a legislação, quais são os critérios para classificação de risco, as exigências para projeto e níveis de inspeções. Os dados obtidos é resultado da compilação de três fontes: Martins (1999), Delliou (2001) e Tailsafe (2005).

**Tabela 3.4 – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)	Classificação de risco	Exigências	Inspeções
África do Sul	$H > 5 \text{ m}$ e $V > 50.000 \text{ m}^3$	<p>Classificação de risco de segurança em níveis elevado, médio ou baixo.</p> <p>Em termos ambientais: classificação quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos, considerados significativos ou não-significativos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventário das barragens atualizado;</li> <li>- Aplicação da legislação;</li> <li>- Relatório do Programa de Gestão Ambiental;</li> <li>- Análise do Ciclo de Vida.</li> </ul>	Devem ser realizada por consultores independentes
Alemanha	$H > 5 \text{ m}$ e $V \geq 100.000 \text{ m}^3$	<p>Não existe classificação quanto ao risco.</p> <p>Há seis tipos de barragens:</p> <p>T<sub>1</sub>: barragens e represas;</p> <p>T<sub>2</sub>: barragens de rejeito (com água);</p> <p>T<sub>3</sub>: medidas de segurança;</p> <p>T<sub>4</sub>: reservatório para controle de inundação;</p> <p>T<sub>5</sub>: reservatório de armazenamento (com bomba);</p> <p>T<sub>6</sub>: barragens de rejeito (sem água).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatório de Segurança (anual);</li> <li>- Período de retorno para barragens de rejeitos <math>T_R = 1.000</math> anos;</li> <li>- Estado da arte;</li> <li>- Controle da documentação;</li> <li>- Aprovação do projeto;</li> </ul> <p>Não exige plano de emergência (a não ser em casos críticos ou na fase de remediação).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizadas por autoridades do Estado (perito);</li> <li>- Os dados devem ser avaliados e armazenados;</li> <li>- Ocorre durante a fase de operação, construção e primeiro enchimento</li> </ul> <p><u>Tipos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contínua (operador);</li> <li>- Frequente;</li> <li>- Intensiva (a cada dez anos ou após eventos incomuns).</li> </ul>

**Tabela 3.4 – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países (continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)	Classificação de risco	Exigências	Inspeções
<b>Austrália</b>	De acordo com a classe	Divisão em três classes de acordo com a compilação de dados de altura e categoria de risco	- Exige aplicação da legislação; - NOI – Notificação de Intenção (documento englobando aspectos ambientais a serem aprovados).	De acordo com a classe, a inspeção será a cada um, dois ou três anos.
<b>Eslovênia</b>	$H \geq 15\text{m}$ ou $H \geq 10$ e comprimento da crista $\geq 500$ m $V \geq 1.000.000 \text{ m}^3$ Inundação $\geq 2.000 \text{ m}^3/\text{s}$	Barragens classificadas em três classes de acordo com potencial de perdas de vidas humanas e efeitos econômicos	- Não há exigências formais para projeto; regras gerais da construção civil são utilizadas; - Controle da documentação; - Sistema de alarme.	- O monitoramento pode ser terceirizado; - O proprietário deve garantir a inspeção, mas a legislação não define o nível de inspeção.
<b>Espanha</b>	<u>Até 1967</u> $H > 15$ m ou $10 < H < 15$ m e $V > 100.000 \text{ m}^3$  <u>A partir de 1996</u> Introdução do conceito de potencial de risco	<u>Classe A</u> : risco de perda de vidas humanas; danos em áreas urbanas; importância nos materiais e idade da barragem;  <u>Classe B</u> : riscos limitados de perda de vida humana; perigo em população escassa ou em infra-estruturas não muito importantes;  <u>Classe C</u> : riscos de perda de vidas humanas em condições excepcionais; poucos danos.	- Controle da documentação e registros; - Procedimentos para casos de eventos excepcionais; - Programa de monitoramento e inspeções periódicas; - Procedimento de informação para extravasamento de água; - Sistema de alarme; - Plano de emergência para Classes A e B.	A cada 5 ou 10 anos de acordo com a classe ou após eventos excepcionais.

**Tabela 3.4 – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países (continuação)**

<b>País</b>	<b>Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)</b>	<b>Classificação de risco</b>	<b>Exigências</b>	<b>Inspeções</b>
<b>Finlândia</b>	H > 3 m e V “grande” ou perigo à vida, saúde e meio ambiente	Classificação para barragens de rejeitos: P: em caso de acidentes causa riscos à saúde e sérios danos ao meio ambiente e à propriedade O: apresenta perigo mínimo T: estruturas temporárias N: que não se enquadra em P,O ou T.	- Exigência de projeto e licença; - Sistema de alarme (caso tenha população a jusante); - Controle da documentação; - Padrões para largura da crista; - Para risco elevado: programa de monitoramento, avaliação de risco, código de prática, plano de ação emergencial.	- Inspeção de comissionamento; - Inspeção Regular (a cada 5 anos); - Inspeção diária (visual).
<b>França</b>	Existem regras especiais para cada tipo de barragem  H > 20 m  H > 10 m (hidroelétricas)  pequenas barragens	Não identificado	- Não há padrões de projeto definidos, cada barragem deve atender o Estado da Arte; - Registro de incidentes; - Sistema de alarme; - Plano de alerta e socorro à população jusante; - Para H > 20 m e V > 15.000.000 m <sup>3</sup> deve haver plano de emergência.	- A inspeção é indicada e não obrigatória, podendo ser anual, a cada cinco ou dez anos; - Os dados devem ser publicados anualmente; - A cada dois anos deve haver análise detalhada dos resultados.
<b>Noruega</b>	H > 4 m e V > 500.000 m <sup>3</sup>	Três classes de acordo com o número de habitantes a jusante	- Padrões de projeto e de obra civil; - Alarme, se necessário.	- Aprovação do Programa de Inspeção e Vistoria.

**Tabela 3.4 – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países (continuação)**

<b>País</b>	<b>Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)</b>	<b>Classificação de risco</b>	<b>Exigências</b>	<b>Inspeções</b>
<b>Polônia</b>	Barragens > 10 ha: Ato 9 de novembro de 2000 (exige Estudo de Impacto Ambiental - EIA).	As barragens são divididas em quatro classes, sendo que as barragens de rejeitos são classificadas como barragens de água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo de Impacto Ambiental;</li> <li>- Plano de ação de emergência (simulação de inundação, plano de salvamento, rotas de evacuação);</li> <li>- Relatório de Barragens (amostragem, monitoramento, controle da documentação);</li> <li>- Instrumentação;</li> <li>- Manual de Operação.</li> </ul>	De acordo com cada classe.
<b>Portugal</b>	H > 15 m ou V > 1.000.000 m <sup>3</sup>	<p>Duas classes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes Barragens H &gt; 15 m ou V &gt; 1.000.000 m<sup>3</sup> ou perigo importante (perdas de vidas humanas, conseqüências econômicas importantes);</li> <li>- Pequenas Barragens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Há regras gerais (não impõe métodos precisos);</li> <li>- Sistema de monitoramento;</li> <li>- Plano de emergência;</li> <li>- Sistema de alarme (transmissão da comunicação por telefone, rádio ou sinal sonoro).</li> </ul>	Três tipos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- contínua;</li> <li>- especial;</li> <li>- excepcional.</li> </ul>

**Tabela 3.4 – Características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países (continuação)**

<b>País</b>	<b>Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)</b>	<b>Classificação de risco</b>	<b>Exigências</b>	<b>Inspeções</b>
<b>Romênia</b>	H > 10 m V > 10.000.000 m <sup>3</sup> (áreas habitáveis devem estar a menos de 10 km)	Quatro classes de acordo com volume e altura da barragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O Estado define alguns padrões de projeto de acordo com a classe da barragem;</li> <li>- Controle documental;</li> <li>- Sistema de alarme;</li> <li>- Plano de emergência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A própria empresa define a inspeção e o método de monitoramento;</li> <li>- Inspeções especiais acompanhadas por peritos, em caso de eventos excepcionais.</li> </ul>
<b>Suíça</b>	H ≥ 10 m ou H > 5 m e V ≥ 50.000 m <sup>3</sup> ou perigo importante para povos e bens	Não identificada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há regras específicas para projeto;</li> <li>- Programa de monitoramento;</li> <li>- Sistema de alarme, em caso de risco para a população;</li> <li>- Níveis de evacuação, de acordo com as condições de controle de um possível acidente.</li> </ul>	<p>A confederação realiza inspeção:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- H &gt; 25 m;</li> <li>- H &gt; 15 m e V &gt; 50.000 m<sup>3</sup>;</li> <li>- H &gt; 10 m e V &gt; 100.000 m<sup>3</sup>;</li> <li>- V &gt; 500.000 m<sup>3</sup></li> </ul>

Segundo ICOLD (2001), a definição de barragens cobertas por um regulamento geralmente engloba alguns dos seguintes critérios:

- Altura (com relação ao nível da terra ou da fundação);
- Nível de água;
- Volume do reservatório;
- Mapa de inundação;
- Comprimento da crista.

Alguns destes critérios geralmente são utilizados para a classificação de riscos. Como não há uma padronização global, cada país utiliza seus próprios critérios de acordo com suas particularidades. É o que acontece com o volume e a altura, por exemplo. Cada país considera um valor a partir do qual a barragem passa a ser sujeita à legislação. Por exemplo, na África do Sul, uma barragem com  $H > 5$  m e  $V > 50.000$  m<sup>3</sup> está sujeita ao rigor da legislação, mas na Romênia estes valores são menos rigorosos ( $H > 10$  m e  $V > 10.000.000$  m<sup>3</sup>).

O Boletim 74 (ICOLD, 1989a) apresenta várias recomendações sobre a criação de legislação sobre segurança de barragens de contenção de rejeitos, fornecendo informações e sugerindo providências para comissões, registros, permissões, procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção, supervisão, autoridades, inspeção e reabilitação.

De acordo com Martins (1999), a legislação e a elaboração de normas no final da década de noventa passaram a exigir procedimentos cada vez mais rigorosos no que diz respeito à proteção das populações a jusante de barragens, considerando:

- Cenários de ruptura, independentemente da probabilidade de ocorrência;
- Elaboração de mapas de inundação correspondentes a cheias provocadas por acidentes em barragens;
- Zoneamento de risco e elaboração de planos de evacuação;
- Implementação de sistemas de alarme e aviso eficazes;
- Elaboração de planos de emergência com a participação de autoridades locais e da comunidade;
- Recomendações para controle da ocupação do território, nomeadamente em áreas de risco.



Nos últimos anos, a evolução no conceito da gestão do risco (análise e detecção de eventos perigosos, análise ou avaliação quantitativa de riscos, mitigação de riscos e resposta a crises ou catástrofes) tem motivado um interesse institucional e técnico-científico pelos problemas relacionados às barragens. Assim, muitos países já estão implementando procedimentos de previsão e proteção eficazes contra cheias e acidentes.

Ainda de acordo com Martins (1999), as principais razões para esta evolução, nos últimos vinte a vinte cinco anos, baseiam-se no envelhecimento das barragens atuais e alterações hidrológicas; nas cheias de dimensionamento, segundo critérios atualizados, excedendo a capacidade de vazão de segurança; nas eventuais alterações climáticas globais, que aumentam os riscos de acidentes; na privatização da propriedade e exploração de grandes barragens, que acompanha uma tendência mais agressiva de responsabilização face aos acidentes e na progressiva exigência de seguros e avaliações de riscos para fixação de prêmio.

As dificuldades de um estudo da legislação sobre segurança de barragens em nível mundial são muito grandes, resultando em fatores de várias ordens, entre os quais podem se citar:

- A legislação sobre barragens pode estar incluída em legislação referente a contextos mais vastos, como, por exemplo, infra-estruturas hidráulicas;
- A legislação sobre barragens pode remeter para outros textos legais;
- A legislação pode ser de tipos diferentes (puramente administrativa ou técnico-administrativa) e apresentar graus de pormenorização muito diversos;
- O "peso" jurídico da legislação pode ser diverso: em Portugal, por exemplo, há regulamentos e normas, enquanto que no Canadá há orientações (*guidelines*) que não são estritamente obrigatórias;
- Pode haver legislação distinta conforme a dimensão da barragem;
- Acompanhamento das atualizações da legislação e qual nível a legislação está sendo aplicada.

A segurança de barragens é uma tarefa complexa. Basta considerar o número de barragens às quais, em diferentes países, se aplica a legislação. A título de exemplo, a África do Sul possui 3.092 barragens, Finlândia: 450, Iugoslávia: 48, Reino Unido: 2.450, Suíça: 200, Zimbábwe: 500 (MARTINS, 1999).

### 3.7.2 Aspectos sobre legislações de alguns países

Os itens a seguir apresentam informações que englobam tanto barragens convencionais quanto barragens de contenção de rejeitos, uma vez a legislação de muitos países não faz distinção entre os diferentes tipos de barragens.

#### 3.7.2.1 Europa

A legislação e a regulamentação aplicável às barragens de contenção de rejeitos diferem consideravelmente entre os estados membros da União Européia. O sensível desenvolvimento e a criação de regulamentações heterogêneas é uma solução para vários problemas referentes à segurança das barragens, entretanto, na maioria dos países as barragens de contenção de rejeitos permanecem fora das regulamentações de segurança em relação às barragens convencionais.

De acordo com Delliou (2001), na União Européia ainda não existe uma legislação específica para os resíduos das operações de mineração, entretanto, o processo de criação e adoção da legislação está caminhando continuamente. No momento, os estados membros têm sua própria legislação sobre mineração e meio ambiente, que se refere à mineração e é aplicável ao gerenciamento das barragens de contenção de rejeitos.

Em resposta a acidentes como os de Baia Maré (Romênia) e Azcóllar (Espanha), ambos em 1998 (Tabela 3.2), e a poluição que eles causaram, a Comissão Européia comunicou a "Operação de Segurança das Atividades de Mineração: no seguimento dos recentes acidentes de mineração." A comunicação levantou três elementos chaves visando o aumento da segurança nas operações de mineração, ou seja, uma revisão da legislação sobre o controle de grandes acidentes envolvendo substâncias perigosas, para incluir no seu escopo os reservatórios e as barragens de contenção de rejeitos; a criação de um Documento de Referência - BAT (*Best Available Technic*) sobre barragens de contenção de rejeitos e gerenciamento de resíduos industriais para reduzir a poluição diária e prevenir ou mitigar acidentes no setor da mineração; e proposta de uma Directiva de Mineração.

O objetivo desta iniciativa é melhorar o gerenciamento dos resíduos na mineração através do levantamento dos riscos potenciais ao meio ambiente durante a fase de disposição. O foco é a segurança no gerenciamento dos resíduos e em particular a segurança das barragens, além dos aspectos operacionais relacionados ao gerenciamento de resíduos, incluindo drenagem ácida e possível contaminação do meio ambiente (DELLIOU, 2001).

### 3.7.2.2 Austrália

O Departamento de Minerais e Energia da Austrália (DME) preparou orientações (*guidelines*) para auxiliar as etapas de projeto, construção, operação e descomissionamento de barragens de contenção de rejeitos na Austrália ocidental para alcançar eficiência, custo eficaz, segurança e resultados ambientais aceitáveis. Os *guidelines* pretendem fornecer uma abordagem comum ao projeto, à construção, à operação e à reabilitação segura, além de fornecer um método sistemático de classificar sua adequabilidade sob circunstâncias operacionais de casos normais e anormais (AUSTRALIAN EPA, 1995).

A abordagem adotada nos *guidelines* reconhece o desejo da indústria de mineração em mover-se para o auto-gerenciamento, através do uso de um certificado de conformidade para projeto e construção de barragens.

Estes *guidelines* apresentam como um dos seus objetivos o incentivo à indústria de mineração a fazer uma abordagem mais completa do planejamento de estruturas de contenção de rejeitos. Um dos fatores críticos à reabilitação final de uma barragem é a gestão da disposição dos rejeitos durante a fase de operação. Sem a disposição sistemática dos rejeitos e sem a gestão da água, a reabilitação final poderia ser muito onerosa, e ser requerida em um momento em que o fluxo de capital para investimentos fosse limitado ou inexistente. Este desafio pode ser superado pelo planejamento adequado, associado com a boa gestão dos rejeitos e a antecipação do uso de abordagens técnicas sadias durante o ciclo de vida da instalação (AUSTRALIAN EPA, 1995).

O sistema de avaliação do perigo é usado, de acordo com o porte da barragem, para definir três categorias de risco, de acordo com os níveis de detalhes e justificativas do projeto. Procedimentos operacionais e medidas de reabilitação também são requeridos. As barragens envolvidas nesta classificação são as que apresentam altura maior que 15 metros ou perigo significativo para sociedade (AUSTRALIAN EPA, 1995).

A altura e o sistema de avaliação do perigo reconhecem que devido à variação ambiental e os perigos impostos pelas barragens de diferentes tamanhos haverá diferenças contínuas das exigências de projeto e da operação para assegurar a reabilitação adequada de tais instalações.

### 3.7.2.3 Estados Unidos, Canadá e México

As regulamentações nos Estados Unidos geralmente não descrevem práticas de gerenciamento para as indústrias separadamente de requerimentos básicos, como

requerimento que um programa de inspeção de barragens, requerimento de relatórios anuais e manuais de operação. Em termos de aspectos ambientais (qualidade da água, por exemplo), a legislação é prescritiva. As próprias companhias de mineração, apoiadas pelos seus construtores e projetistas, são mais bem qualificadas para projetar programas de gerenciamento para suas estruturas em particular. Uma tentativa dos legisladores de impor um "código de gerenciamento" uniforme não deve obter sucesso porque cada companhia mineradora, e cada barragem de contenção de rejeitos têm seus próprios requerimentos, recursos, problemas e condições específicas do local. No gerenciamento de organizações específicas, aspectos não podem ser efetivamente regulados, por isso é que ela exige um alto grau de auto-gerenciamento.

Legisladores dos EUA e Canadá estão mostrando um aumento aceitável de projetos mais robustos e tecnologias que apresentam maior controle sobre os rejeitos. Os autores estão envolvidos em muitos projetos de propostas nos últimos anos onde os projetos são mais específicos, robustos e não-tradicionais.

A ruptura da barragem de Teton em 1977 constituiu um marco nos conceitos de segurança e risco a jusante nos EUA que culminou em Recomendações Federais para Segurança de Barragens que passaram a ser adotadas e implementadas pelas agências federais. Estas recomendações incluem, entre outras ações, a elaboração e a implementação de Planos de Ação de Emergência, com o envolvimento das autoridades e comunidades locais (WSDE, 1993).

É de salientar a relativa alta frequência de acidentes de pequenas e médias barragens de terra nos EUA que justificou um rigor particular nas atividades de segurança desencadeadas pelas diversas agências de licenciamento de barragens, autoridades de segurança e donos de obras, em particular o *Bureau of Reclamation* e o *U.S. Army Corps of Engineers*. Em 1981 esta última instituição desencadeou um Programa de Inspeção Nacional em 9.000 barragens, tendo concluído que cerca de um terço estavam em condições de segurança deficientes (WSDE, 1993).

No Canadá, alguns incidentes recentes em barragens de contenção de rejeitos, foram causados, em parte, pela falta de uma base de dados histórica relevante e acessível e/ou apreciação inadequada dessa base de dados (MARTIN *et al* 2002).

A Associação de Barragens do Canadá (CDA, 1999) atualizou orientações em segurança de

barragens, incluindo recomendações a respeito das responsabilidades para a segurança, o escopo e a frequência de revisões de segurança, operação, manutenção e inspeção e também preparação para emergências. Estas orientações indicam que as barragens convencionais, de terra, para armazenamento de água ou rejeitos de mineração são, em muitos casos, similares quanto aos critérios de projeto para estabilidade.

No Canadá "Um Guia para o Gerenciamento das Barragens de Contenção de Rejeitos" (MAC, 1998), apresenta uma estrutura de gestão da vida útil e fornece recomendações para planejamento, projeto, construção, operação, descomissionamento e fechamento para barragens de contenção de rejeitos. A estrutura é expandida em uma série de listas de verificação (*check lists*) que se dirigem aos vários estágios do ciclo de vida de uma barragem de contenção de rejeitos. O guia identifica seis elementos chaves para a execução eficaz da operação e da gestão da barragem: 1) Gerenciamento das Ações, 2) Responsabilidade, 3) Medição do Desempenho, 4) Programação, 5) Considerações Técnicas e 6) Outras Referências.

Em 2003, a Associação de Mineração do Canadá lançou outro guia "Desenvolvendo um Manual de Operação, Manutenção e Inspeção para estruturas de contenção de água e rejeitos" a fim de ajudar as companhias de mineração a aplicar os sistemas de gerenciamento dos rejeitos, que incluem critérios ambientais e de segurança. A finalidade é também melhorar a consistência da aplicação de princípios sadios da engenharia e de gestão nas estruturas de contenção de água e de rejeitos em todo o seu ciclo de vida.

O Padrão Oficial Mexicano também estipula exigências para seleção de local, construção, operação e monitoramento de uma estrutura de contenção de rejeitos. De acordo com Martins (1999), estas exigências incluem:

- Estudo de impacto ambiental;
- Conformidade com as leis que governam a preservação do patrimônio histórico ou cultural;
- Garantia que não haverá percolação de lixiviados tóxicos no aquífero mais próximo ou na água superficial dentro de 300 anos;
- Aprovação de planos para monitoramento de águas subterrâneas e superficiais;
- Caracterização detalhada da estrutura geológica e das propriedades mecânicas de formações da rocha e dos depósitos do solo;

- Vistorias do local para delinear elevações e características, tais como estradas e encanamentos;
- Conformidade com padrões civis do projeto de trabalho para barragens;
- Monitoramento da instrumentação para uma estrutura de contenção de rejeitos com mais de 50 m de altura.

#### 3.7.2.4 África do Sul

Na África do Sul, uma política de auto-gerenciamento é aplicada e exige que as minas preparem um Relatório de Gestão Ambiental no estágio de planejamento. Também é exigido um Código de Prática para os Resíduos da Mina, aplicável durante os estágios do ciclo de vida do projeto, construção, operação e descomissionamento. O Código de Prática contém objetivos, princípios e exigências mínimas para a boa prática, visando assegurar que nenhum risco inevitável, problemas e/ou irregularidades sejam deixados às gerações futuras. É recomendado um processo de gerenciamento e melhoria contínua durante todo o ciclo de vida. O Código de Prática requer que cada barragem contenha uma Classificação de Segurança e Ambiental.

Em termos de segurança, cada barragem é classificada como tendo um perigo de segurança elevado, médio ou baixo. Em termos ambientais, a barragem é classificada quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos espaciais potenciais, e considerados como "significativo" ou "não significativo". Estas classificações determinam as exigências mínimas para a investigação, projeto, construção, operação e descomissionamento da barragem.

O Departamento de Minas e Energia é responsável pela implementação da regulamentação. Regulamentações Governamentais da Mineração ganharam força em 1976 exigindo uma borda livre de 0,5 m a ser mantida em todas as situações nas barragens de contenção de rejeitos, com previsão de ocorrência de chuvas de cem anos sem o risco de transbordamento (PENMAN, 2001).

### **3.8 Considerações sobre legislação e regulamentação de barragens convencionais e de contenção de rejeitos: cenário nacional**

No Brasil, o Ministério da Integração Nacional, juntamente com a Agência Nacional de Águas (ANA) e com a Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica (SIH), vem colocando em prática ações para prevenir e minimizar os riscos de acidentes com barragens em todo o país. Em parceria com estados, municípios e proprietários, o Governo Federal faz levantamento para

acompanhar permanente e sistematicamente a situação dessas obras, já concluídas ou em andamento. Órgãos da administração federal, governos estaduais e agentes da iniciativa privada participam do processo de cadastramento e avaliação da situação das construções.

Os dados técnicos reunidos no levantamento sobre a situação das barragens no país orientam a adoção de providências para a melhoria da segurança das obras. O Governo Federal faz o trabalho de prevenção em consonância com o Artigo 21 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), que estabelece como competência da União o planejamento e a promoção da defesa permanente contra calamidades públicas e, ainda, com base nos Artigos 1º e 2º do Decreto nº 5.376 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a organização do Sistema Nacional de Defesa Civil.

A Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, do Ministério da Integração Nacional, e o Núcleo de Gestão da Informação, da ANA, acompanham o levantamento e fazem o cadastramento dos dados técnicos sobre as barragens por meio de formulário eletrônico através do site [www.ana.gov.br/cnb](http://www.ana.gov.br/cnb).

As barragens objeto de comunicação prioritária à SIH são: as que apresentem riscos inaceitáveis em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, decorrentes de mau funcionamento da barragem ou de sua ruptura; altura do maciço maior ou igual a quinze metros, contada do nível do terreno natural à crista; capacidade total do reservatório maior ou igual a cinco milhões de metros cúbicos; reservatório que contenha resíduos tóxicos.

Para situações de risco elevado e de acidente iminente, os órgãos municipais e estaduais de defesa civil, bem como a Secretaria Nacional de Defesa Civil, deverão ser imediatamente alertados. Essa providência deve, inclusive, anteceder o envio das informações à ANA por meio do formulário eletrônico.

A construção de barragens sujeitas a licenciamento ambiental conforme Resolução 237 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1997) exige grande conhecimento técnico e obediência a criteriosas normas de segurança que vão desde a elaboração do projeto à execução e manutenção das obras, exigindo assim, cautela com relação à escolha de profissionais, instalações, matéria-prima, equipamentos a serem utilizados tanto na execução como manutenção do empreendimento, sendo que as companhias seguradoras poderão atuar de forma efetiva na fiscalização do cumprimento das medidas necessárias de segurança.

Em resposta aos acidentes ocorridos, as discussões a respeito da segurança das barragens de contenção de rejeitos aumentaram, culminando em diversos projetos de leis (alguns já em fase final de aprovação no Congresso Nacional), citados a seguir.

### **3.8.1 Projeto de Lei nº 1.181 (BRASIL, 2003)**

Este Projeto de Lei, redigido por deputados federais, em conjunto especialistas do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e de outras entidades ligadas ao tema, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNIB), coordenado pelo Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB), o qual atuará como organismo de articulação entre os órgãos licenciadores de barragens no país para divulgação de informações, padronização da classificação de barragens, estabelecimento de planos de segurança, planos de ação emergencial, registros de acidentes, estabelecimento de responsabilidades, dentre outras ações.

O projeto abrange barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, estabelecendo parâmetros mínimos que devem servir de base para estudos e projetos, tais como: previsão de enchentes com período de recorrência mínimo de cem anos; estudo geotécnico da área prevista para implantação, previsão de sistema de extravasão compatível com a vazão máxima de enchente; verificação das condições de estabilidade sob as piores condições previsíveis; detalhamento de fundações, aterros e demais estruturas que comporão a obra.

A Política, que abrangerá todas as fases de implementação de uma barragem, exige que os estudos e projetos sejam elaborados e tenham como responsáveis técnicos profissionais de nível superior em situação regular com os respectivos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREAs. A proposição estabelece como obrigações para os proprietários ou responsáveis legais de barragens de cursos de água e de aterros de contenção de resíduos industriais a manutenção de registros diários de níveis mínimos e máximos, registros mensais de volumes e características químicas e físicas dos rejeitos e de níveis de contaminação do solo e do aquífero subterrâneo do entorno, além de elaboração de relatório anual que ateste a segurança dos mesmos, firmado por engenheiro civil em dia com o CREA.

As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A classificação por categoria de risco - em



alto, médio ou baixo - será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento do plano de segurança da barragem. Já a classificação por categoria de dano potencial associado à barragem irá considerar o potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Dentre os instrumentos de controle instituídos pelo Projeto de Lei, reportado pelo Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2004 *apud* AFFONSO, 2004), destacam-se:

- Classificação das barragens por categorias de risco;
- Elaboração, por parte do proprietário da barragem, de projeto final como construído (*as built*);
- Plano de operação e manutenção da barragem, que deve compreender a definição da equipe de manutenção, a capacidade técnica dos profissionais envolvidos, a identificação dos instrumentos empregados e os manuais de procedimento;
- Vistorias anuais que consistem na verificação visual das condições de segurança da barragem por equipe especializada;
- Inspeções de segurança, conduzidas por engenheiro civil, para verificação da estabilidade e condição de segurança da barragem, cuja periodicidade será determinada pelo CNSB de acordo com a categoria de risco da barragem;
- Revisões de segurança, realizadas por empresa sem vínculo com o proprietário da barragem, observada a periodicidade máxima de 10 anos para barragens classificadas como de risco muito baixo. A periodicidade e o conteúdo mínimo da revisão de segurança também serão estabelecidos em função da categoria de risco da barragem;
- A implantação de barragens somente será permitida caso o processo esteja instruído por estudos e projetos que contemplem as normas aplicáveis e que detalhem o plano de monitoramento da obra por intermédio de instrumentação e inspeção visual.

### **3.8.2 Projeto de Lei nº 4.038 de 2004 e Projeto de Lei nº 436 de 2007**

O Projeto de Lei nº 4038 foi proposto pela Deputada Ann Pontes em 2004 para tornar obrigatória a contratação de seguro contra o rompimento de barragens de cursos de água, para cobertura de danos físicos, inclusive morte, e prejuízos materiais às pessoas físicas e jurídicas domiciliadas nas respectivas jusantes.

Segundo a autora, este projeto se aplicaria às barragens de cursos de água, em todo o território nacional, cujo rompimento poderia provocar a inundação de áreas urbanas ou rurais habitadas ou utilizadas para quaisquer fins de natureza econômica, inclusive de subsistência; e às barragens destinadas à contenção de rejeitos industriais e de esgotos sanitários, cujo rompimento poderia provocar poluição ou contaminação de cursos de água, do solo e de aquíferos subterrâneos.

Em 2007, outro Projeto de Lei nº 436, de mesmo objetivo, foi apresentado pela Deputada Elcione Barbalho, pelo fato do projeto anterior ter sido arquivado nos moldes do Art. 105 do Regimento Interno da Câmara dos Deputados.

De acordo com a autora, a contratação de seguro traz uma série de vantagens adicionais, além da maior facilidade de indenização. As companhias seguradoras irão atuar como auditoras e fiscais, vigiando para que os projetos sejam elaborados e as obras sejam executadas de acordo com a técnica adequada e a manutenção das barragens seja efetivamente realizada.

Como os prêmios de seguros são avaliados de acordo com o risco, os custos serão tão menores quanto maior for a segurança das barragens seguradas, o que incentivará que obras sejam cada vez mais estáveis e bem mantidas.

A proposta contempla tanto as barragens de cursos de água, em todo o território nacional, cujo rompimento possa provocar a inundação de áreas urbanas ou rurais, quanto àquelas destinadas à contenção de rejeitos industriais e de esgotos sanitários, cujo rompimento ofereça riscos de poluição ou contaminação da água e do solo.

A contratação de seguro proporcionará maior facilidade de indenização, visto que os levantamentos de responsabilidades e as indenizações acabam se perdendo em meio às burocracias e procrastinações dos processos judiciais.

Este projeto de lei também trata dos seguintes aspectos:

- Tornar a obrigação de contratação de seguro não só contra o rompimento, mas também contra os vazamentos ocorrido nas barragens;
- Realização de levantamento e cadastramento, pelo Poder Público através do órgão competente, de todas as barragens já construídas, independente de seu porte;

- Estipular um prazo para que os proprietários de barragens já construídas possam fazer o seguro da obra;
- Estabelecer que o seguro cubra os danos causados ao meio ambiente e ao patrimônio público;
- Extensão da obrigatoriedade do seguro às barragens de contenção de rejeitos que acumulem resíduos tóxicos e não somente àquelas destinadas à contenção de rejeitos industriais.

### **3.8.3 Deliberação Normativa nº 62 (COPAM, 2002)**

Em Minas Gerais, como resposta a acidentes de ruptura de barragens ocorridos, foi criada em 2002 a Deliberação Normativa nº 62 (COPAM, 2002), aprovada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Esta DN dispõe sobre os critérios de classificação quanto ao potencial de dano ambiental de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e mineração no estado de Minas Gerais, considerando a necessidade de desenvolver mecanismos específicos para a segurança na implantação, construção, operação e descomissionamento dessas barragens por parte dos empreendedores.

De acordo com o Artigo 2º desta DN, os parâmetros para classificação de uma barragem são:

a) Altura do maciço (H), em metros

b) Volume do reservatório (Vr), em metros cúbicos

c) Ocupação humana a jusante da barragem, à época do cadastro, em três níveis:

i - Inexistente: se não existem habitações na área a jusante da barragem;

ii - Eventual: significa que não existem habitações na área a jusante da barragem, mas existe passagem ou locais de permanência eventual de pessoas;

iii - Grande: significa que existem habitações na área a jusante da barragem e, portanto, vidas humanas serão atingidas ou que a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados como Classe I - Perigosos ou Classe II - Não Inertes, segundo a norma NBR

10.004 (ABNT, 1987<sup>1</sup>), ou outra equivalente que vier sucedê-la.

d) Interesse ambiental da área a jusante da barragem, em três níveis:

i - Pouco significativo: quando a área a jusante da barragem não representa área de interesse ambiental relevante ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais;

ii - Significativo: quando a área a jusante da barragem apresenta interesse ambiental relevante.

iii - Elevado: quando a área a jusante da barragem apresenta interesse ambiental relevante e a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados como Classe I - Perigosos ou Classe II - Não Inertes, segundo a norma NBR 10.004 (ABNT, 1987), ou outra equivalente que vier sucedê-la.

e) Instalações na área a jusante da barragem, em três níveis:

i - Inexistente: quando não existem quaisquer instalações na área a jusante da barragem;

ii - Baixa concentração: quando existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem;

iii - Alta concentração: quando existe grande concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de grande relevância sócio-econômico-cultural na área a jusante da barragem.

O Artigo. 3º desta DN estabelece que as barragens sejam classificadas em três categorias, conforme abaixo, considerando-se o somatório dos valores (V) de cada um dos parâmetros de classificação definidos no Artigo 2º desta Deliberação:

I - Classe I: quando o somatório dos valores for menor ou igual a dois ( $V \leq 2$ );

II - Classe II: quando o somatório dos valores for maior que dois e menor ou igual a quatro ( $2 < V \leq 4$ );

III - Classe III: quando o somatório dos valores for maior que quatro ( $V > 4$ ).

---

<sup>1</sup> Existe uma versão mais atualizada da NBR 10.004, do ano de 2004.

A periodicidade da realização da auditoria técnica de segurança de barragem, estabelecida pela DN 62 (COPAM, 2002), é realizada de acordo com a classe de potencial de dano ambiental que a barragem se enquadra, como apresentado a seguir:

- Classe I (baixo potencial de dano ambiental): a cada 3 anos.
- Classe II (médio potencial de dano ambiental): a cada 2 anos.
- Classe III (alto potencial de dano ambiental): a cada 1 ano.

### **3.8.4 Deliberação Normativa nº 87 (COPAM, 2005)**

No intuito de aperfeiçoar os trabalhos de classificação desenvolvidos, foi publicada a Deliberação Normativa nº 87 (COPAM, 2005), que altera e complementa a Deliberação Normativa nº 62 (COPAM, 2002). As principais alterações incluídas nessa norma foram os critérios de classificação, a inclusão e aperfeiçoamento de definições técnicas, a exigência de realização de auditoria técnica de segurança e a edição de formulário para cadastro de barragens versão 2005 (Anexo I).

A alínea “c” do Artigo 2.º da DN 62 (COPAM, 2002) passa a vigorar com a seguinte redação, incluindo uma categoria para ocupação humana a jusante:

c) Ocupação humana a jusante da barragem, à época do cadastro, em quatro níveis:

i. Inexistente: não existem habitações na área a jusante da barragem;

i.i. Eventual: significa que não existem habitações na área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal ou rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas (exemplo: indústria, mina operante, planta de beneficiamento, escritórios, etc.);

i.i.i. Existente: significa que existem habitações na área a jusante, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas, sendo que a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT;

i.v. Grande: significa que existem habitações na área a jusante, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas, com o agravante de que a barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados como Classe I – Perigosos ou Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10.004/2004 da ABNT.

Conforme o disposto na DN 87 (COPAM, 2005), a classificação das barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água quanto ao potencial de dano ambiental é uma forma indireta de avaliar a magnitude dos impactos ambientais causados por um possível acidente em uma barragem.

Os critérios de classificação fundamentam-se nos cinco parâmetros do artigo 2º (COPAM, 2002), apresentados no item 3.8.3 deste capítulo, sendo dois técnicos, relacionados ao porte da barragem e do reservatório, e três ambientais que abrangem as características físicas e sócio-econômicas da área de influência localizada a jusante da estrutura. Para a classificação das barragens, cada parâmetro relacionado na Tabela 3.5 recebe uma pontuação (V) de acordo com as características da barragem. O somatório destes parâmetros indica a classificação do potencial de dano ambiental da barragem.

Após a classificação, os empreendedores devem tomar providências para adequar os procedimentos de segurança em cada barragem, com prazos definidos para implementação, visando à minimização do potencial de dano ambiental inerente a essas estruturas.

**Tabela 3.5 – Critérios para classificação de dano ambiental das barragens**

<b>Altura da barragem H (m)</b>	<b>Volume do reservatório (x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ocupação humana a jusante</b>	<b>Interesse ambiental a jusante</b>	<b>Instalações na área de jusante</b>
H < 15 V=0	Vr < 0,5 V=0	Inexistente V=0	Pouco significativo V=0	Inexistente V=0
15 ≤ H ≤ 30 V=1	0,5 ≤ Vr ≤ 5 V=1	Eventual V=2	Significativo V=1	Baixa concentração V=1
H > 30 V=2	Vr > 5 V=2	Existente V=3	Elevado V=3	Alta concentração V=2
-	-	Grande V=4	-	-

Fonte: Modificado de COPAM (2005).

Sendo,

Classe I:  $\sum V \leq 2$  (Baixo potencial de dano ambiental) – inspeção a cada três anos;

Classe II:  $2 < \sum V \leq 5$  (Médio potencial de dano ambiental) – inspeção a cada dois anos;

Classe III:  $\sum V > 5$  (Alto potencial de dano ambiental) – inspeção a cada ano.

### **3.8.5 Deliberação Normativa nº 113 (COPAM, 2007)**

Esta DN estabelece que os empreendimentos que possuem barragens de contenção de rejeitos ou de resíduos devem, todos os anos, no período de 1º de outubro a 30 de abril, apresentar ao Comitê Gestor de Fiscalização Ambiental Integrada (CGAFI) do Sistema Estadual de Meio Ambiente (SISEMA), declarações periódicas atestando as condições de segurança das estruturas em relação aos riscos de eventuais acidentes.

A declaração deve ser elaborada pelo responsável técnico pela operação da barragem, atestando as condições de segurança das estruturas relativamente aos riscos de eventuais acidentes ocasionados por eventos fortuitos ou de força maior.

A periodicidade do envio das declarações será:

I - quinzenal, para as barragens sem garantia de estabilidade, conforme relatório de auditoria técnica de segurança elaborado em 2006 e 2007;

II - mensal, para as barragens consideradas estáveis, conforme relatório de auditoria técnica de segurança elaborado em 2006 e 2007.

A publicação da DN 113 é uma iniciativa da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) para garantir à sociedade informações seguras e atualizadas sobre as condições dessas estruturas, com maior controle e rigor em relação ao monitoramento e fiscalização.

### **3.8.6 Aplicação da legislação em barragens de contenção de rejeitos de Minas Gerais**

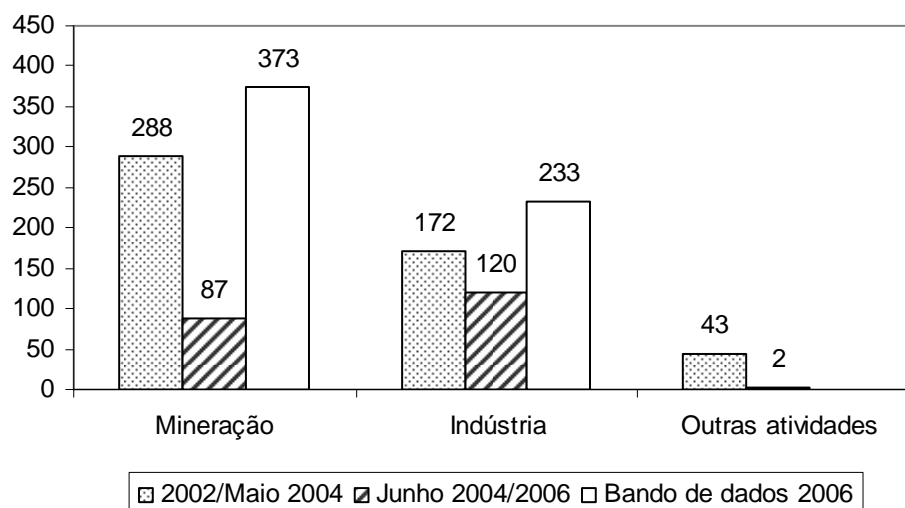
Em Minas Gerais, a FEAM realiza um trabalho de cadastramento e classificação de potencial de dano ambiental das barragens seguindo parâmetros da DN 62 (COPAM, 2002), DN 87 (COPAM, 2005) e DN 113 (COPAM, 2007). De acordo com a classificação do potencial de dano ambiental, são estabelecidos prazos (um, dois ou três anos) para realização de auditorias periódicas nas barragens, realizadas por consultor externo ao quadro de funcionários da empresa. Os relatórios das auditorias devem levantar as condições físicas e estruturais das barragens e atestar se as mesmas apresentam condições seguras de estabilidade. Caso não apresentem, o relatório deve conter um plano de ações com prazo para implantação de melhorias, a fim de corrigir as falhas e garantir a estabilidade das estruturas.

Os dados levantados a seguir foram apresentados no relatório de barragens publicado em março de 2007 pela FEAM, intitulado de “Evolução das ações de gestão de barragens de

contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água em empreendimentos industriais e minerários no estado de Minas Gerais” (FEAM, 2007).

Em 2006 foram cadastradas 606 barragens, sendo 373 em minerações (62 %) e 233 em indústrias (38 %). Dentre estas barragens, 28 % são de Classe I; 41 % de Classe II e 31 % de Classe III.

Conforme a Figura 3.5, em 2006 houve uma mudança significativa na distribuição do número de barragens por classe, comparativamente ao levantamento de 2004, onde 60 % das estruturas eram de alto potencial de dano ambiental. Essa alteração está associada principalmente à revisão dos critérios de classificação, conforme estabelecido na DN 87 (COPAM, 2005), que definiu pontuação diferenciada para o critério ocupação humana a jusante.



**Figura 3.5** – Distribuição das barragens cadastradas por tipo de atividade.

Fonte: Modificado de FEAM (2007).

Conforme apresentado na Tabela 3.6, nas minerações há uma equivalência entre o número de barragens de alto (36 %) e médio (36 %) potencial de dano ambiental, enquanto na indústria predomina a Classe II (50 %).

**Tabela 3.6** – Número de barragens em mineração e indústria por classe de dano ambiental

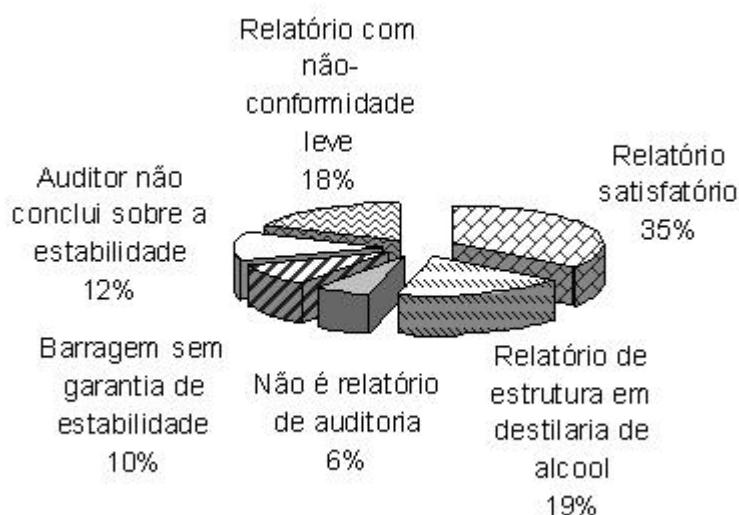
Tipo de Estrutura	Barragens em mineração	Barragens em indústrias	Total
Barragem Classe I	106	62	168
Barragem Classe II	134	117	251
Barragem Classe III	133	54	187
<b>Total</b>	<b>373</b>	<b>233</b>	<b>606</b>

Fonte: Modificado de FEAM (2007).



Embora não tenham sido definidos itens específicos na DN 87 (COPAM, 2005) a constarem no relatório técnico de auditoria de segurança, o conteúdo mínimo considerado pela FEAM incluiu laudo técnico sobre a segurança da barragem, recomendações de medidas corretivas necessárias para aumentar a segurança da estrutura, com respectivo cronograma de implantação e a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do auditor.

De acordo com FEAM (2007), conforme Figura 3.6, 54 % dos relatórios recebidos foram considerados satisfatórios, incluindo aqueles relativos às estruturas localizadas em destilarias de álcool, enquanto que para 40 % foram solicitadas complementações de informações e 6 % dos documentos protocolizados não foram considerados relatórios de auditoria técnica de segurança.



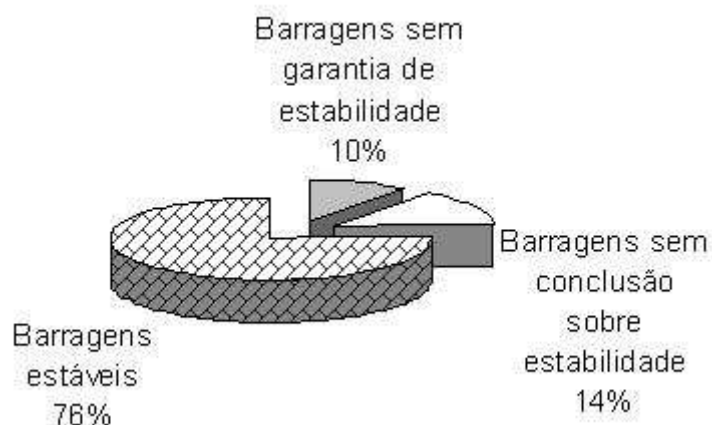
**Figura 3.6** – Resultado da avaliação inicial dos relatórios de auditoria técnica de segurança de barragens.

Fonte: Modificado de FEAM (2007).

De acordo com FEAM (2007), a compilação dos dados permitiu observar que o conteúdo do relatório de auditoria associa-se à própria condição de trabalho encontrada pelo auditor, ou seja, a existência ou não de documentação técnica sobre a barragem, dados de monitoramento anteriores e a própria situação de acesso e manutenção da estrutura. Houve uma grande incidência de barragens com deficiência de documentação técnica (projetos, plantas topográficas, medições, etc), fato que exigiu dos auditores estudos e levantamentos complementares para elaboração de um laudo conclusivo sobre a segurança.

Com relação à conclusão do auditor quanto às condições de estabilidade da estrutura, conforme indicado na Figura 3.7, 76 % das barragens auditadas apresentam-se estáveis e em 10 % do total não foi garantida a estabilidade da estrutura. Acrescenta-se, ainda, que em 14 % das barragens o auditor não concluiu sobre a estabilidade principalmente devido à falta de

dados técnicos e de monitoramento.



**Figura 3.7** – Conclusões do auditor sobre as condições das barragens auditadas.

Fonte: Modificado de FEAM (2007).

Para os relatórios satisfatórios ou com não-conformidades leves solucionadas, a notificação ao empreendedor solicitou a implantação das recomendações do auditor conforme cronograma proposto, ou de imediato no caso de ausência de cronograma, e a apresentação de relatório técnico-fotográfico semestral das ações implementadas.

Merece destacar, dentre as mais frequentes recomendações do auditor, aquelas relacionadas à adequada manutenção da estrutura de forma a mantê-la em baixo risco operacional, tais como limpeza dos taludes e áreas circundantes, otimização do sistema de monitoramento existente com ampliação do número e tipos de equipamentos, além de pequenas intervenções como melhoria na condução das águas pluviais.

Quanto às barragens cujo relatório não apresentou conclusão sobre a sua estabilidade, num total de 74 estruturas, principalmente devido à falta de dados técnicos, foi solicitada complementação no que se refere à avaliação do auditor sobre a adequação da instrumentação existente para monitoramento da estrutura, bem como a necessidade de instalação de novos pontos de controle de modo a conferir grau de estabilidade mínimo à barragem. Em atendimento à solicitação da FEAM, os empreendedores apresentaram conclusão, bem como planos de ações corretivas para adequação da segurança dessas estruturas, que foram liberados para implantação.

Não foi garantida a estabilidade de 55 barragens, das quais 27 (49 %) enquadram-se na Classe III, 20 (36 %) na Classe II e as restantes na Classe I. Para essas estruturas foi solicitada a comprovação imediata da implementação das ações/procedimentos recomendados pelo auditor de forma que a estrutura apresente nível de segurança adequado, com Anotação de

Responsabilidade Técnica do responsável pela implementação das ações, bem como do responsável pela operação da estrutura.

A auditoria técnica de segurança objetiva reduzir a probabilidade da ocorrência de acidentes a partir do monitoramento sistemático da estrutura. Os proprietários dos empreendimentos são responsáveis pela manutenção das condições de segurança da estrutura, com a coresponsabilidade do auditor. Cabe à FEAM efetuar as fiscalizações nos empreendimentos para verificar o cumprimento das recomendações apontadas pelo auditor, de forma a manter as barragens operando em nível de segurança adequado.

### **3.9 Gestão da segurança em barragens de contenção de rejeitos**

#### **3.9.1 Gerenciamento de risco**

O processo de gerenciamento de risco envolve a implantação da avaliação de risco para verificar as formas potenciais de ruptura e consequência, o plano de gerenciamento de risco para reduzir os riscos no projeto ou operação, e um plano de contingência para desenvolver uma resposta ótima em cenários de rupturas. Todas as estruturas possuem algum grau de risco, mesmo depois da implantação do plano de gerenciamento de risco. Um plano de contingência é requerido para identificar os riscos que não podem ser eliminados, identificando e mitigando danos, responsabilidades, notificações, resposta a emergências, monitoramento e resposta técnica.

Segundo Bowles *et al* (1998), o reconhecimento do papel do gerenciamento de risco na avaliação da segurança de barragens de contenção de rejeitos está crescendo com a identificação dos riscos associados e a aplicação de fatores compensatórios para reduzir o risco. As principais áreas dos fatores compensatórios incluem:

- Projeto: obra civil para aumentar a segurança e uso de técnicas e estudos adicionais sobre o meio ambiente para aumentar o nível de confiança na avaliação;
- Segurança: inclui sistema de segurança ativa e passiva para proteger a população e os processos operacionais;
- Sistema de monitoramento e inspeção: permitem resposta prévia às mudanças e identifica condições que devem ser alteradas ao longo dos ciclos de vida da estrutura. Isso inclui os requerimentos para assegurar o controle da qualidade através das operações;
- Programa de manutenção: inclui manutenção das estruturas de gestão da água, captação e

tratamento, estrada de acesso, dentre outros;

- Gestão: inclui requerimentos de supervisão, treinamentos, registros, garantias da população.

Como qualquer estrutura teoricamente capaz de romper por uma catástrofe, as barragens de contenção de rejeitos requerem plano de contingência para casos de possível acidente. Como os acidentes com rejeitos podem envolver consequências negativas tanto para pessoas quanto para o meio ambiente, ambos aspectos devem ser considerados. Em complemento às exigências pelo suporte de equipamentos é necessário ter a clara comunicação e planos de resposta para gestão das estruturas.

Planos de resposta à emergência necessariamente exigem que as comunidades potencialmente afetadas compreendam o que fazer em caso de acidente. A ansiedade pública depois de um derramamento de rejeito é reduzida se antes do acidente forem compreendidas as reais consequências. Este entendimento é impossível de alcançar depois de um incidente porque a capacidade de aprender diminui com altos níveis de ansiedade, e com baixo nível de confiança do momento.

Um público informado irá inicialmente questionar a aceitabilidade de qualquer imposição externa de risco. É comum para a companhia empreender todo o gerenciamento de riscos e isso pode ser uma ferramenta de muito valor para incorporar os atores sociais ao processo permitindo que a comunidade potencialmente afetada participe das organizações das respostas para melhor entender os aspectos e preparar planos de emergência mais eficazes (MCLEOD & PLEWES, 1999).

O processo de implementação das decisões associado com a avaliação, tolerância e redução dos riscos podem ser utilizados na gestão da segurança. Proprietários e operadores possuem necessidades específicas e a responsabilidade de formular procedimentos de gestão de segurança. Abordagens técnicas e gerenciais devem ser utilizadas para aumentar a segurança e reduzir o risco. A segurança contínua do dia-a-dia de um sistema de barragens de contenção de rejeitos vai depender de alguma forma do método de observação envolvido na inspeção e monitoramento, usando instrumentação adequada para revelar condições internas.

O aumento na segurança é alcançado com o aumento nos custos, e um balanço deve ser feito entre a relação custo / benefício. Os custos efetivos para a diminuição do risco envolvem a definição de um nível de risco aceitável, reduzindo o risco de rompimento em valores

aceitáveis e com a implementação de um procedimento de gestão de emergência para assegurar que não haverá perda de vida com o rompimento da barragem. As abordagens para a redução do risco para os sistemas de barragens de contenção de rejeitos podem incluir melhorias estruturais, melhoria nas inspeções, monitoramento e manutenção. As abordagens para redução do risco a jusante incluem a preparação de mapas de inundação, a estimativa do tempo de chegada da onda da cheia em diferentes locais, a duração da inundação, a implementação e manutenção de procedimentos e sistemas para advertência de emergências.

A ruptura de uma barragem de contenção de rejeitos e a liberação incontrolada dos resíduos pode ocasionar sérias consequências para a segurança pública, meio ambiente e para o proprietário ou operador. Atualmente, o foco da atenção pública tem crescido mais nos problemas relativos à segurança e aos danos que podem afetar um grande número de pessoas de imediato, que em simples perigos diários que podem causar mais mortes, considerando situações em longo prazo.

Algumas dessas consequências incluem custos para reparo ou reconstrução da barragem, efeitos na operação da estrutura pela perda temporária de armazenamento dos rejeitos e danos ambientais, em que o vazamento de uma quantidade substancial de resíduos materiais pode afetar uma grande área a jusante, principalmente se o resíduo for tóxico. Também há riscos associados com eventos incrementados em longo prazo, como a aerodispersão de particulados, drenagem ácida, contaminação do lençol freático, deslizamentos de terra e instabilidade do terreno.

A segurança das barragens resulta da supressão de todas as condições que possam conduzir à sua deterioração ou à sua destruição. O fato de não se terem detectado anomalias durante um longo período não significa necessariamente uma prova de segurança. Uma vigilância contínua e rigorosa, com verificação dos dados de projeto e operação, constitui uma base segura com vista à proteção da barragem contra os riscos de ruptura.

As barragens de contenção de rejeitos apresentam dois tipos significativos de riscos ambientais potenciais em longo prazo: o risco de falha da estrutura e o risco da poluição.

Visto que alguns riscos aumentarão, outros diminuirão ou remanescerão com o tempo, os eventos naturais, tais como inundações, terremotos ou os deslizamentos de terra adicionam riscos e incertezas em longo prazo. Identificar a combinação dos fatores que contribuem ao risco é importante ao considerar toda a estratégia em longo prazo da gestão de risco para uma

barragem de contenção de rejeitos.

No caso de ruptura destas estruturas, devem-se considerar as consequências com prejuízos diretos, como a perda de vidas humanas e os danos materiais na estrutura e nas áreas inundadas. Há ainda que considerar os prejuízos indiretos, resultantes da interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas e da impossibilidade de exploração dos recursos hídricos. A determinação exata do valor total dos prejuízos é de difícil estimativa, se não mesmo impossível, principalmente no que se refere a avaliar valores de vidas perdidas (FONTENELLE, 2007).

Também deve ser compreendido que não é possível atingir uma garantia absoluta de segurança. Para cada barragem há um conjunto de cenários de deterioração que têm maior probabilidade de desenvolver-se e, para cada um deles, subsiste sempre certo risco de ocorrência de um acidente ou incidente (VIEIRA, 2005).

De acordo com BRASIL (2002) a segurança de uma barragem é definida como a condição em que a ocorrência de ameaças impostas à vida, à saúde, à propriedade ou ao meio ambiente se mantém em níveis de risco aceitáveis; ou ainda, como a capacidade da mesma para satisfazer as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes que reflitam nos aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais. O risco de acidentes destas estruturas está associado quase sempre a catástrofes.

Além da possibilidade da perda de vidas humanas, a ruptura de uma obra hídrica resulta em destruição de patrimônio, danos ao meio ambiente e interrupção de serviços públicos (MENESCAL *et al*, 2005).

Os diferentes fatores capazes de afetar a segurança das barragens podem também ser classificados em três grandes grupos (PEDRO, 2000):

- Fatores estruturais, ligados à resistência e estabilidade das obras;
- Fatores hidráulico-operacionais, ligados ao funcionamento dos órgãos de segurança e exploração e respectivos equipamentos;
- Fatores ambientais, sociais e econômicos, ligados ao impacto sobre as populações, os sistemas produtivos, o meio terrestre, a água, a fauna e a flora.

MEDEIROS (1999) acrescenta a esses fatores a segurança financeira, aquela capaz de garantir o retorno do investimento sob forma de desenvolvimento, sendo que a aprovação da licença de operação de empreendimentos irá depender da garantia financeira com recursos necessários à efetiva implantação dos planos direcionados ao descomissionamento das barragens.

Outro ponto importante em relação à segurança de barragens é a ocorrência de deterioração a qual pode ser reduzida por intermédio de adequadas medidas preventivas de projeto, construção e operação, bem como de conservação e manutenção. As obras devem ser inspecionadas e observadas ao longo da vida, de modo a permitir o controle das suas condições de segurança e operacionalidade. Estas ações podem ser classificadas em: estruturais, consistindo de obras de recuperação e reforço; e não-estruturais, constituídas por inspeções formais de barragens através de *check-lists*, treinamento de gerentes e técnicos (capacitação), monitoramento das instrumentações instaladas nas barragens (piezômetros e medidores de vazão pelo maciço e fundação), plano de ação de emergência, etc. (FONTENELLE, 2007).

Para selecionar os critérios associados a eventos extremos, pode-se utilizar uma consideração baseada no risco. O princípio é que uma barragem, cuja ruptura possa causar um dano excessivo ou a perda de muitas vidas, deve ser projetada para um padrão de segurança proporcionalmente mais alto que o de uma barragem cuja ruptura resultaria em menor dano ou menor perda de vidas (FONTENELLE, 2007).

Nos últimos vinte anos, multiplicaram-se as ações no âmbito do tema da segurança das barragens, principalmente, nas atividades de desenvolvimento e melhoria da legislação em muitos países, sob a forma de recomendações, normas e regulamentos nacionais. Atualmente, de acordo com Menescal *et al* (2005), o arcabouço legal sobre o tema segurança de barragens ainda está em fase de consolidação. As barragens são regulamentadas de forma setorial (recursos hídricos, meio ambiente, energia e mineração) o que tem causado alguns problemas de padronização e definição de responsabilidades, dificultando o gerenciamento destas estruturas.

### **3.9.2 Responsabilidades relativas à segurança das barragens de contenção de rejeitos**

As responsabilidades para a segurança de barragens são compartilhadas por diferentes atores, tais como proprietários, operadores, projetistas (e construtores), legisladores e entidades

envolvidas. As partes interessadas devem estar envolvidas durante todo o ciclo de vida de uma barragem.

#### 3.9.2.1 Proprietários de barragem

A primeira responsabilidade para a segurança de uma barragem é do proprietário, incluindo a realização de monitoramento apropriado, manutenção e provisão para medidas preventivas, corretivas e de emergência. O proprietário deve assegurar que a barragem seja projetada por um profissional competente e experiente, além disso, deve reconhecer a importância dos bons princípios e práticas de gestão.

A gestão responsável pode envolver grandes custos, mas as despesas são incomparavelmente mais elevadas, se a estrutura de contenção de rejeitos falhar e causar danos aos seres humanos e ao meio ambiente. O proprietário deve implementar meios de detecção e, se possível, reparar os problemas que podem ocorrer nas barragens, além de ser obrigado a estar familiarizado com os regulamentos a respeito de barragem, e, em sua própria iniciativa, assegurar que os mesmos sejam cumpridos.

O proprietário deve incentivar a pesquisa contínua de projetos que visam produzir menores perdas e garantir a estabilidade física e química dos depósitos de rejeitos. Submeter o projeto a checagem por profissionais independentes e dar séria consideração à revisão como parte do processo de vistoria periódica, reconhecendo que isto será um meio para construção da verdade entre os legisladores e a população.

Uma tendência em termos do gerenciamento de barragens de contenção de rejeitos é que as companhias de mineração em geral estão conduzindo o caminho para melhorar o estado da prática e, compartilhar a publicação das informações com as indústrias.

De acordo com Swiki (1997), muitas companhias de mineração no Canadá estão estabelecendo políticas corporativas e procedimentos para assegurar que todas as partes envolvidas no gerenciamento das barragens de contenção de rejeitos (dos operários à alta direção) entendam claramente suas regras e responsabilidades. Tal entendimento e conhecimento são tão importantes que os proprietários têm procedido à revisão de instalações de disposição de rejeitos onde não há nenhum conhecimento e nem delegação de responsabilidades.

As companhias têm estabelecido políticas com os respectivos graus de treinamento e



competência requerida para as várias regras envolvidas no gerenciamento das instalações de rejeitos. Isso é importante, especialmente para os operadores das barragens de rejeito, por que eles estão presentes com maior frequência nas instalações, e geralmente são responsáveis pelas inspeções da barragem. É essencial o entendimento do funcionamento, a detecção de condições desfavoráveis, e o que fazer quando estas condições forem detectadas.

Algumas companhias também estabeleceram programas formais de seguranças de barragem. Alguns desses programas incluem classificação para cada barragem em termos de consequências e potencial de ruptura, o que facilita o processo de revisão e as medidas corretivas. Esses programas podem incluir inspeção detalhada e revisão das instalações de rejeitos por especialistas, ou ainda requerer um Manual de Operação (COFFIN, 1998).

A revisão fornece uma visão objetiva do potencial, consequências, e do custo potencial de ruptura, auxiliando o proprietário a tomar decisões seguras em projetos alternativos, não se baseando apenas na redução dos custos e nos custos de operação. A revisão propicia uma adequada segurança contra sérios incidentes, devido a incorporação bem-intencionada de consultores qualificados.

#### 3.9.2.2 Projetistas

A qualificação específica para engenheiros responsáveis pelas barragens é considerada importante, entretanto, na maioria dos países ainda não há nenhuma aprovação formal, apesar de algumas exceções para cursos de especialização em Engenharia de Segurança de Barragens. Os projetistas de barragens devem ter um bom conhecimento de suas próprias habilidades e recursos, ou seja, devem conhecer seus limites e estarem certos que "não estão assumindo que poderão projetar em todos os locais apenas porque ganharam um contrato". Antes de tudo, os consultores do projeto devem ter formação e experiência adequadas aplicável ao projeto de barragens de contenção de rejeitos. Além disso, o histórico de projetos de construção e operação é de extrema importância para tais consultores (Martins, 1999).

Também são recomendados aos consultores do projeto ter uma experiência em diferentes países e companhias. *Workshops* e conferências dão oportunidade de compartilhar e recolher conhecimento de diferentes experiências.

O projetista deve participar na supervisão da barragem atuando nos estágios que mais demandam trabalho e inspecionando os registros do local. Deve também ajudar a indústria a mudar de uma abordagem de fim de linha para uma abordagem integrativa, através da

incorporação de aspectos geotécnicos e tecnologias de controle de rejeitos.

Deve ainda projetar por um descomissionamento seguro, reconhecendo a perpetuidade em longo prazo. Garantir que o seu trabalho seja em parceria com os operadores, que os requerimentos do seu projeto sejam compatíveis com os requerimentos e as capacidades dos operadores.

#### 3.9.2.3 Operadores

Os operadores das barragens têm que assegurar que a estrutura de contenção dos rejeitos tenha um Manual de Operação para a orientação na gestão dos rejeitos. Os operadores devem manter contato com projetistas e assegurar que o trabalho de projeto esteja próximo à sua participação ativa. Os operadores têm que garantir que a barragem está operada por uma equipe de funcionários qualificada e manter boa comunicação entre todos os níveis.

#### 3.9.2.4 Reguladores

O papel dos reguladores é de extrema importância para definição de práticas seguras de gerenciamento que serão adotadas e seguidas pelas companhias de mineração. Dentre o papel dos reguladores, pode-se citar:

- Estabelecer uma base de dados sobre todas as barragens de contenção de rejeitos;
- Manter sincera avaliação da performance dos dados dos proprietários e dos projetistas, compartilhando os detalhes com outras regulamentações apropriadas;
- Facilitar desenvolvimento onde os proprietários apresentaram uma revisão independente do projeto que é consistente com os critérios de projeto padrão;
- Revogar legislações que são incompatíveis com as boas práticas.

#### 3.9.2.5 Participação pública

A participação pública relaciona-se ao reconhecimento da importância da indústria mineira na sociedade moderna e para a economia dos países em desenvolvimento. Continua na expectativa de que a responsabilidade do gerenciamento ambiental é uma necessidade para a indústria de mineração e apóiam organizações não-governamentais contra empresas que praticam a degradação ambiental.

A empresa deve estar aberta para fornecer informações à comunidade, e esta deve participar ativamente, desde a fase de projeto até o descomissionamento, inclusive no que se refere à elaboração do plano de ação para emergências.

#### 3.9.2.6 Atuação de entidades envolvidas

Muitas entidades realizam pesquisas e estudos para subsidiar os projetistas e operadores com informações sobre gestão de barragens. A seguir é apresentado o trabalho de algumas entidades principais, que realizaram trabalhos sobre diversos aspectos das barragens de contenção de rejeitos.

*Mining Association of Canadá (MAC)*: Publicou um guia para o gerenciamento de estruturas de contenção de rejeitos (MAC, 1998). Esse documento, revisado por indústrias e consultores, propicia um escopo de princípios de gestão, políticas, objetivos, e *check lists* para a implementação da gestão através do ciclo de vida das barragens. Esse documento reconhece a necessidade da companhia de mineração estabelecer seus próprios programas para suas necessidades específicas. O objetivo do guia é ajudar a desenvolver uma regulamentação própria efetiva, demonstrar diligência, complementar regulamentações governamentais, praticar melhoria contínua e proteger o meio ambiente e a população.

As diretrizes da MAC enfatizam a necessidade de "fechar o ciclo" nos processos de gerenciamento, o que inclui a confirmação que gestões de ações estão sendo implementadas, e que buscam a melhoria contínua do gerenciamento estrutural. O reconhecimento do setor produtivo para a necessidade desse tipo de documento demonstra o reconhecimento que as barragens de contenção de rejeitos bem gerenciadas são estruturas seguras.

Atualmente, a MAC está preparando um documento para servir como diretrizes na preparação de manuais de Operações, Manutenção e Inspeções, representando a extensão lógica do trabalho levado em consideração no desenvolvimento das diretrizes para gerenciamento de rejeitos.

*Canadian Dam Association (CDA)*: atualizou as diretrizes para a segurança de barragens de contenção de rejeitos, focando na incorporação de elementos específicos, tais como responsabilidades, plano de emergência, escopo e frequência de revisões e inspeções, manual de operação, dentre outros (CDA, 1999).

Essas diretrizes sugerem que as barragens convencionais e as de rejeitos dividam muitos dos

mesmos critérios de projeto (por exemplo, fator segurança contra falhas e deslizamento). Entretanto, barragens de contenção de rejeitos não são barragens convencionais, e os critérios de projeto para rejeitos devem ser considerados, caso a caso, e em cada contexto.

*International Committee on Large Dams (ICOLD)*: tem publicado inúmeros materiais relacionados com barragens de contenção de rejeitos, tais como boletins e orientações sobre projeto, construção e operação, norteando projetistas e legisladores a respeito deste assunto. Alguns trabalhos publicados pela ICOLD são citados a seguir, a título de conhecimento:

- ICOLD (1982). *Manual on Tailings Dams and Dumps. Bulletin 45*;
- ICOLD (1989b). *Bibliography: Mine and Industrial Tailings Dams and Dumps. Bulletin 44*;
- ICOLD (1994). *Embankment Dams – Granular Filters and Drains. Bulletin 95*;
- ICOLD (1995a). *Tailings Dams and Seismicity – Review and recommendations. Bulletin 98*;
- ICOLD (1995b). *Tailings Dams. Transport, Placement and Decantation. Bulletin 101*;
- ICOLD (1996a). *Tailings Dams and the Environment – Review and recommendations. Bulletin 103*;
- ICOLD (1996b). *A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, construction, use and rehabilitation. Bulletin 106*;
- ICOLD (1998). *Dams less than thirty metres high — cost savings and safety improvements. Bulletin 109*;
- ICOLD (2001). *Tailings Dams: Risk of Dangerous Occurrences - Lessons learnt from practical experiences- ICOLD Bulletin 121*.

*United Nations Environment Programme (UNEP)* e *International Council on Metals and the Environment (ICME)*: estas entidades têm participado ativamente no patrocínio de seminários e publicação de estudos de casos relacionados com gerenciamento de rejeitos. As companhias de mineração fornecem a maioria das contribuições para as publicações, tornando esses fóruns um excelente meio de disseminação de conhecimento e experiência para a comunidade de mineração internacional (UNEP & ICME, 1997).

Blight (1997), no *workshop* em 1997 patrocinado pela UNEP-ICME, e Wagener *et al* (1997),

propiciaram uma discussão profunda sobre o rompimento da barragem de contenção de rejeitos de Merriespuit na África do Sul, em 1994, em que 17 pessoas perderam suas vidas. Aparte dos aspectos técnicos, essas discussões são extremamente valiosas, e raramente estão presentes na documentação sobre barragens, pois elas exploram como o gerenciamento inadequado permite que os aspectos técnicos sejam os responsáveis pela falha. Como discutido anteriormente, os fatores técnicos já são bem compreendidos. A causa técnica de cada nova falha apenas tende a reforçar os princípios já conhecidos. É o gerenciamento inadequado que permite que os fatores se manifestem causando falhas.

Frequentemente, os estudos de casos publicados sobre falhas em barragens de contenção de rejeitos focam apenas os aspectos técnicos, sem abordar as lições aprendidas em acidentes ocorridos.

Práticas gerenciais inadequadas foram os principais fatores que precipitaram as falhas em barragens de contenção de rejeitos. Até mesmo a estrutura mais bem projetada está suscetível à falhas se não for bem gerenciada. Reciprocamente, uma estrutura com um projeto mal elaborado pode obter sucesso na operação, se ocorrer boas práticas de manutenção. Um bom gerenciamento, na forma de um programa de avaliação contínua de segurança, deve de fato permitir que durante a operação seja detectada qualquer falha de projeto para corrigi-la antes que ocorra um incidente.

Comitê Brasileiro de Barragens publicou o Guia Básico de Segurança de Barragens (CBDB, 2004), que constituiu mais uma etapa vencida para consolidar o desenvolvimento da engenharia brasileira na área de segurança de barragens e possibilitou aos profissionais o acesso às informações mais recentes e, principalmente, definição de requisitos e recomendações mínimas a serem seguidos em estudos relativos à segurança das estruturas, segundo critérios uniformes e coerentes com o atual estágio do conhecimento. Assim, procurou-se através desse guia atingir os seguintes objetivos:

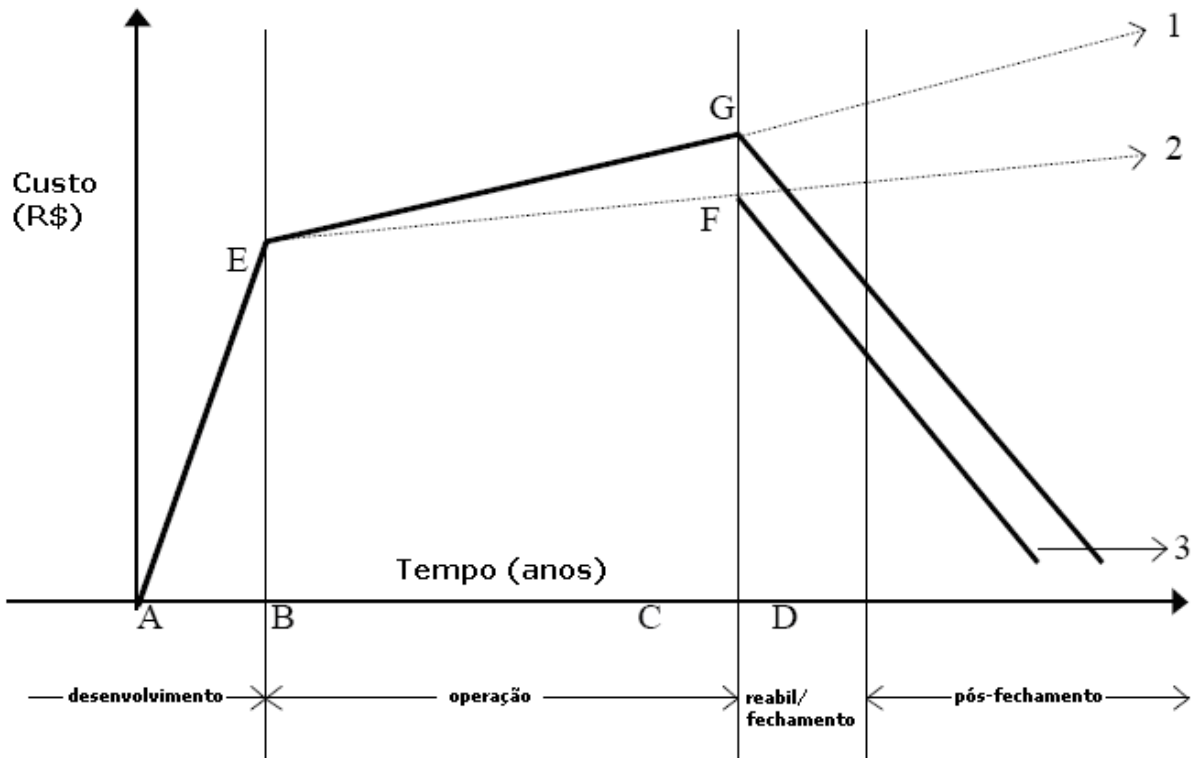
- Definir requisitos mínimos de segurança;
- Uniformizar os critérios empregados;
- Permitir supervisão consistente da segurança de barragens, de modo a conduzir à execução de melhorias que contribuam para aumentar a confiabilidade da mesma e permitam melhor avaliação do desempenho das estruturas;
- Fornecer uma base para a legislação e regulamentação da segurança de barragens, em

âmbito nacional.

### 3.9.3 Fases da gestão de segurança em barragens de contenção de rejeitos

Os vários estágios de uma mina que afetam a gestão em longo prazo de barragens de contenção de rejeitos são apresentados a seguir.

As minas que apresentam como forma de disposição as barragens de contenção de rejeitos passam por pelo menos quatro fases distintas de gestão - desenvolvimento, operação, reabilitação / fechamento e pós-fechamento. A Figura 3.8 ilustra estas fases e as mudanças no custo da reabilitação e da gestão em longo prazo sobre a vida útil da mina. Mostra como os custos contínuos, tais como aqueles de monitoramento e de manutenção na fase do pós-fechamento, podem variar dependendo da adequação da reabilitação na altura do fechamento.



**Figura 3.8** – Estágios da mina e custos potenciais de reabilitação.

Fonte: Modificado de MAC (1998).

A Figura 3.8 ilustra os custos médios potenciais sobre a época da reabilitação e do pós-fechamento em mineração que contém barragens de contenção de rejeitos, sendo:

- Data de partida, A, é a data em que os primeiros distúrbios e preparação do local para a mineração começam.

- A **fase de desenvolvimento**, AB, é o período que conduz ao começo das operações da mineração.
- A **fase de operação**, BC, é o período após o desenvolvimento do local, quando a extração do minério e dos minerais ocorrem e os rejeitos são produzidos. O cessamento da mineração e da disposição dos rejeitos ocorre em C.
- Durante a **fase de reabilitação/fechamento**, CD, a reabilitação é realizada na preparação para o fechamento do local da mina em D.
- Na **fase de pós-fechamento**, os trabalhos de reabilitação continuam até total atendimento dos critérios de descomissionamento. A manutenção das barragens de contenção de rejeitos e o monitoramento de seus efeitos ambientais podem continuar por um período indefinido.

No início das operações de mineração haverá uma obrigação para reabilitação do local no ponto E. Se nenhuma reabilitação progressiva for realizada durante todo o período operacional, o custo de reabilitação do local aumentará ao ponto G, quando as operações cessam. Se a reabilitação progressiva for realizada durante o período operacional, representado pela linha EF, o custo para reabilitar o local estará reduzido ao ponto F.

Há três níveis de custo potencial na fase de pós-fechamento, dependendo da extensão e do sucesso da reabilitação. Estes são ilustrados na Figura 3.8 como:

1 - custos de reabilitação, monitoramento e manutenção do local continuarão a aumentar se nenhuma reabilitação ocorrer antes ou durante o fechamento.

2 - ocorrerá custos, mas ligeiramente mais baixos se a reabilitação progressiva ocorrer durante a fase operacional, mas nenhuma reabilitação adicional será realizada durante o fechamento.

3 - custos contínuos do pós-fechamento (monitoramento e manutenção) serão mais baixos se a reabilitação for realizada durante o fechamento.

De acordo com os Procedimentos dos *Guidelines* de Segurança de Barragens da Nova Zelândia (NZSOLD, 2000), inspeções efetivas e contínuas na operação e manutenção são essenciais para assegurar a viabilidade e a segurança de uma barragem; o custo dos procedimentos é pequeno em relação às consequências de falhas ou dos danos da barragem causada pelo escoamento dos contaminantes. Os *guidelines* categorizam perigos da barragem em baixo, significativo e elevado. Os fatores que podem afetar o potencial do perigo incluem

a altura da barragem, o volume do material armazenado, a natureza do material armazenado, e as características geológicas e climáticas da área em que a barragem é situada. Os *guidelines* sugerem ainda que a frequência das inspeções das barragens deve ser baseada na categoria de perigo. Por exemplo, as inspeções rotineiras de barragens de perigo elevado devem ser realizadas semanalmente à mensalmente, comparada às barragens de perigo baixo que requerem somente revisão mensal.

Nem sempre a construção de uma barragem ocorre de acordo com as especificações do projeto. Assim, após a construção deve-se elaborar o projeto *as built* (como construído), que implica num trabalho contínuo de identificação de alterações verificadas em obra e do registro dessas alterações nos projetos correspondentes. Conseqüentemente, melhorias adicionais devem ser avaliadas na prática do projeto, da construção e da operação, reduzindo os riscos de incidentes no futuro (UNEP & ICME, 1997).

O projeto *as built* é importante para a atualização dos projetos finais, manutenção da edificação e pela retro-alimentação que pode ser gerada para projetos futuros, além de ser uma exigência legal de entregar aos futuros proprietários os projetos que representam necessariamente o executado. Esta exigência, no entanto, não é prática comum das empresas que se limitam a entregar o projeto aprovado.

Na maioria dos projetos, durante o andamento da construção, ocorrem mudanças na obra que diferem do projeto original e muitas vezes os projetos não são alterados para estarem de acordo com o executado. Isso pode resultar em falhas gerenciais e, conseqüentemente, em um rompimento da estrutura.

### **3.10 Metodologias para avaliação de segurança em barragens convencionais e de contenção de rejeitos**

Existem várias metodologias para classificação e avaliação da segurança de barragens, sendo algumas quantitativas e outras qualitativas.

A análise de risco é uma metodologia que objetiva estimar as probabilidades de eventos de falha e a magnitude das conseqüências resultantes (o risco é definido como o produto da probabilidade e da conseqüência), sendo empregada em diversos países com a finalidade de auxiliar na tomada de decisão em relação às atividades com potencial de afetar a segurança pública. Na avaliação de risco é possível compreender melhor o comportamento da barragem e assim priorizar ações necessárias para se dirigir aos resultados esperados.



A análise de risco pode ser qualitativa (avaliações subjetivas da probabilidade, consequência e do risco total) ou quantitativa (valores numéricos de probabilidade e custos de reparação das consequências). Uma avaliação qualitativa simples pode ser apropriada para avaliar locais potenciais para instalação do reservatório de rejeitos, visto que uma avaliação quantitativa detalhada seria mais apropriada para avaliação de modificações em uma barragem de contenção de rejeitos já existente.

As metodologias geralmente praticadas para a avaliação de risco incluem processos/sistemas, tais como listas de verificação, modelação de projetos, revisões de segurança, análise preliminar de perigo, análise "*what-if*", estudos de perigo e operabilidade (HAZOP), análise de modo e efeitos de falha (FMEA/FMECA), análise de simulação probabilística, análise da árvore de falhas e de eventos, análise de causa-consequência, análise do erro humano, dentre outros.

O termo avaliação quantitativa de risco é regida por muitas regulamentações e objetiva avaliar a frequência de um evento indesejável e a medição de sua consequência em termos do número de fatalidades e custo do dano (DISE & VICK, 2000).

Segundo Vick (1999), o processo de avaliação de risco tem muitas variáveis e abordagens. De modo geral, a análise de risco em barragens deve considerar os principais componentes da estrutura, que inclui:

- O projeto da barragem, a fundação, o grau de instrumentação e monitoramento;
- A capacidade de armazenamento diante de cheias e as estruturas vertedouras;
- A capacidade da estrutura suportar alterações das condições de operação ao longo do tempo.

Em Minas Gerais, a FEAM avalia o gerenciamento das barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais e as classifica de acordo com o potencial de dano ambiental em classes I, II ou III de acordo com a DN 87 (COPAM, 2005).

Em São Paulo, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) classifica o potencial de perigo de suas barragens baseada em como elas atendem a vários critérios. Os critérios são: importância dentro das metas de operação da companhia, dimensões, tipo de barragem, tipo de órgão de descarga, descarga de projeto e instalações a jusante. Três níveis foram estabelecidos para cada critério e cada projeto é avaliado para qual

dos níveis mais se aplica. Foram atribuídos valores numéricos para cada nível, com valores mais altos refletindo mais baixo potencial de perigo (MENESCAL *et al*, 2001).

Cada barragem é também classificada de acordo com o desempenho atual conforme medido por uma série de critérios técnicos e analíticos. Assim como para o potencial de perigo, o mais baixo valor dentro de cada critério é atribuído à barragem com o desempenho mais fraco. Os critérios são:

- Qualidade geral de dados técnicos disponíveis;
- Nível de percolação;
- Presença de deformações;
- Nível de deterioração da face da barragem e taludes;
- Evidência de erosão a jusante;
- Condição dos equipamentos de descarga.

A metodologia da SABESP adota uma classificação quanto ao comportamento diferenciado em dois contextos distintos, quais sejam aqueles definidos pela Periculosidade Potencial em que cada unidade apresenta em função de suas características de localização e de projeto, e aqueles definidos pelo seu estado real de funcionamento. No primeiro caso (periculosidade potencial), a classificação consiste numa hierarquia baseada principalmente no potencial existente para a ocorrência de prejuízos materiais ou perdas de vidas humanas ou eventual paralisação operativa devido a um colapso ocasionado pelas cheias. Este potencial não está associado ao estado real da barragem ou ao seu comportamento. Quanto ao estado real, por outro lado, a hierarquização é ponderada em função das informações relativas ao comportamento da barragem e às condições de seus elementos constituintes (KUPERMAN *et al*, 2001).

Com base nos dois índices classificatórios definidos anteriormente, é possível determinar o “Índice de Comportamento” (IC) de cada unidade, conforme apresentado na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7** – Classificação das barragens estudadas segundo sua altura e/ou volume de acordo com CBGB

<b>Categoria</b>	<b>H = Altura (m)</b>	<b>V = Volume do Reservatório (hm<sup>3</sup>)</b>
Pequena	H < 15	0,05 < V < 1
Média	15 < H < 30	1 < V < 50
Grande	H > 30	V > 50

Fonte: Modificado de KUPERMAN *et al* (2001).

Outro método de classificação de barragens e estruturas associadas é apresentado por Fusaro (1999) que propõe um sistema vinculado ao Potencial de Risco (PR) – parâmetro resultado de constantes, e a Vulnerabilidade (V) – parâmetro variável, visando acompanhar a evolução com o tempo do comportamento das estruturas e suas condições de contorno, que permite distinguir onde atuar para incrementar a segurança de uma dada estrutura.

O parâmetro (PR) busca quantificar o risco em potencial de uma possível ruptura da barragem, tendo em vista características intrínsecas ao projeto, e que determinam "a priori" estruturas, mais ou menos seguras.

A classificação, segundo o Potencial de Risco, é dada pela soma dos valores atribuídos aos principais parâmetros físicos da barragem (altura, volume do reservatório, tipo de barragem, tipo de fundação e vazão de projeto).

A classificação, segundo a Vulnerabilidade (V), define as condições atuais da barragem e procura medir o quanto as estruturas estão vulneráveis a uma possível ruptura e a extensão dos danos materiais e financeiros daí advindos. É obtida através da soma da pontuação atribuída aos parâmetros variáveis (idade, confiabilidade dos extravasores, regras operacionais, condição atual das estruturas civis, riscos a jusante).

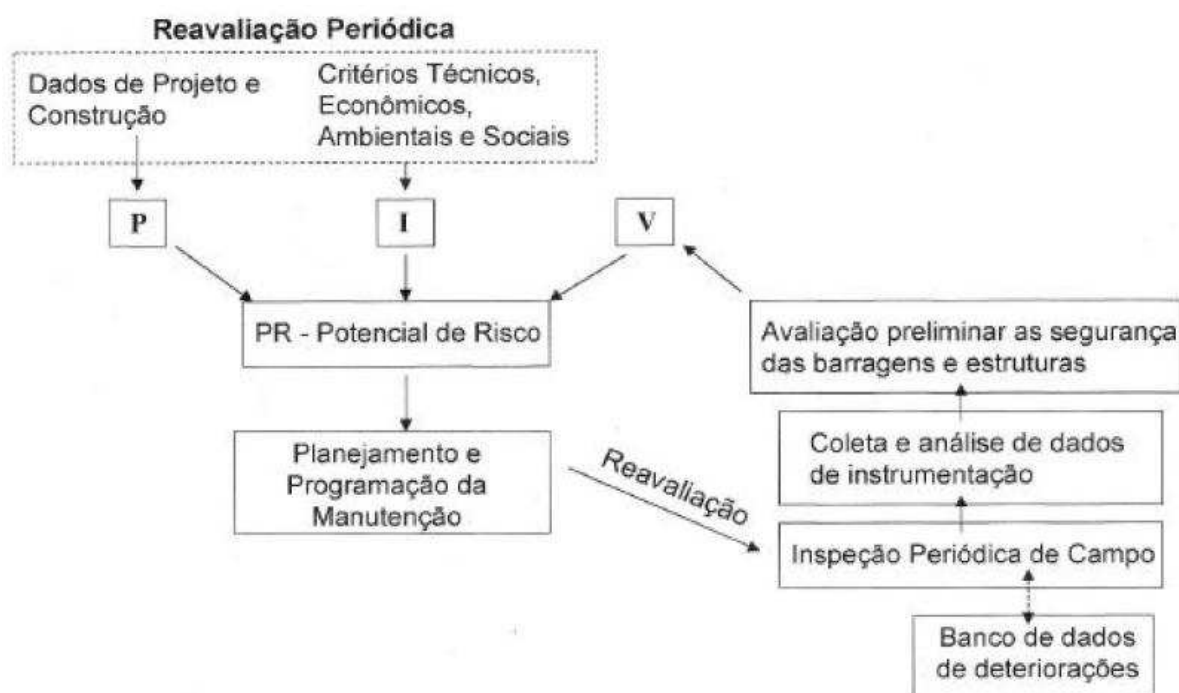
Já Negrini *et al* (1999) propõe uma classificação para definir o estado e o risco em que a barragem se encontra num determinado momento, permitindo assim, numa linguagem única, caracterizar o potencial de risco da estrutura ou de uma determinada situação, com ações pré-determinadas que devem ser tomadas ou preparadas, assim que se tomar conhecimento do fato. Permite também que as informações circulem de forma homogênea e as ações tenham a medida necessária que exige o momento. A classificação apresenta cinco níveis - nível 1: normalidade; nível 2: atenção; nível 3: alerta; nível 4: alerta total e nível 5: emergência.

Segundo Parsons *et al* (1999) uma “*Portfolio Risk Analysis*” (PRA) permite ao proprietário de várias barragens estabelecer um programa de segurança de barragens no contexto de seu interesse e ajuda a fornecer “*inputs*” aos processos, tais como: capital orçado, avaliações de atividades e responsabilidade, planejamento de despesas eventuais, e avaliação de financiamento de perda e programas de seguro.

### 3.11 Modelo de avaliação do potencial de risco proposto por Menescal et al (2001) para açudes do semi-árido brasileiro

Menescal *et al* (2001) desenvolveram um modelo de avaliação de potencial de risco, com o objetivo de obter uma classificação das barragens sob responsabilidade da COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará), essencialmente quanto à sua segurança estrutural, hierarquizando-as, de forma a proporcionar à direção da empresa um meio eficaz de planejar e programar a alocação dos recursos necessários à sua manutenção dentro dos padrões de segurança exigidos pela legislação oficial e pelas Normas Técnicas Brasileiras.

A Figura 3.9 apresenta o esquema proposto para Avaliação do Potencial de Risco. A partir das informações técnicas de projeto e construção pode-se determinar a periculosidade (P) das estruturas. Com base no estabelecimento de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais é definida a importância estratégica (I) daquelas obras. Com base nos dados de inspeção de campo e de leitura de instrumentação é efetuada uma avaliação preliminar da segurança que permite a estimativa da vulnerabilidade (V) das estruturas. O potencial de risco é calculado a partir destes três parâmetros (P, I e V) e permite a priorização de ações a serem desenvolvidas na fase de planejamento e programação da manutenção. A continuidade das inspeções de campo permite uma reavaliação das medidas adotadas para que seja alcançada uma maior eficiência do esquema. (MENESCAL *et al*, 2001)



**Figura 3.9** – Esquema proposto para avaliação do potencial de risco.

Fonte: Menescal *et al* (2001).

A Figura 3.10 apresenta esquematicamente como definir os níveis desejados de monitoramento hidrológico, inspeção, manutenção, dentre outros a partir de dados econômicos, sociais, ambientais e estruturais. Esta definição é sistematizada através de matrizes que agregam pesos e valores aos diversos aspectos considerados.

Seguindo esta metodologia, a partir dos pesos atribuídos aos diversos aspectos considerados na avaliação de P, V, I e PR tentou-se estabelecer critérios para definir os níveis com que os açudes deverão ser tratados com relação à inspeção, manutenção, instrumentação e sistema de alerta. As Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10 apresentam a metodologia para esta divisão em níveis.



**FIGURA 3.10** – Metodologia para estabelecimento de critérios para operação e segurança de açudes.

Fonte: Menescal *et al* (2001).

Compõe o modelo um primeiro conjunto de parâmetros ou características técnicas do projeto que, pela sua magnitude, permitem retratar o grau de Periculosidade (P), apresentada na Tabela 3.8.

**Tabela 3.8- Periculosidade (P)**

<b>Dimensão da Barragem<sup>1</sup></b>	<b>Volume Total do Reservatório<sup>2</sup></b>	<b>Tipo de Barragem<sup>3</sup></b>	<b>Tipo de Fundação<sup>4</sup></b>	<b>Vazão de Projeto<sup>5</sup></b>
Altura <10 m Comprimento < 200 m (1)	Pequeno < 20 hm <sup>3</sup> (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Decamilenar (1)
Altura 10 a 20 m Comprimento < 2000 m (3)	Médio até 200 hm <sup>3</sup> (5)	Alvenaria de pedra / Concreto rolado (6)	Rocha alterada / Saprolito (4)	Milenar (2)
Altura 20 a 50 m Comprimento 200 m a 3000 m (6)	Regular 200 a 800 hm <sup>3</sup> (7)	Terra / Enrocamento (8)	Solo residual / Aluvião até 4m (5)	500 anos (4)
Altura > 50 m Comprimento > 500 m (10)	Muito grande > 800 hm <sup>3</sup> (10)	Terra (10)	Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10)	Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10)

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

A pontuação para Periculosidade (P) é alcançada através do somatório da pontuação de cada parâmetro, de acordo com a Equação 3.1 e tabela 3.8.

$$P = \sum_{i=1}^5 pi$$

Eq. (3.1)

Se  $P > 30$  – Periculosidade Elevada

Se  $P$  entre 20 a 30 – Periculosidade Significativa

Se  $P$  entre 10 a 20 – Periculosidade Baixa a Moderada

Um segundo conjunto, envolvendo aspectos relacionados com o estado atual da barragem, com a sua história e com a operacionalidade e/ou facilidade de manutenção de suas estruturas hidráulicas, permite avaliar o grau de Vulnerabilidade (V) atual (Tabela 3.9). A pontuação para Vulnerabilidade (V) é alcançada através do somatório da pontuação de cada parâmetro, de acordo com a Equação 3.2.

**Tabela 3.9 – Vulnerabilidade (V)**

Tempo de Operação <sup>6</sup>	Existência de Projeto (As Built) <sup>7</sup>	Confiabilidade das Estruturas Vertedoras <sup>8</sup>	Tomada de Água <sup>9</sup>	Percolação <sup>10</sup>	Deformações / Afundamentos Assentamentos <sup>11</sup>	Deterioração dos Taludes / Paramentos <sup>12</sup>
> 30 anos (0)	Existem projetos "as built" e avaliação do Desempenho (1)	Muito Satisfatória (2)	Satisfatória Controle a montante (1)	Totalmente Controlada pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (0)	Inexistente (1)
10 a 30 anos (1)	Existem Projetos "as built" (3)	Satisfatória (3)	Satisfatória Controle a Jusante (2)	Sinais de umidecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4) Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devida ao fluxo (6)	Pequenos abatimentos da crista (2)	Falhas no rip-rap e na proteção de Jusante (3)
5 a 10 anos (2)	Só projeto Básico (5)	Suficiente (6)	Aceitável (3)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Ondulações pronunciadas, Fissuras (6)	Falha nas proteções; drenagens insuficiente e sulcos nos taludes. (7)
< 5 anos (3)	Não existe Projeto (7)	Não satisfatório (10)	Deficiente (5)		Depressão na crista – Afundamentos nos taludes, ou na fundação /Trincas (10)	Depressão no rip-rap Escorregamentos; sulcos profundos de Erosão, Vegetação (10)

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

Em que:

$$V = \sum_{i=1}^5 vi$$

Eq. (3.2)

Se  $V > 35$  – Vulnerabilidade Elevada

Se  $V$  entre 20 a 35 – Vulnerabilidade Moderada a Elevada

Se  $V$  entre 5 a 20 – Vulnerabilidade Baixa a Moderada

Se  $V < 5$  – Vulnerabilidade Muito Baixa

O terceiro conjunto, Importância Estratégica (I), reúne parâmetros que, por seu vulto ou magnitude, conferem o valor estratégico associável à barragem no caso de eventual ruptura. Os aspectos considerados relevantes para a Importância (I) foram o volume do reservatório, a população a jusante sujeita a risco em casos de falhas operacionais e o custo atualizado da barragem e estruturas anexas (Tabela 3.10).

A pontuação para o aspecto Importância Estratégica (I) é resultante da média aritmética da pontuação dos três parâmetros envolvidos: Volume Útil (A), População a Jusante (B) e Custo da Barragem (C), conforme Equação 3.3.

**Tabela 3.10 – Importância Estratégica (I)**

Volume Útil (hm <sup>3</sup> ) (A)	População a Jusante (B)	Custo da Barragem (C)
Grande > 800 (2)	Grande (2,5)	Elevado (1,5)
Médio 200 a 800 (1,5)	Média (2,0)	Médio (1,2)
Baixo < 200 (1)	Pequena (1,0)	Pequeno (1,0)

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

Sendo:

$$I = \frac{A + B + C}{3} \quad \text{Eq. (3.3)}$$

Em que A representa o Volume Útil; B representa a existência de população a jusante e C representa o Custo da Barragem.

Aplicando os valores dos três aspectos (P, V e I) na equação 3.4, tem-se o Potencial de Risco (PR) para cada barragem.

$$PR = \frac{(P + V)}{2} \times I \quad \text{Eq. (3.4)}$$

Como se pode observar o Potencial de Risco obtido é qualitativo, apesar da representação numérica, pois não foi calculado utilizando procedimentos estatísticos. Esta etapa do cálculo de risco propriamente dito pode ser desenvolvida dentro da fase de planejamento, seguindo os procedimentos de *Portfolio Risk Analysis (PRA)* descritos em Parsons *et al* (1999), caso seja necessário uma priorização mais pormenorizada das atividades a serem desenvolvidas.

O enquadramento das barragens em classes de potencial de risco (Tabela 3.11) permite definir a frequência de inspeções (Tabela 3.12) para cada barragem e antecipar ações, de modo a



evitar falhas e rupturas.

**Tabela 3.11** - Classes de potencial de Risco

Classe	Potencial de Risco - PR
A	> 65 – alto
B	40 a 65 – médio
C	25 a 40 – normal
D	15 a 25 – baixo
E	< 15 – muito baixo

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

**Tabela 3.12** – Frequência de Inspeções

Tipo de Inspeção	Classificação da Barragem				
	A	B	C	D	E
Rotina		mensal	trimestral	semestral	Anual
Periódica		Anual (relatório completo)	Anual (relatório simplificado); relatório completo a cada dois anos	Relatório simplificado a cada dois anos	Relatório simplificado a cada quatro anos
Formal		A cada cinco anos	A cada dez anos	A cada quinze anos	A cada quinze anos
Especial	Definir intervenção e reclassificação	Em oportunidades tais como cheias excepcionais, rebaixamento rápido do reservatório, sismos, etc.			

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

As inspeções são do tipo: Rotina, Periódica, Formal e Especial. Caso a barragem seja classificada na classe A (Alto Potencial de Risco) deve haver intervenção na barragem e reclassificação.

Entende-se por inspeções rotineiras aquelas executadas pelas equipes locais de operação e manutenção, como parte regular de suas atividades. A frequência dessas inspeções deve ser semanal, mensal ou semestral, de acordo com a classe da barragem. Estas inspeções geralmente não geram relatórios específicos, apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas.

Inspeção periódica é a inspeção efetuada pela equipe de segurança da barragem, incluindo um estudo sucinto dos documentos de projeto, registros existentes e histórico das intervenções, seguido de inspeção de campo e elaboração de relatório.

Inspeção formal geralmente é efetuada por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria da barragem, incluindo um estudo detalhado dos documentos de projeto, registros existentes e histórico das intervenções, seguido de inspeção de campo e elaboração de relatório contendo uma análise das condições de estabilidade e desempenho da mesma.

As inspeções especiais são aquelas executadas por especialistas da área relativa a algum problema detectado em uma inspeção rotineira ou formal. Sua realização requer o estudo prévio do projeto e de toda documentação disponível. Não existe uma frequência para sua realização e ocorrem sempre que um problema exija a participação de um especialista para seu diagnóstico e solução. Delas deve resultar um relatório específico capaz de orientar de forma conclusiva o encaminhamento da solução.

### **3.12 Conclusões sobre a revisão da literatura**

A revisão da literatura apresentada cumpre o objetivo proposto nesta pesquisa, apresentando informações sobre a gestão de segurança em barragens de contenção de rejeitos, dentro de uma visão dos principais aspectos inerentes à segurança no cenário nacional e internacional, como legislação, tipos de barragens, metodologias para avaliação da segurança, gerenciamento de riscos, responsabilidades das partes interessadas, dentre outros aspectos, subsidiando empresas e órgãos fiscalizadores para tomada de decisões.

Foram discutidas as diferenças de gestão das barragens entre alguns países e a forma como a legislação é efetivamente aplicada. Além disso, foram apresentados alguns modelos de avaliação de segurança em barragens, dentre eles a metodologia utilizada pela DN 87 (COPAM, 2005), a metodologia utilizada pela Sabesp, em São Paulo e o modelo de potencial de risco desenvolvido por Menescal *et al* (2001).

Esta pesquisa utiliza o modelo proposto por Menescal *et al* (2001), que considera três aspectos para classificação das barragens: Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica. Foram realizadas algumas modificações para tornar este modelo aplicável às barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais. A escolha do modelo adotado justifica-se pela quantidade considerável de parâmetros representativos para avaliação da segurança das barragens e pelo fato do modelo ser apresentado pelo autor não só no nordeste, mas também em todo território nacional.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada nesta pesquisa, que se divide em duas partes. A primeira baseia-se na revisão da literatura para fornecer embasamento teórico à segunda parte: adaptação do modelo de avaliação do potencial de risco adotado e sua aplicação em barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais.

### **4.1 Descrição da metodologia adotada nesta pesquisa**

Este trabalho apresenta uma abordagem qualitativa que tem como objetivos descrever, interpretar e compreender a percepção da gestão da segurança em barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em Minas Gerais. Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico, buscando atender uma demanda de informações sobre a gestão das barragens nos cenários nacional e internacional.

O levantamento bibliográfico fundamentou principalmente a comparação dos critérios de classificação de barragens no Brasil com os critérios adotados em outros países, verificando relações entre legislações e medidas adotadas para promoção da segurança em barragens.

A revisão bibliográfica ocorreu tendo como base consulta em periódicos, jornais, revistas e sites de órgãos envolvidos com o tema, como ICOLD (*International Commission of Large Dams*), MAC (*Mining Association of Canada*), UNEP (*United Nations Environment Programme, Industry and Environment*), ICME (*International Council on Metals and the Environment*), FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente), Ministério da Integração Nacional, Ministério de Minas e Energia, CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens), dentre outras fontes.

Esta pesquisa também contemplou a aplicação dos dados de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais do estado de Minas Gerais em um modelo de avaliação de potencial de risco (descrito no Capítulo 3, item 3.11), desenvolvido por Menescal *et al* (2001), de modo a gerar informações complementares à gestão da segurança de barragens no estado de Minas Gerais, que atualmente utiliza como ferramenta de avaliação o modelo de potencial de dano ambiental estabelecido pelas Deliberações Normativas nº 62 (COPAM, 2002), nº 87 (COPAM, 2005) e nº 113 (COPAM, 2007).

A inovação desta pesquisa é que este modelo nunca foi utilizado para avaliação de risco em barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais, uma vez que o modelo foi desenvolvido e aplicado em açudes do semi-árido brasileiro.

Para o preenchimento do modelo de avaliação de potencial de risco foram utilizados dados secundários, num trabalho realizado em parceria com a FEAM, que disponibilizou os relatórios de auditorias técnicas de segurança das barragens cadastrados em 2006. O acesso aos relatórios ocorreu através do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM), por meio de consulta pelo número do protocolo de cada processo.

A primeira etapa foi analisar os relatórios das 606 barragens cadastradas pela FEAM em 2006 e verificar quais seriam aplicáveis a esta pesquisa.

Dentre estas barragens, 373 eram barragens de contenção de rejeitos de mineração e 233 eram barragens de resíduos industriais. Porém, algumas dessas estruturas também tinham como função o armazenamento de água, captação, reservatório de vinhoto, tratamento de efluentes, armazenamento de sólidos carregados pela erosão, ou não possuíam identificação. Os dados destas barragens não foram considerados nesta pesquisa, por não fazer parte dos objetivos propostos.

Foram identificadas então, 136 com função de armazenar rejeitos de mineração e 142 barragens com função de armazenar resíduos industriais, totalizando 278 barragens que compreenderam o universo desta pesquisa.

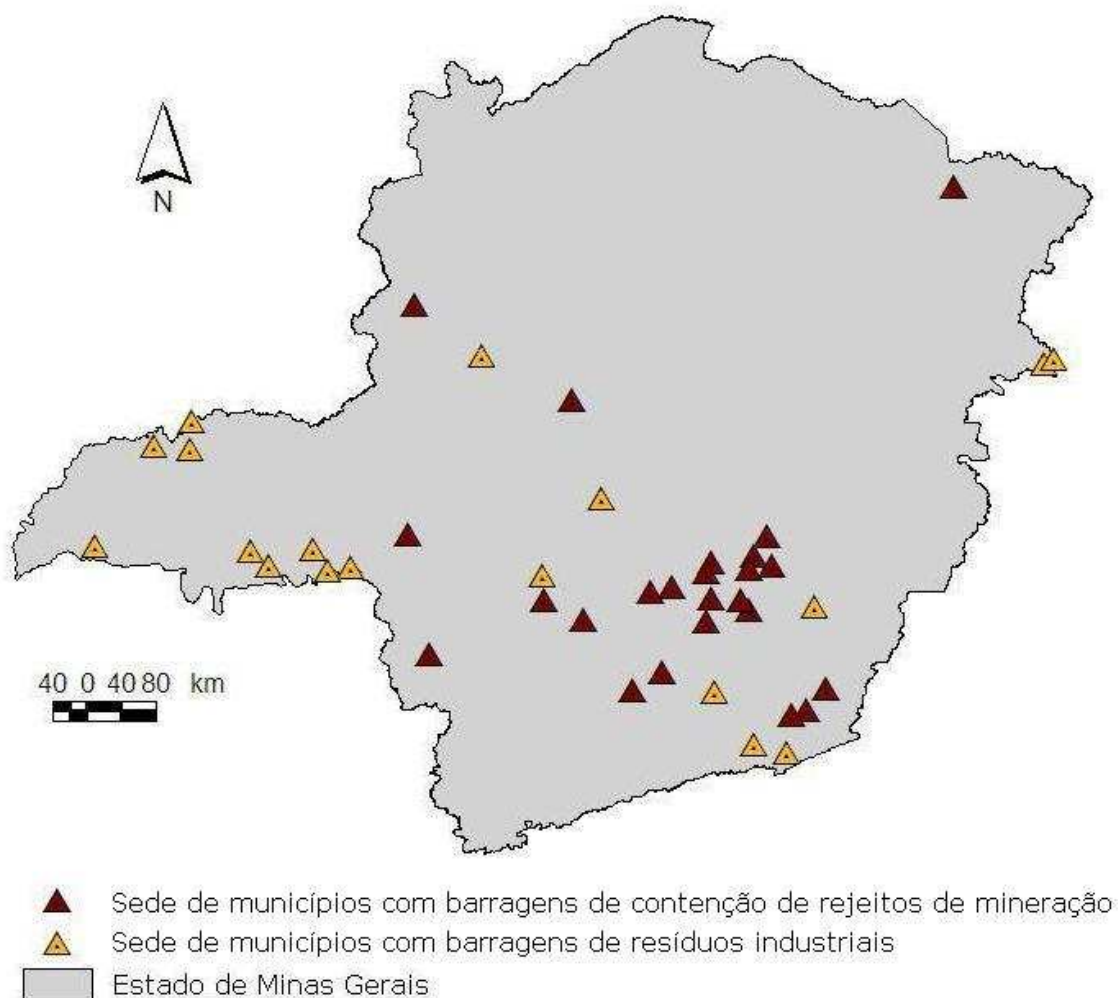
Ao consultar os processos através do número dos protocolos pelo SIAM, os relatórios de auditoria técnica de algumas destas barragens não estavam disponíveis no sistema ou apresentavam informações incompletas, inviabilizando a aplicação destes dados na pesquisa, sendo então descartados.

Assim, foi possível ter acesso a 172 relatórios de auditoria técnica de barragens, com informações completas, sendo este grupo considerado o espaço amostral desta pesquisa. Conforme a Figura 4.1, estas barragens estão distribuídas em 43 municípios de Minas Gerais, selecionadas por critérios de disponibilidade de dados para aplicação no modelo, função do reservatório (armazenamento de resíduos industriais ou rejeitos de mineração) e localização geográfica. Também foi verificada a classe do potencial de dano ambiental (COPAM, 2005) destas barragens, de modo a garantir representatividade de barragens de classes I, II e III.

A segunda etapa objetivou conhecer o funcionamento do modelo desenvolvido por Menescal *et al* (2001) aplicando os dados de todas as barragens do Grupo Amostral (172 barragens) para verificar se os dados disponíveis eram compatíveis com as exigências de informações do modelo. Para aplicação dos dados e realização das fórmulas de pontuação para classificação

das barragens, as informações foram dispostas em uma planilha do programa Microsoft Office Excel.

Assim, esta segunda etapa foi chamada de “Teste” e funcionou também para verificar se o modelo em questão era eficiente para classificar barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais de Minas Gerais, uma vez que o modelo original foi desenvolvido para avaliação do potencial de risco em açudes do semi-árido brasileiro.



**Figura 4.1** – Distribuição das barragens aplicadas no modelo de potencial de risco.

Após esta etapa, 48 barragens foram descartadas da pesquisa pelo fato dos relatórios não apresentarem requisitos mínimos para aplicação no modelo. Estas barragens apresentavam estruturas mais simples (pequena dimensão, volume e altura), e por isso não possuíam todas as informações e procedimentos necessários para inserção dos dados nesta pesquisa. Assim o universo de trabalho incluiu 124 estruturas.

A partir dos resultados do Teste foi identificada a necessidade de realizar alterações no

modelo, adaptando-o, de modo a torná-lo aplicável às barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais, conforme detalhado na sequência.

As principais modificações realizadas no modelo foram inclusões, exclusões ou alterações nos parâmetros de avaliação, como a exclusão do parâmetro “Tomada de Água”, por não ser aplicável em barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais e a inclusão dos parâmetros “Alteamento” e “Instrumentação e Monitoramento”, uma vez que estes parâmetros são significativos para avaliação do potencial de risco em barragens e o modelo original não os considerava. Também foram realizadas algumas alterações na classificação para “Volume Total” e “Custo da Barragem”. Os dados das 124 barragens selecionadas foram novamente aplicados ao modelo, que após as alterações passou a ser chamado, nesta pesquisa, de “Modelo Potencial de Risco Modificado”.

A fase seguinte foi a calibração do modelo para garantir que a pontuação estabelecida para cada classe fosse realmente representativa para definição do potencial de risco das barragens. Para isso, foi utilizado o próprio banco de dados do grupo amostral (relatório de auditorias técnicas das barragens cadastradas pela FEAM em 2006 e disponíveis no SIAM), em que algumas barragens já apresentavam estabilidade garantida pelo auditor enquanto outras apresentavam problemas de estabilidade. Estas barragens que não apresentavam estabilidade garantida pelo auditor não foram aplicadas na pesquisa, mas funcionaram como Grupo Controle para calibração do modelo.

Assim, as barragens envolvidas nesta pesquisa foram divididas em 2 (dois) grupos:

- Grupo 1: 101 barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais. Os dados deste grupo foram aplicados no modelo de potencial de risco modificado (Anexo II).
- Grupo Controle: 23 barragens que, de acordo com os relatórios de auditorias técnicas, não possuíam estabilidade garantida pelo auditor. Este grupo funcionou como controle dos resultados e calibração da pontuação do modelo (Anexo III).

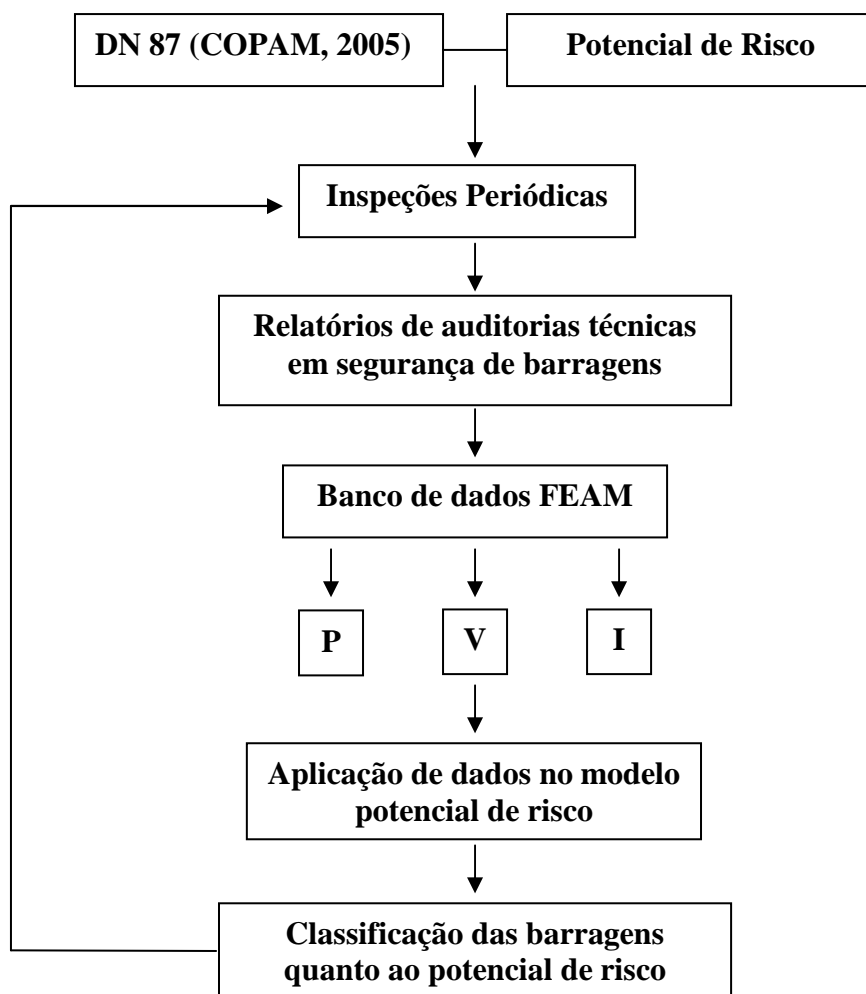
Os resultados obtidos pela aplicação dos dados das 101 barragens no modelo de potencial de risco modificado foram comparados com classificação atual de potencial de dano ambiental estabelecida pela DN 87 (COPAM, 2005). Analisando e comparando as duas classificações foi possível conhecer melhor as condições das barragens, através do potencial de risco e do potencial de dano ambiental. Tal comparação se torna importante para tomada de decisões no

que se refere ao gerenciamento de estruturas que apresentem cenários críticos, evitando possíveis danos econômicos, ambientais e perdas de vidas humanas. A Tabela 4.1 apresenta o escopo da metodologia adotada nesta pesquisa.

**Tabela 4.1 – Escopo da metodologia adotada**

<b>Passo</b>	<b>O quê?</b>	<b>Como</b>
<b>1</b>	Revisão da Literatura	Através de consulta em sites de órgãos envolvidos, periódicos, revistas e anais de congressos
<b>2</b>	Escolha do modelo a ser utilizado	Através de comparação entre vários modelos, análise dos parâmetros utilizados e pelo fato do modelo ser apresentado pelo autor para utilização no cenário nacional
<b>3</b>	Levantamento de dados para preenchimento do modelo	Através de consulta pelo SIAM, em parceria com a FEAM
<b>4</b>	Adaptação do modelo para barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais	Através de alteração / inclusão de variáveis no modelo, tomando como base a literatura nacional e internacional
<b>5</b>	Calibração do modelo	Através de comparação dos dados com o Grupo Controle, seguindo os mesmos critérios de calibração do modelo original, tomando como base a literatura nacional e internacional.
<b>6</b>	Aplicação dos dados no modelo	Através da aplicação dos dados em planilha do programa Excel
<b>7</b>	Análise dos resultados	Verificação de cada parâmetro e análise de quais parâmetros foram responsáveis pelas pontuações mais altas, tanto para Periculosidade quanto para Vulnerabilidade
<b>8</b>	Comparação dos dados do modelo com a classificação de potencial de dano ambiental (COPAM, 2005)	Através do estabelecimento de relações entre os resultados das duas metodologias
<b>9</b>	Fornecimento de dados para subsidiar decisões	A comparação dos dados das duas metodologias fornecem informações complementares para tomada de decisões

A visualização dos processos adotados nesta pesquisa está apresentada na Figura 4.2.



**Figura 4.2** – Fluxograma da utilização do modelo potencial risco adotado nesta pesquisa.

#### **4.2 Considerações gerais**

Para melhor entendimento dos capítulos apresentados em sequencia serão reforçados alguns conceitos e considerações.

- Para a aplicação desta metodologia, o conceitual teórico atribuído às barragens de contenção de rejeitos foi adotado para as barragens de resíduos industriais;
- Entende-se por potencial de dano ambiental a classificação proposta pela DN 62 (COPAM, 2002), que foi alterada e complementada pela DN 87 (COPAM, 2005) e pela DN 113 (COPAM, 2007). O escopo teórico da classificação de dano ambiental está presente na DN 62 (COPAM, 2002). A DN 87 (COPAM, 2005) apresenta alterações no quadro de parâmetros da classificação das barragens. Por isso, será citado apenas a DN 87 (COPAM, 2005), uma vez que a utilização destas deliberações nesta pesquisa se refere



principalmente à classificação das barragens quanto ao potencial de dano ambiental, atualizado pela DN 87.

- Entende-se por classificação de potencial risco o modelo proposto por Menescal *et al* (2001), que foi modificado nesta pesquisa e passa a ser considerado Modelo Potencial de Risco Modificado.

## 5 DEFINIÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO MODIFICADO

Conforme apresentado no item 3.5 do Capítulo 3, as barragens de contenção de rejeitos são diferentes das barragens convencionais. Por isso, verificou-se a necessidade de modificar alguns parâmetros do modelo Menescal *et al* (2001), após a etapa Teste, de modo a torná-lo aplicável e representativo para avaliação das barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais.

### 5.1 Alterações realizadas no modelo de potencial de risco

Os itens 5.1.1 a 5.1.3 apresentam os aspectos de Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica que sofreram alterações para aplicação dos dados no modelo.

#### 5.1.1 Periculosidade

A Periculosidade (P) representa as características técnicas da barragem, sendo que o conjunto dos seus parâmetros indica se o estado atual da barragem oferece algum perigo. É obtida pela soma da pontuação das classes de altura, volume, tipo de barragem, tipo de fundação e vazão de projeto, através da Tabela 5.1 e da Equação 5.1. Os termos em negrito na tabela representam aspectos do modelo que foram modificados nesta pesquisa e serão descritos a seguir.

**Tabela 5.1 – Periculosidade Modificada**

<b>Dimensão da Barragem<sup>1</sup></b>	<b>Volume Total<sup>2</sup></b>	<b>Tipo de Barragem<sup>3</sup></b>	<b>Tipo de Fundação<sup>4</sup></b>	<b>Vazão de Projeto<sup>5</sup></b>
Altura <10 m (1)	<b>Pequeno</b> < 0,5 hm <sup>3</sup> (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Decamilenar (1)
Altura 10 a 20 m (3)	<b>Médio</b> Até 5 hm <sup>3</sup> (5)	Alvenaria de pedra / Concreto rolado (6)	Rocha alterada / Saprolito (4)	Milenar (2)
Altura 20 a 50 m (6)	<b>Regular</b> 5 a 20 hm <sup>3</sup> (7)	Terra / Enrocamento (8)	Solo residual / Aluvião até 4 m (5)	500 anos (4)
Altura > 50 m (10)	<b>Muito grande</b> > 20 hm <sup>3</sup> (10)	Terra / <b>Rejeito</b> (10)	Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10)	Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10)

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

$$P = \sum_{i=1}^5 p_i$$

Eq. 5.1

Em que  $P$  representa a Periculosidade e  $p$  representa o peso de cada parâmetro, conforme a Tabela 5.2 (Periculosidade Modificada). Se  $P$  for maior que 30, a Periculosidade é considerada Elevada. Se o valor de  $P$  estiver entre 20 a 30, a Periculosidade é dita Significativa, e se o valor de  $P$  estiver entre 10 a 20, a Periculosidade é considerada Baixa a Moderada.

Dentre os parâmetros que compõem item Periculosidade de acordo com o modelo de Menescal *et al* (2001), os seguintes parâmetros sofreram alteração para aplicação nesta pesquisa:

- **Volume total do reservatório:** após a aplicação dos dados no Grupo Teste, verificou-se a necessidade de alterar as classes para o Volume, pois a maior parte das barragens havia se enquadrado nas classes de volume “pequeno” e “médio”, sendo que nenhuma barragem se enquadrava nos volumes “regular” e “muito grande”. Isso se justifica pelo fato de que os volumes considerados grandes para barragens de água, de contenção de rejeitos e de resíduos são diferentes. O porte e a capacidade de armazenamento de uma barragem de água (para fins hidrelétricos, por exemplo) são claramente superiores que aqueles das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais. A definição de qual valor seria considerado para a classificação de volume se baseou em revisão de literatura internacional, analisando os critérios de classificação em vários países (item 3.7, Capítulo 3 – Revisão da Literatura), e de acordo com a classificação da DN 87 (COPAM, 2005), em que o volume de 500.000 m<sup>3</sup> (0,5 hm<sup>3</sup>) é referência de um valor mínimo de volume ao considerar a necessidade de uma barragem ser abrangida pela legislação.
- **Tipo de barragem:** não houve alteração substancial nos parâmetros, apenas a inclusão do termo “Rejeito” na quarta classe, conforme apresentado na Tabela 5.1 (“Terra/Rejeito”), já que as barragens de contenção de rejeitos também podem ser construídas e alteadas com o próprio rejeito, conforme descrito no item 3.2 da Revisão de Literatura – Métodos de Alteamento.

Assim, foi realizada uma reclassificação para os volumes, estando os resultados apresentados na Tabela 5.2. A escala da pontuação que cada classe de volume recebe foi mantida de acordo com a escala original do modelo de Menescal *et al* (2001).

**Tabela 5.2** - Alteração das classes de volume para barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais – Potencial de risco modificado

<b>Volume do Reservatório</b>	<b>Menescal <i>et al</i> (2001)</b>	<b>Potencial de Risco Modificado</b>
Pequeno	menor que 20 hm <sup>3</sup>	menor que 0,5 hm <sup>3</sup>
Médio	20 hm <sup>3</sup> < V < 200 hm <sup>3</sup>	0,5 hm <sup>3</sup> < V < 5 hm <sup>3</sup>
Regular	200 hm <sup>3</sup> < V < 800 hm <sup>3</sup>	5 hm <sup>3</sup> < V < 20 hm <sup>3</sup>
Muito grande	maior que 800 hm <sup>3</sup>	maior que 20 hm <sup>3</sup>

### 5.1.2 Vulnerabilidade

A Vulnerabilidade (V) representa a situação atual da barragem e procura medir o quanto as estruturas estão vulneráveis a uma possível ruptura e a extensão dos danos materiais e financeiros daí advindos. É obtida através da soma da pontuação atribuída dos parâmetros variáveis (idade, existência de projeto *as built*, confiabilidade das estruturas vertedouras, alteamento, percolação, presença de deformações ou afundamentos e deterioração dos taludes), através da Tabela 5.3 e da Equação 5.2.

$$V = \sum_6^{13} vi$$

Eq. 5.2

Em que V representa a Vulnerabilidade e v representa o peso de cada parâmetro, conforme a Tabela 5.3.

Se  $V > 40$  - Vulnerabilidade Elevada;

Se V entre 22 a 40 - Vulnerabilidade Moderada a Elevada.

Se V entre 5 a 22 - Vulnerabilidade Baixa a Moderada;

Se  $V < 5$  - Vulnerabilidade Muito Baixa.

Observa-se que as alterações realizadas para o parâmetro de Vulnerabilidade foram mais significativas que as alterações para a Periculosidade. Houve exclusão do item Tomada de Água, por não ser aplicável às barragens universo desta pesquisa e houve inclusão de critérios para avaliar Alteamento e Instrumentação/Monitoramento, além de complementação de informação no item Deformações/Afundamentos/Assentamento. Os termos em negrito na tabela representam aspectos do modelo que foram modificados nesta pesquisa.

**Tabela 5.3 – Vulnerabilidade Modificada**

<b>Tempo de Operação<sup>6</sup></b>	<b>Projeto (As Built)<sup>7</sup></b>	<b>Confiabilidade das estruturas Vertedoras<sup>8</sup></b>	<b>Alteamento<sup>9</sup></b>	<b>Percolação<sup>10</sup></b>	<b>Deformações, Afundamentos e Assentamentos<sup>11</sup></b>	<b>Deterioração dos Taludes / Paramentos<sup>12</sup></b>	<b>Instrumentação e Monitoramento<sup>13</sup></b>
> 30 anos (0)	Existem projetos "as built" e avaliação do desempenho (1)	Muito Satisfatória (2)	<b>Sem alteamento até a data da avaliação</b> (0)	Totalmente Controlada pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (0)	Inexistente (1)	<b>Com algum tipo de instrumentação (incluindo piezômetros) e com um programa de monitoramento</b> (0)
10 a 30 anos (1)	Existem Projetos "as built" (3)	Satisfatória (3)	<b>Método de Jusante</b> (1)	Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4)	Pequenos abatimentos da crista / <b>Crescimento de vegetação</b> (2)	Falhas no rip-rap e na proteção de Jusante (3)	<b>Com algum tipo de instrumentação (mas sem piezômetros) e com um programa de monitoramento</b> (3)
5 a 10 anos (2)	Só projeto Básico (5)	Suficiente (6)	<b>Método de Linha do Centro</b> (3)	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devida ao fluxo (6)	Ondulações pronunciadas, Fissuras (6)	Falha nas proteções; drenagens insuficiente e sulcos nos taludes. (7)	<b>Com algum tipo de instrumentação (mas sem piezômetro) e sem programa de monitoramento</b> (6)
< 5 anos (3)	Não existe Projeto (7)	Não satisfatório (10)	<b>Método de Montante</b> (6)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Depressão na crista – Afundamentos nos taludes, ou na fundação /Trincas (10)	Depressão no rip-rap Escorregamentos; Sulcos profundos de Erosão, Vegetação (10)	<b>Sem nenhuma instrumentação e sem programa de monitoramento.</b> (10)

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

Dentre os parâmetros que compõem item Vulnerabilidade no modelo de Menescal *et al* (2001), os seguintes parâmetros sofreram alterações para aplicação nesta pesquisa:

- **Tomada de água:** como nas barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais não existe “Tomada de água”, este parâmetro foi excluído do modelo.
- **Alteamento:** houve a necessidade da inclusão de um parâmetro que avaliasse a presença e o método de alteamento das estruturas, visto que as barragens objeto desta pesquisa são construídas em estágios, conforme descrito no item 3.2, da Revisão de Literatura. Assim, a barragem recebe pontuação 0 (zero), 1 (um), 3 (três) ou 6 (seis) de acordo com a presença e o tipo de alteamento (sem alteamento até a data da avaliação, alteamento pelo método de jusante, alteamento pelo método de linha de centro ou alteamento pelo método de montante, respectivamente). A definição da pontuação ocorreu de acordo com as seguintes premissas, baseadas em revisão de literatura, conforme apresentado nos item 3.2 e 3.5 do Capítulo 3 – Revisão da Literatura: considerando custos e segurança, o método de montante é o mais econômico e de maior facilidade executiva, porém a barragem com alteamento de montante é menos segura, recebendo, portanto, pontuação igual a 6 (seis). Barragens alteadas pelo método de jusante necessitam de maiores volumes de materiais de construção, o que torna o processo mais caro, porém mais seguro, recebendo pontuação igual a 1 (um). O método de linha de centro é geometricamente uma solução intermediária entre o método de montante e jusante, por isso, barragens com este tipo de alteamento recebem pontuação igual a 3 (três). As barragens sem alteamento até a data da avaliação recebem pontuação igual a 0 (zero).
- **Deformações/afundamentos/assentamentos:** foi incluído o item “crescimento de vegetação” na segunda classe da Tabela 5.3 - “Pequenos abatimentos na crista/Crescimento de Vegetação”. A percepção para necessidade de inclusão deste aspecto foi observada durante a análise dos relatórios de auditoria técnica das barragens consultados, sendo especificado em muitos desses a presença de vegetação na barragem ou no vertedouro como um problema que afeta o gerenciamento destas estruturas, e o modelo de Menescal *et al* (2001) não abordava tal situação.
- **Instrumentação e Monitoramento:** houve a necessidade da inclusão de um parâmetro que avaliasse o nível de instrumentação e monitoramento das barragens, visto que a presença de instrumentação e de um programa de monitoramento é um fator de extrema importância para o gerenciamento e acompanhamento do comportamento destas

estruturas, conforme descrito no item 3.3, da Revisão de Literatura. A estrutura sem instrumentação e, conseqüentemente, sem monitoramento contínuo ou com ausência de informações sobre este aspecto, recebe pontuação igual a 10 (dez) - situação considerada mais crítica. A barragem com algum tipo de instrumentação (incluindo piezômetros) e com um programa de monitoramento contínuo (situação mais favorável) não recebe pontuação [ou pontuação igual a 0 (zero)]. No parâmetro instrumentação, ainda foi especificada a presença ou não de piezômetros, devido à importância deste instrumento. A existência de um programa de monitoramento contínuo é outro item avaliado, pois possuir instrumentação não é suficiente se o monitoramento dos resultados ao longo do tempo não for realizado. Assim, se a estrutura possuir algum tipo de instrumentação e programa de monitoramento, mas não possuir piezômetros, recebe pontuação igual a 3 (três). Se houver algum tipo de instrumentação, mas não houver piezômetros nem programa de monitoramento contínuo, a pontuação da barragem será 6 (seis).

### 5.1.3 Importância Estratégica (I)

A importância estratégica representa a dimensão dos possíveis impactos (econômicos, financeiros e ambientais) causados em caso da ruptura de uma barragem.

É obtida através média aritmética do volume atual (A), da população a jusante (B) e do interesse econômico e ambiental da área a jusante (C), através da Tabela 5.4 e da Equação 5.3. Os termos em negrito na tabela representam aspectos do modelo que foram modificados nesta pesquisa e serão descritos a seguir.

$$I = \frac{A + B + C}{3}$$

Eq. 5.3

**Tabela 5.4 – Importância Estratégica (I)**

<b>Volume Atual (hm<sup>3</sup>) (A)</b>	<b>População a Jusante (B)</b>	<b>Interesse Econômico e Ambiental (C)</b>
<b>Grande &gt; 20 (2,0)</b>	Grande (2,5)	<b>Elevado (1,5)</b>
<b>Médio 5 a 20 (1,5)</b>	Média (2,0)	<b>Médio (1,2)</b>
<b>Baixo &lt; 5 (1,0)</b>	Pequena (1,0)	<b>Pequeno (1,0)</b>

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

Dentre os parâmetros que compõem o item Importância Estratégica no modelo de Menescal *et al* (2001), os seguintes parâmetros sofreram alteração para aplicação nesta pesquisa:

- **Volume Útil (Tabela 5.5):** este parâmetro foi alterado para “Volume Atual” da barragem, devido ao processo de alteamentos sucessivos, em que o volume da barragem aumenta ao longo de sua vida útil. A escala das classes de volume seguiu os mesmos critérios para definição do Volume Total do Reservatório do item 5.1.1 - Periculosidade.

**Tabela 5.5 – Alteração do Volume Útil para Volume Atual**

<b>Volume Atual</b>	<b>Modelo Menescal <i>et al</i> 2001</b>	<b>Modelo Potencial de Risco Modificado</b>
Grande	maior que 800 hm <sup>3</sup>	maior que 20 hm <sup>3</sup>
Médio	200hm <sup>3</sup> < V < 800 hm <sup>3</sup>	5 hm <sup>3</sup> < V < 20 hm <sup>3</sup>
Baixo	menor que 200 hm <sup>3</sup>	menor que 5 hm <sup>3</sup>

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

- **População a jusante:** não houve alteração substancial neste parâmetro, porém o modelo original não apresenta claramente os critérios para classificar a população a jusante como Grande, Média e Pequena. Por isso, os dados para preencher esta coluna foram obtidos utilizando a mesma classificação para o parâmetro “Ocupação Humana a Jusante” utilizada na classificação quanto ao potencial de dano ambiental realizada pela FEAM (2007) de acordo com a DN 87 (COPAM, 2005), conforme descrito no item 3.8.4.
- **Custo da barragem:** este parâmetro indica o custo para recuperação do ambiente a jusante em caso de um possível rompimento. O modelo original não apresenta claramente como definir estes custos (pequeno, médio ou grande), por isso, este parâmetro foi substituído por “Interesse Econômico e Ambiental”, pois relaciona a dimensão dos impactos e, conseqüentemente, a dimensão dos custos nas instalações e no ambiente a jusante da barragem.

Para obtenção de informações para preenchimento deste parâmetro foi realizado uma compilação de informações sobre “Interesse Ambiental a Jusante” e “Instalações na Área de Jusante”, presentes no cadastramento das barragens, realizado pela FEAM (2007), utilizando os critérios da DN 87 (COPAM, 2005) - (vide tabela 3.5, capítulo 3). Assim, foi definido que, se o somatório da pontuação destes dois parâmetros fosse igual a 0 (zero), o Interesse Econômico e Ambiental da barragem seria considerado “Pequeno”. Se o somatório fosse igual a 1 (um) ou 2 (dois), o Interesse Econômico e Ambiental seria considerado “Médio”. E, finalmente, se o somatório fosse 3 (três), 4 (quatro) ou 5 (cinco),



o Interesse Econômico e Ambiental da barragem seria considerado “Elevado”, conforme representado na Tabela 5.6. A pontuação para cada classe foi mantida a mesma em relação ao modelo original.

**Tabela 5.6 – Pontuação para definição do interesse econômico e ambiental**

Somatório dos valores de “Interesse Ambiental a Jusante” e “Instalações na Área de Jusante” DN 87 (COPAM, 2005)	Interesse Econômico e Ambiental (Potencial de Risco Modificado)
$\sum = 0$	Pequeno (1,0)
$\sum = 1$ ou 2	Médio (1,2)
$\sum = 3, 4$ ou 5	Elevado (1,5)

Aplicando os valores dos três aspectos Periculosidade (P), Vulnerabilidade (V) e Importância Estratégica (I) na equação 5.4, tem-se o Potencial de Risco (PR) para cada barragem. Observa-se que não houve alterações na fórmula, sendo considerada a mesma do modelo original.

$$PR = \frac{(\sum P + \sum V)}{2} \times I \quad \text{Eq. (5.4)}$$

Foi, a princípio, definida as seguintes classes de potencial de risco. Se (PR) for maior que 70 pontos, o potencial de risco é considerado alto e a barragem se encontra em estado de emergência. Nesta condição, ações devem ser tomadas para a reestruturação da barragem e após as correções das não conformidades, os dados da barragem devem ser aplicados novamente no modelo para se obter nova classificação de potencial de risco.

Se o valor do (PR) estiver entre 46 e 70, o potencial de risco é considerado médio e a barragem se encontra em estado de alerta. A atenção deve ser voltada para estas estruturas para evitar qualquer tipo de problema futuro.

Se o valor de (PR) estiver entre 28 e 45, o potencial de risco é considerado normal; entre 16 e 27 o potencial de risco é considerado baixo e, abaixo de 15 é considerado muito baixo.

O enquadramento das barragens em classes de potencial de risco permite definir a frequência de inspeções conforme apresentado na Tabela 3.12, do Capítulo 3 - Revisão de Literatura.

Esta informações auxiliam empresas e órgãos fiscalizadores na tomada de decisões quanto ao gerenciamento destas estruturas, antecipando ações, de modo a evitar falhas e acidentes.

## **5.2 Calibração do modelo de potencial de risco**

Devido as modificações realizadas no modelo de potencial de risco adotado foi necessário realizar uma calibração da pontuação, para que o modelo apresentasse resultados representativos e condizentes com a realidade, de modo a ser utilizado como uma ferramenta de avaliação do real estado de segurança da barragem.

Para definição das classes da nova pontuação, a calibração foi realizada considerando barragens hipotéticas, comparando com as barragens do Grupo Controle e aplicando as mesmas correlações adotadas no modelo original.

Supondo uma barragem hipotética, e aplicando para cada parâmetro a maior pontuação possível (considerando a situação mais crítica da barragem), somar-se-ia uma pontuação final de 115 pontos. No modelo original (sem as modificações), esta pontuação seria de 105 pontos. Assim, percebe-se um aumento de 10 pontos de um modelo para outro.

Aplicando valores médios no modelo modificado, a pontuação total seria 65 pontos (no modelo original a pontuação seria 60 pontos). E aplicando os valores mínimos a pontuação é no modelo modificado passa a ser de 08 pontos, e no modelo original também é de 08 pontos.

Considerando que as barragens Classe A do modelo original (alto potencial de risco) são enquadradas nesta classe a partir de 65 pontos (Tabela 5.7) e que uma barragem hipotética na situação mais crítica soma 105 pontos, e correlacionando com as barragens do Grupo Controle (em que já se conhece sobre a estabilidade das estruturas), pode-se perceber uma relação entre estas variáveis e aplicar esta correlação de acordo com as modificações realizadas no modelo.

Assim, foi possível estabelecer uma relação de como a pontuação do modelo original foi definida e aplicar esta pontuação ao modelo modificado.

Em algumas barragens, de acordo com os relatórios de auditoria técnica, o auditor não garantiu a estabilidade das estruturas, por necessitarem de obras para adequação das condições de segurança ou por falta de documentação/informação. Estas barragens, classificadas na presente pesquisa como Barragens do Grupo Controle, serviram de referência para comparação com os resultados do modelo de potencial de risco, permitindo realizar a

calibração e verificar a sua funcionalidade.

Outro aspecto considerado é que em algumas barragens nem todos os dados estavam disponíveis para preencher todos os requisitos do modelo, motivando a adoção de algumas premissas, conforme descrito a seguir:

- Algumas informações que não estavam explícitas nos relatórios de auditorias técnicas (exemplo: tempo de operação da barragem e tipo de fundação) foram preenchidas no modelo para a pior situação possível;
- Algumas informações foram interpretadas baseando-se na presença/ausência e na identificação de um fato. Como elucidação pode-se dizer que se a barragem possui algum tipo de problema, como por exemplo, trincas e rachaduras, essa informação deve constar no laudo de auditoria técnica. Se no laudo não estiver especificado estes problemas, para esta pesquisa, foi interpretado que estas barragens não apresentam trincas e rachaduras.

Após a aplicação dos dados no modelo proposto, foi realizada calibração para verificar a representatividade dos resultados. Devido à exclusão/inclusão de parâmetros no modelo, a pontuação final para definição das classes de potencial de risco foi alterada, conforme apresentado na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7 – Pontuação Modificada**

<b>Classe</b>	<b>Potencial de Risco – PR Menescal <i>et al</i> 2001</b>	<b>Potencial de Risco – PR Modificado</b>
A	> 65 (ou $V_i=10$ ) – alto	> 70 (ou $V_i=10$ ) – alto / emergência
B	40 a 65 – médio	46 a 70 – médio / alerta
C	25 a 40 – normal	28 a 45 – normal
D	15 a 25 – baixo	16 a 27 – baixo
E	< 15 – muito baixo	< 15 – muito baixo

Fonte: Modificado de Menescal *et al* (2001).

## 6 APLICAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL DE RISCO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização das alterações e das calibrações necessárias para obter informações representativas, os dados das 124 estruturas selecionadas foram aplicados ao Modelo de Potencial de Risco Modificado. Os resultados desta aplicação são apresentados neste capítulo.

### 6.1 Periculosidade

Para o cálculo da Periculosidade foi utilizada a equação 5.1, tendo sido adotado os valores referentes à dimensão da barragem, ao volume do reservatório, ao tipo de barragem e ao tipo de fundação e à vazão de projeto, constantes na Tabela 5.1.

A Figura 6.1 apresenta a porcentagem encontrada para cada nível de Periculosidade, sendo que 48 % das barragens apresentam Periculosidade elevada ( $P > 30$ ) e 51 % apresentam Periculosidade significativa ( $P$  20 a 30).

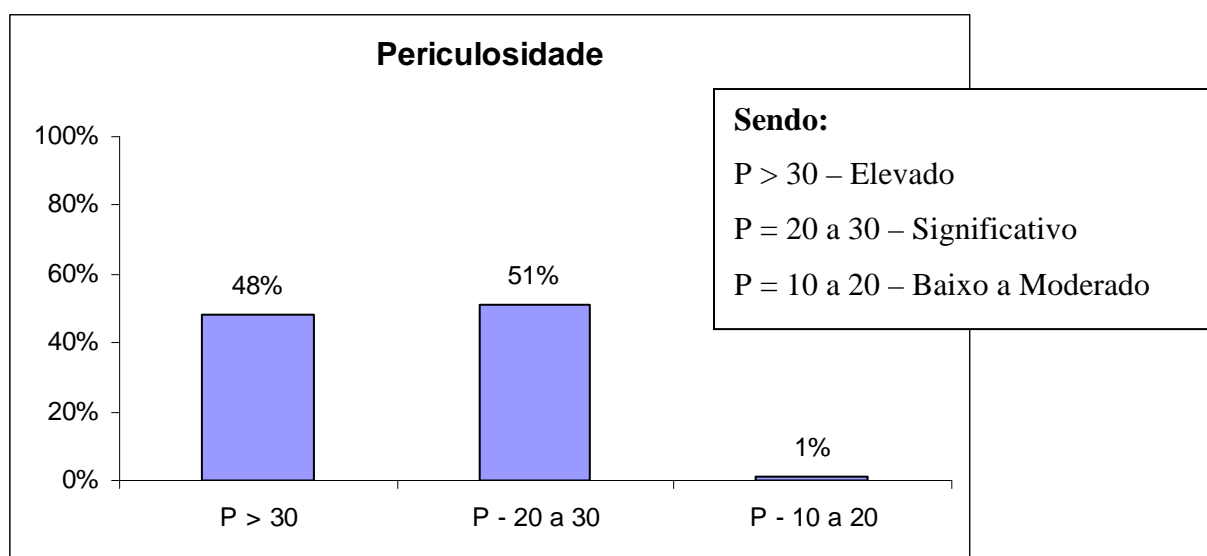
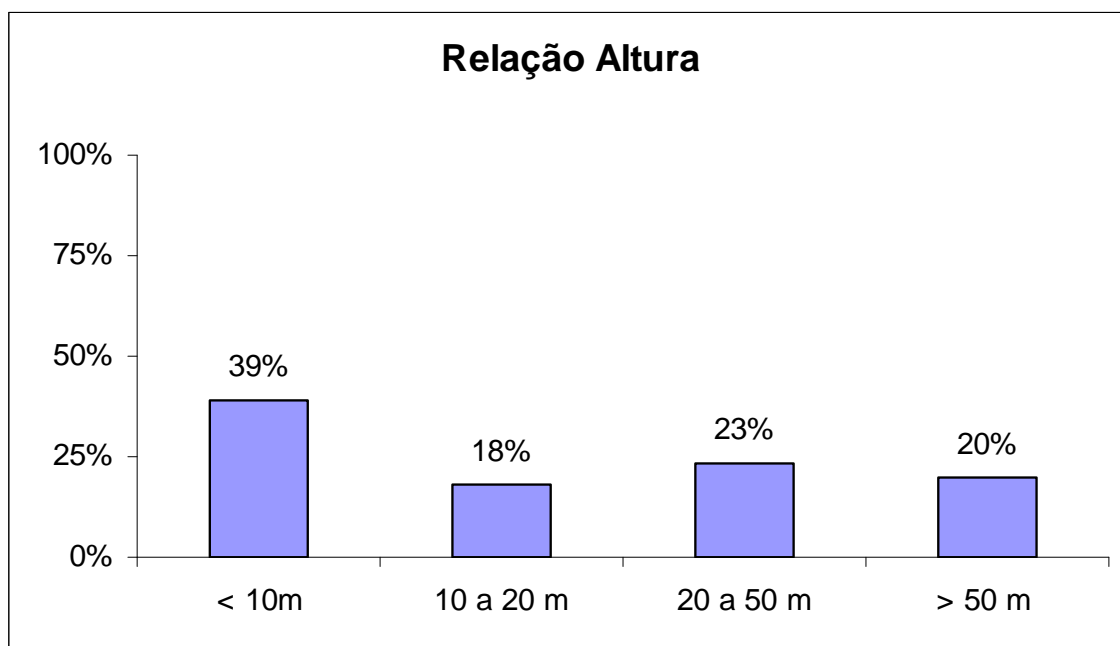


Figura 6.1 – Periculosidade.

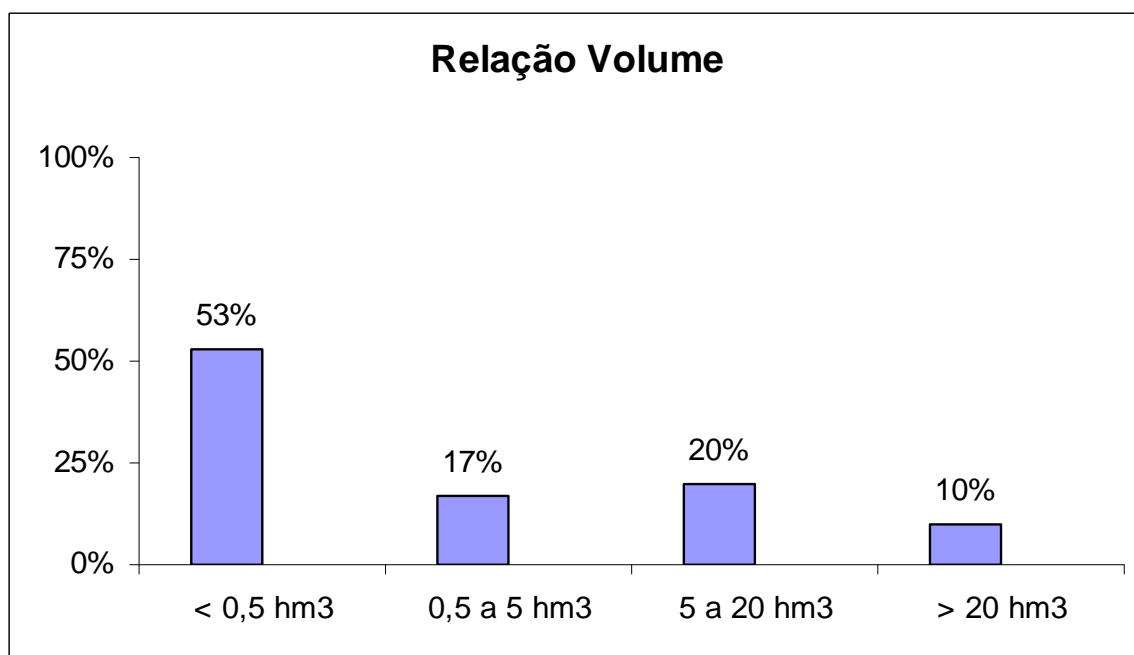
Analisando separadamente cada parâmetro que compõe a Periculosidade (altura, volume, tipo de barragem, tipo de fundação e vazão de projeto) apresentados nas figuras 6.2 a 6.6, percebe-se quais parâmetros foram responsáveis por manter a Periculosidade elevada. Vale lembrar que quanto maior a pontuação recebida em cada parâmetro pior é a condição da barragem em relação ao potencial de risco.

De acordo com as Figuras 6.2 e 6.3, a maior parte das barragens pertence às classes de reservatório de menor capacidade [39 % das barragens pertencem à classe de altura menor que 10 metros e por isso recebem pontuação igual a 01 (um) e 53 % das barragens pertencem

à classe de volume menor que  $0,5 \text{ hm}^3$ , com pontuação igual a 03 (três)]. Isso garante uma baixa pontuação no modelo, portanto, estes parâmetros não afetaram diretamente os resultados responsáveis pela elevada Periculosidade.

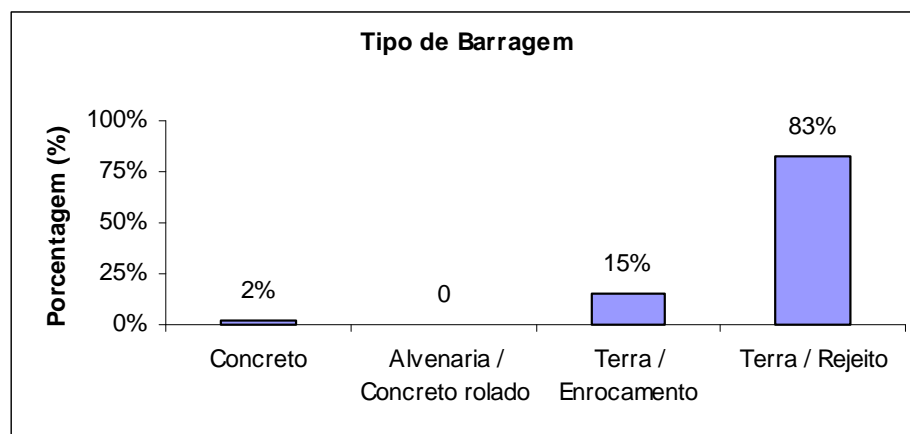


**Figura 6.2** – Periculosidade: Relação Altura



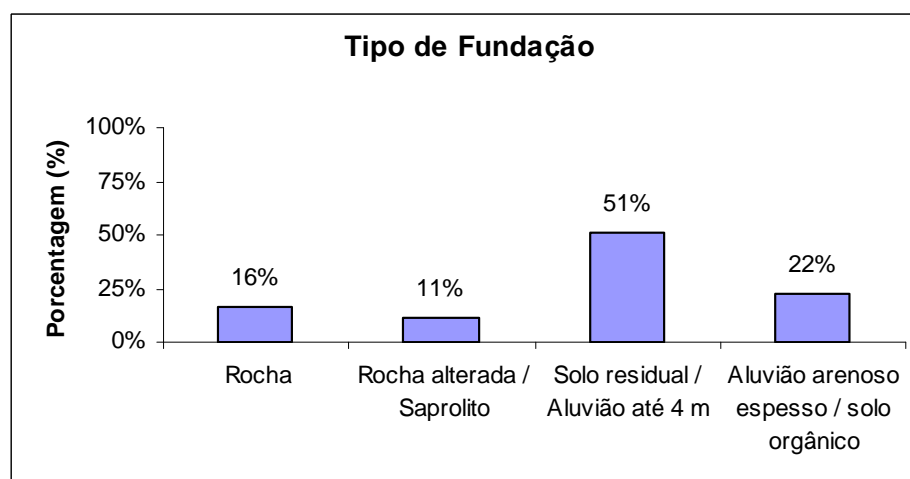
**Figura 6.3** – Periculosidade: Relação Volume.

Já o tipo de barragem, conforme apresentado na Figura 6.4, reflete nos resultados, uma vez que 83 % das barragens foram construídas com terra ou rejeitos, o que conferem 10 (dez) pontos para barragem, elevando de forma mais significativa a pontuação.



**Figura 6.4 – Periculosidade: Tipo de Barragem.**

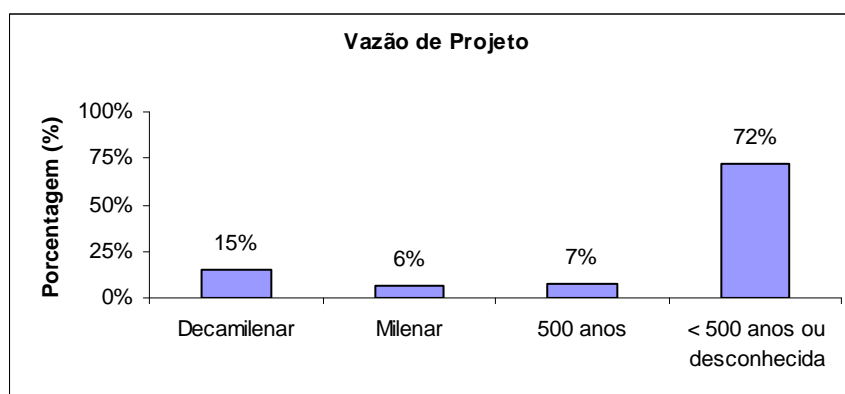
Analisando a Figura 6.5, verifica-se na distribuição dos tipos de fundação que aproximadamente metade das barragens apresentaram fundação em solo residual ou aluvião até 4 metros, recebendo uma pontuação de 5 (cinco) pontos.



**Figura 6.5 – Periculosidade: Tipo de Fundação.**

Conforme a Figura 6.6, 72 % das estruturas apresentaram vazão de projeto menor que 500 anos ou desconhecida, recebendo 10 (dez) pontos na classificação. Ao aplicar os dados no modelo foi observado que na maior parte das barragens de resíduos industriais o parâmetro Vazão de Projeto é desconhecido, ou seja, as barragens são dimensionadas sem considerar a vazão em caso de cheias extremas, sendo, portanto desconhecida a capacidade da barragem suportar uma enchente.

Os proprietários e projetistas de barragem deveriam ficar atentos principalmente ao parâmetro de vazão de projeto, uma vez que barragens mal dimensionadas podem resultar em uma série de problemas nos períodos de chuvas. Segundo ICOLD (1999), questões relacionadas à gestão das águas são as principais causas de acidentes em barragens.



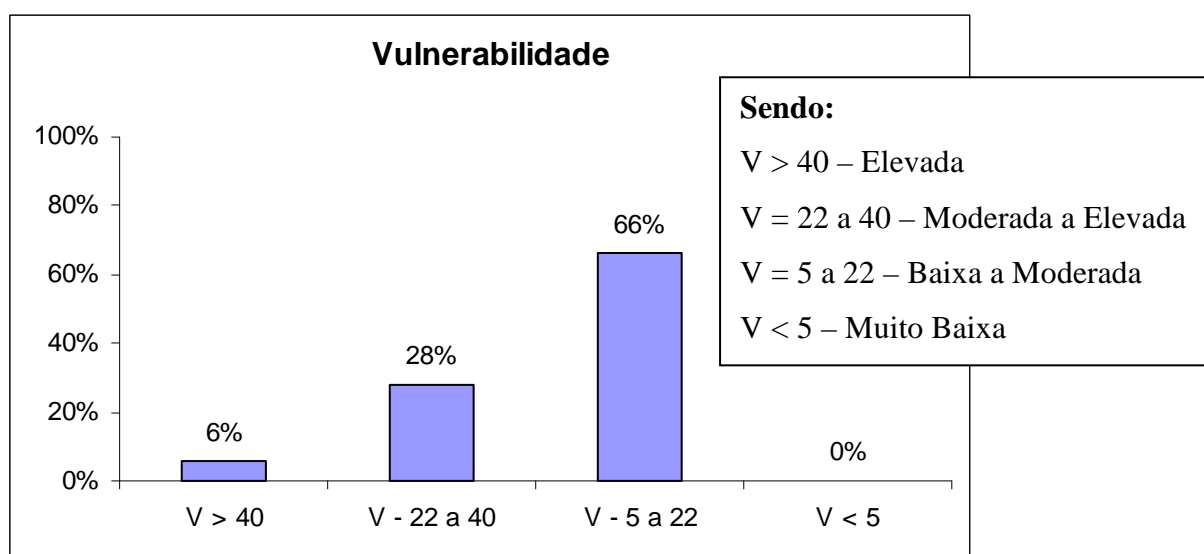
**Figura 6.6** – Periculosidade: Vazão de Projeto.

Considerando que valores de 20 a 30 pontos indicam uma Periculosidade Significativa, conforme o modelo de Menescal *et al* (2001), observou-se que apenas dois parâmetros (tipo de barragem e vazão de projeto) foram responsáveis por 20 (vinte) pontos da Periculosidade, justificando os elevados índices encontrados para este aspecto.

## 6.2 Vulnerabilidade

Para o cálculo da Vulnerabilidade foi utilizada a equação 5.2, tendo sido adotado os valores referentes ao tempo de operação, existência de projeto *as built*, alteamento, confiabilidade das estruturas vertedouras, percolação, presença de deformações ou afundamentos, deterioração dos taludes, instrumentação e monitoramento, constantes na Tabela 5.3.

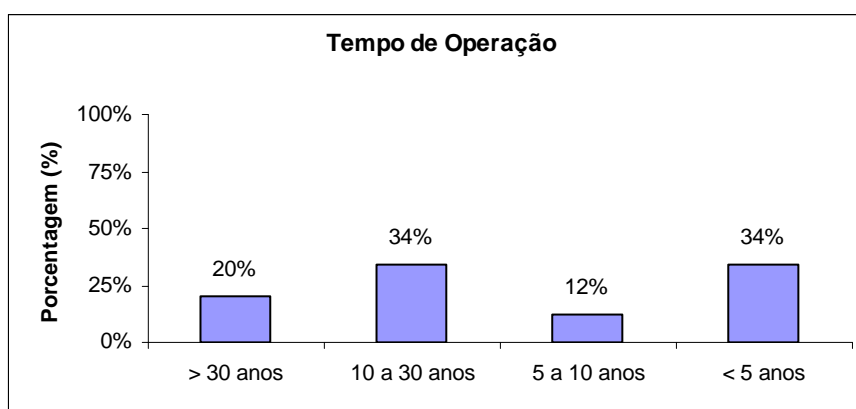
Quanto aos valores obtidos para a Vulnerabilidade, de acordo com a Figura 6.7, observou-se que a maior parte das barragens (66 %) apresentou Vulnerabilidade baixa a moderada, portanto índices menos preocupantes do que de Periculosidade, com predominância de faixa elevada.



**Figura 6.7** – Vulnerabilidade.

Analisando separadamente cada parâmetro que compõe a Vulnerabilidade (tempo de operação, existência de projeto *as built*, confiabilidade das estruturas vertedouras, alteamento, percolação, deformações, deterioração, instrumentação e monitoramento) apresentados nas figuras 6.8 a 6.15, pode-se avaliar quais parâmetros foram responsáveis por manter a Vulnerabilidade alta ou baixa.

A Figura 6.8 apresenta o tempo de operação das barragens. De acordo com o modelo de Menescal *et al* (2001), quanto maior o tempo de operação mais estável é a barragem, sendo os cinco primeiros anos a idade mais crítica, pois é neste período que acontecem as acomodações e a verificação da capacidade suporte da barragem. De acordo com os resultados mostrados na Figura 6.8, o peso da pontuação do Tempo de Operação não é um fator determinante para o potencial de risco, uma vez que a situação mais crítica (tempo de operação < 5 anos) recebe apenas 03 (três) pontos, de acordo com a Tabela 5.3.

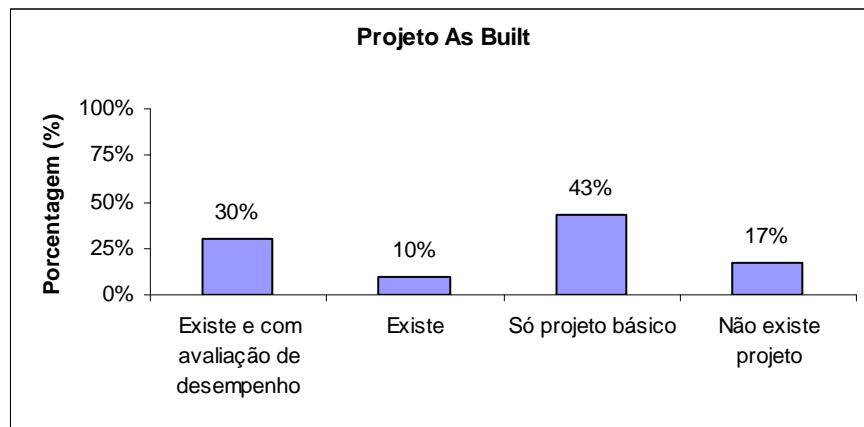


**Figura 6.8** – Vulnerabilidade: Tempo de Operação.

De acordo com a Figura 6.9, a maior parte das barragens (43 %) apresentou apenas o projeto básico, ficando ausente a revisão do projeto com as inclusões das alterações durante a fase de construção e operação. De acordo com o item 3.9 do Capítulo 3, Revisão da Literatura, o projeto *as built* é extremamente importante para se conhecer as reais condições da barragem após a construção.

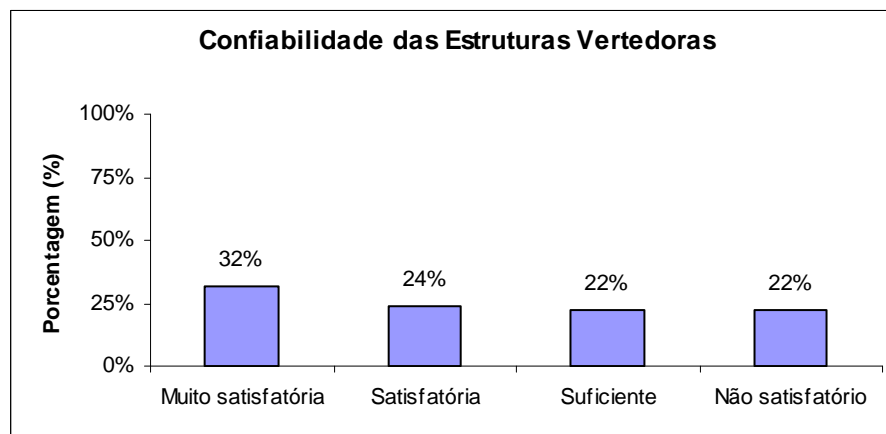
Vale a pena ressaltar que a maior parte das barragens que apresentam projeto *as built* e avaliação de desempenho são as barragens de contenção de rejeitos de mineração, que, por apresentarem maiores dimensões do que as barragens de resíduos industriais, apresentam maior controle da documentação e estudos mais aprofundados sobre suas estruturas. Percebeu-se ao aplicar os dados no modelo que, em geral, as barragens de resíduos industriais apresentam apenas projeto básico, ou o mesmo não existe.





**Figura 6.9** – Vulnerabilidade: Projeto *as built*.

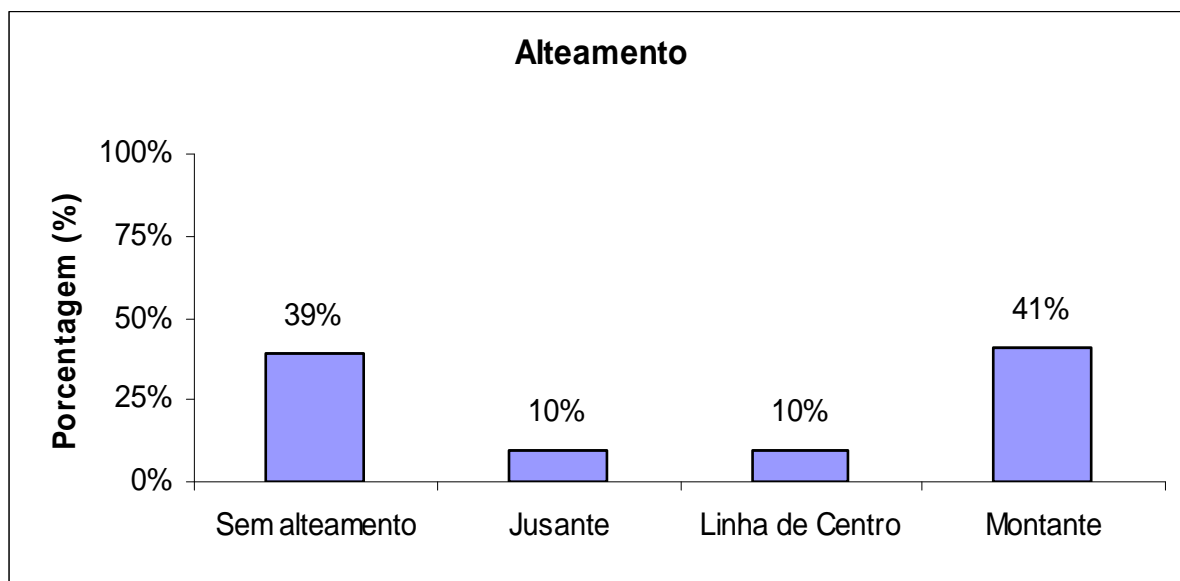
A Figura 6.10 apresenta uma distribuição uniforme entre as classes de confiabilidade das estruturas vertedouras, sendo que a maioria se apresenta como muito satisfatória ou satisfatória. Ao aplicar os dados neste parâmetro foi observado que o modelo original não distingue claramente as diferenças para classificar a confiabilidade das estruturas vertedouras como muito satisfatória, satisfatória ou suficiente. Por isso, para aprimorar a interpretação dessa variável foram utilizadas as informações presentes nos relatórios de auditorias técnicas de segurança do banco de dados do SIAM, discutidas no item 4.1 - Considerações Gerais do Capítulo 4 - Metodologia.



**Figura 6.10** – Vulnerabilidade: Confiabilidade das estruturas vertedouras.

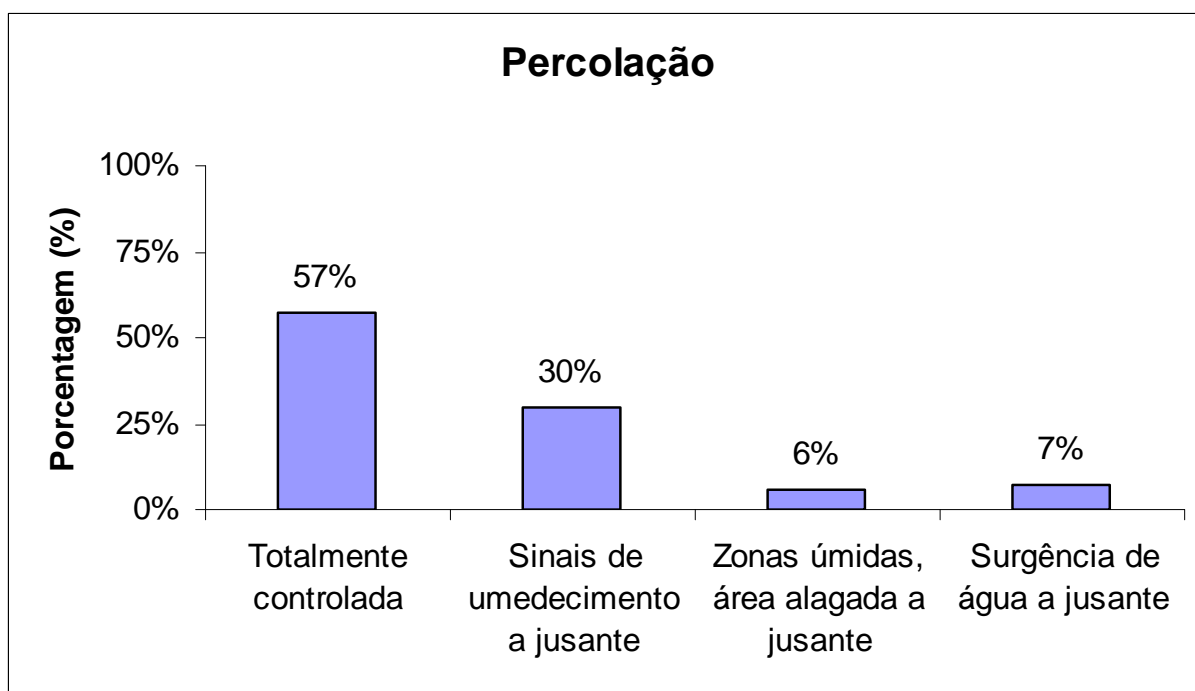
Na Figura 6.11, percebeu-se que a maior parte das barragens (41 %) são alteadas pelo método de montante, comprovando o que diz a literatura (item 3.2 do Capítulo 3, Revisão de Literatura). Este método é o mais utilizado por apresentar menores custos e facilidade de construção (menor demanda de volume de material para construção), mesmo apresentando menor confiabilidade em relação a outros métodos.

Registra-se que grande parte das barragens de resíduos industriais não apresentam alteamento, identificado no grupo de 39 %, conforme a Figura 6.11.

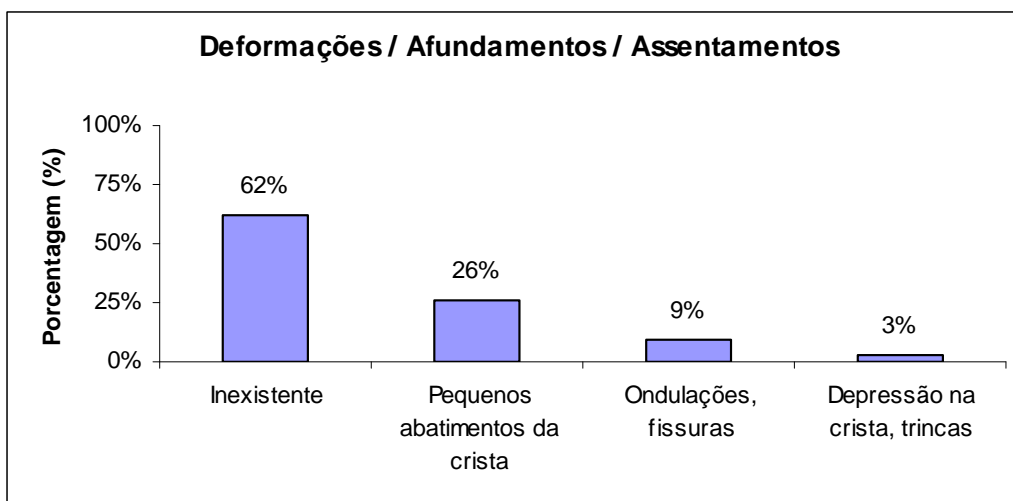


**Figura 6.11 – Vulnerabilidade: Alteamento.**

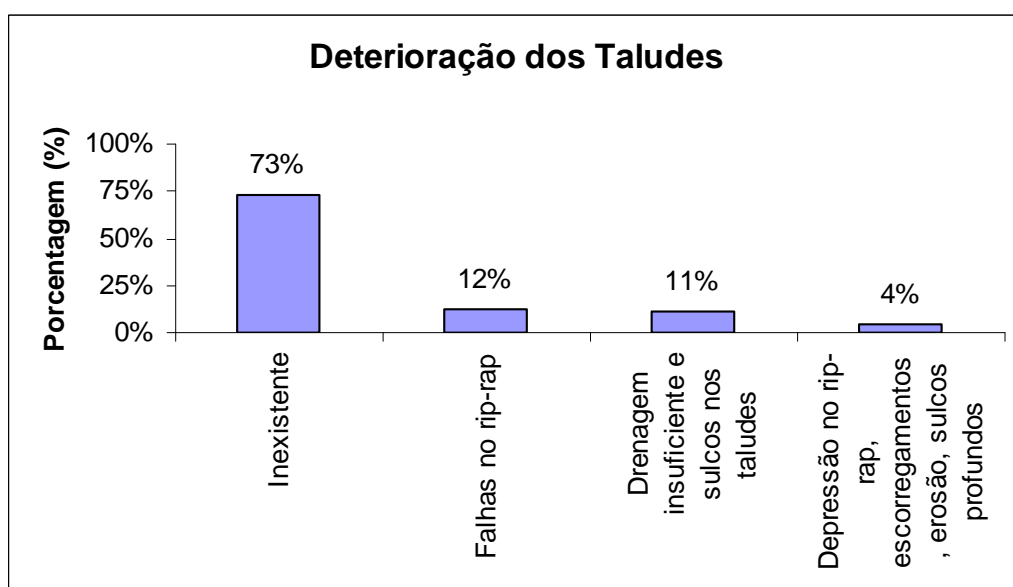
Nas figuras 6.12 a 6.14, observou-se que a maior parte das barragens apresentou resultados adequados quanto à percolação, deformação e deterioração, de acordo com os relatórios de auditorias técnicas de segurança.



**Figura 6.12 – Vulnerabilidade: Percolação.**



**Figura 6.13** – Vulnerabilidade: Deformações, afundamentos, assentamentos.

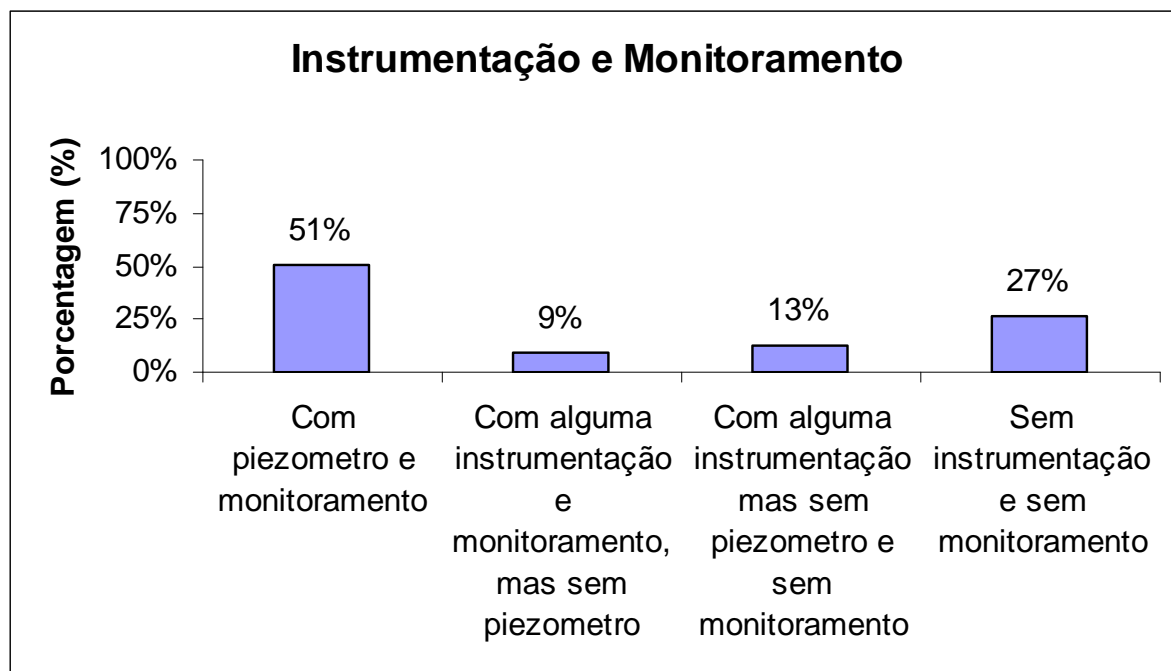


**Figura 6.14** – Vulnerabilidade: Deterioração dos taludes.

O modelo original de Menescal *et al* (2001) não aborda a presença de instrumentação e monitoramento. Este parâmetro foi incluído no modelo adotado nessa dissertação, devido à importância em se conhecer e avaliar a evolução do comportamento da barragem ao longo do tempo.

Conforme a Figura 6.15, cerca de 50 % das barragens apresentaram instrumentação e monitoramento. Pode-se afirmar, baseado nos relatórios de auditorias técnicas de segurança das barragens consultados, que a maior parte destas barragens são de contenção de rejeitos de mineração, uma vez que estruturas de resíduos industriais apresentam menor porte e conseqüentemente os investimentos são menores, e os estudos e projetos são menos aprofundados.

Para aumentar o controle diante dessa situação e diminuir o risco de rupturas inesperadas, a DN 62 (COPAM, 2002) foi alterada e complementada pela DN 113 (COPAM, 2007), conforme apresentado no Capítulo 3, item 3.8.5. O objetivo é manter informações atualizadas sobre estas estruturas, principalmente no período de chuvas.



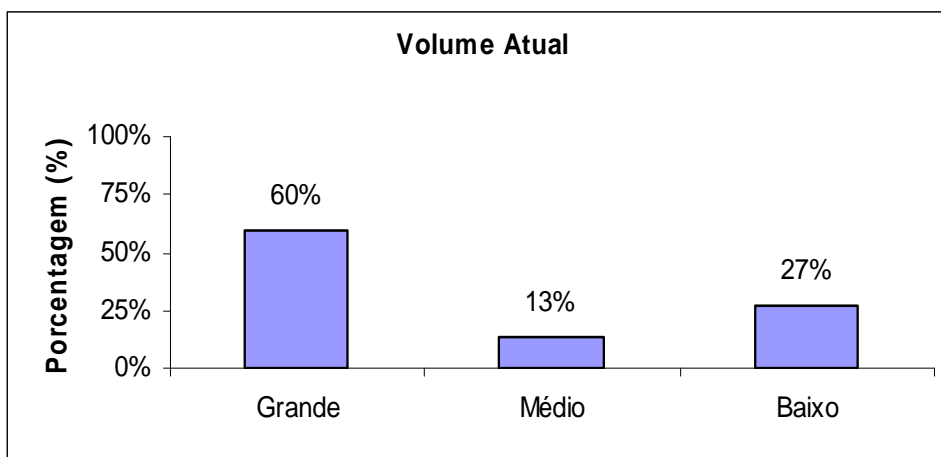
**Figura 6.15** – Vulnerabilidade: Instrumentação e monitoramento.

### 6.3 Importância Estratégica

O terceiro e último aspecto avaliado no modelo de potencial de risco adotado nesta pesquisa é a Importância Estratégica da barragem, que representa a dimensão dos possíveis impactos causados em caso da ruptura, através da avaliação do volume atual, população a jusante e interesse econômico e ambiental a jusante.

O cálculo da Importância Estratégica foi realizado através da Equação 5.3, cujos dados estão apresentados na Tabela 5.4.

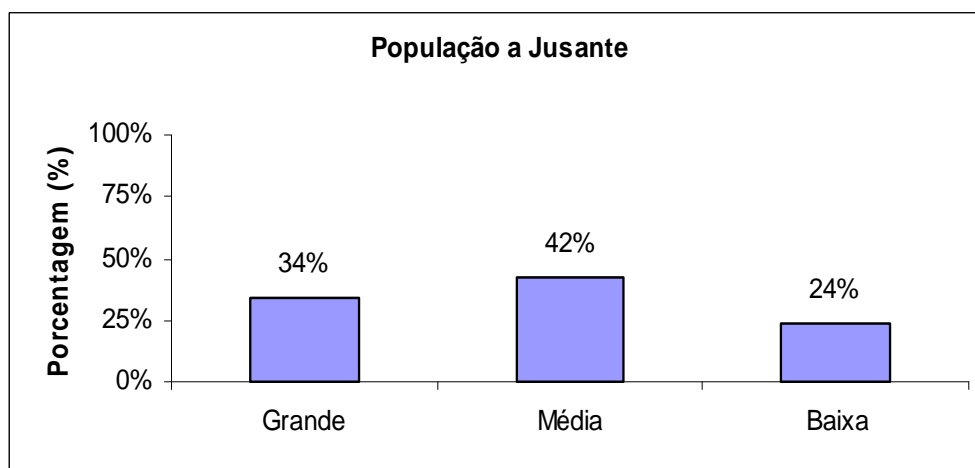
Analisando a Figura 6.16, percebe-se que 60 % das barragens apresentam volume atual grande. A classificação para o Volume Atual ocorreu de acordo com a Tabela 5.4, pela disponibilidade de informações presentes nos relatórios de auditorias técnicas de segurança das barragens.



**Figura 6.16** – Importância estratégica: Volume útil.

A Figura 6.17 representa a presença de população a jusante. Somando a presença de população Grande e Média, tem-se 76 % das barragens com população a jusante, o que preocupa em caso de um rompimento.

Nestas situações, um Plano de Contingência consistente deve envolver toda comunidade potencialmente afetada, prevendo como se comportar em situações de emergências, dimensionando os possíveis impactos e sua extensão, além de executar ações de controle eficientes para minimizar o risco de acidentes.



**Figura 6.17** – Importância estratégica: População a jusante.

De acordo com a Figura 6.18, 70 % das barragens apresentaram Interesse Econômico e Ambiental a jusante médio. Isso significa que em caso de um rompimento a dimensão do impacto em relação aos custos de recuperação a jusante é considerado médio. Uma das defasagens deste modelo é que não é possível definir quantitativamente a abrangência do

impacto como pequeno, médio ou elevado, pois o modelo apresenta como resultado dados qualitativos.

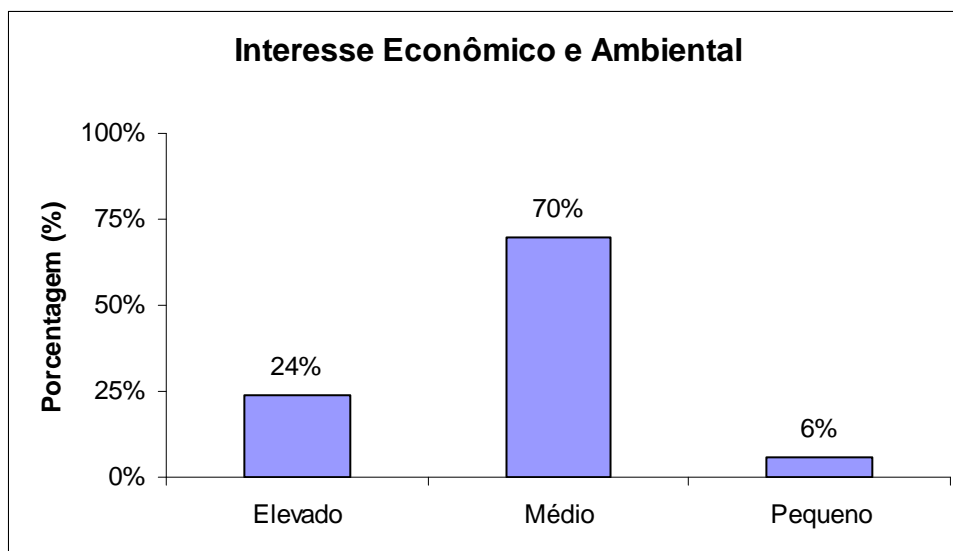


Figura 6.18 – Importância estratégica: Interesse econômico e ambiental.

#### 6.4 Classificação das barragens de acordo com o modelo de potencial de risco modificado

Após a aplicação dos dados no modelo, as barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais foram classificadas de acordo com o potencial de risco, através da Equação 5.4. Os resultados da classificação de (PR) em níveis alto/emergência, médio/alerta, normal, baixo ou muito baixo estão explícitos na Figura 6.19.

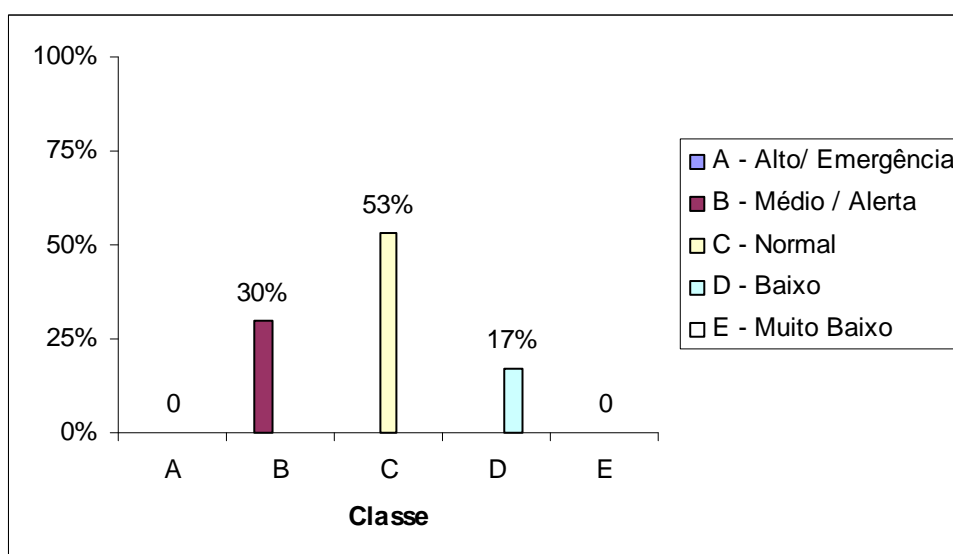


Figura 6.19 – Classificação do modelo potencial de risco modificado.

De acordo com a Figura 6.19, 53 % das barragens foram classificadas com potencial de risco normal, 17 % das barragens apresentaram baixo potencial de risco e 30 % barragens

apresentaram potencial de risco médio/alerta. Nenhuma barragem foi classificada com potencial de risco alto/emergência ou muito baixo.

De acordo com esta classificação, podem ser definidas práticas de gerenciamento e frequências de inspeções, conforme a Tabela 3.12 do Modelo de Menescal *et al* (2001), apresentada no item 3.11 do Capítulo 3, Revisão de Literatura. As barragens que apresentam potencial de risco normal devem passar por inspeção periódica com emissão de relatório completo a cada dois anos e por inspeção formal a cada dez anos. Para as barragens classificadas com potencial de risco baixo, a inspeção periódica também acontece a cada dois anos, porém o relatório pode ser simplificado. A inspeção formal deve acontecer a cada quinze anos. Já para as barragens classificadas com potencial de risco médio/alerta, a inspeção periódica com emissão de relatório completo deve ser anual e a inspeção formal deve acontecer a cada cinco anos.

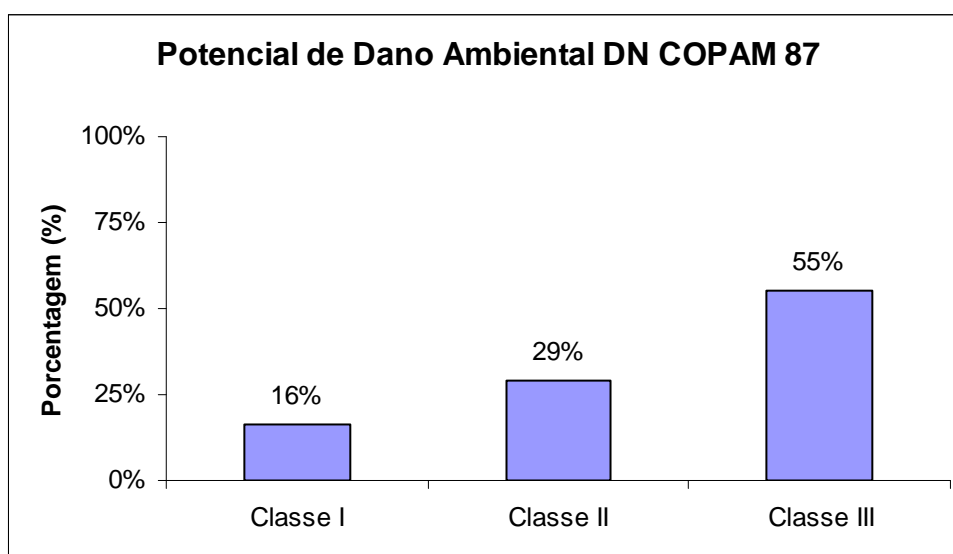
Os resultados do modelo considerado nesta pesquisa indicam que 30 % das barragens avaliadas estão em estado de alerta, com potencial de risco médio de ruptura. Para evitar que situações negativas ocorram, devem ser tomadas ações para correções das não conformidades encontradas nestas estruturas. A responsabilidade pela implantação de ações é da empresa e dos responsáveis técnicos pela estrutura. O órgão fiscalizador deve atuar na cobrança dos resultados e na verificação do cumprimento das ações no prazo pré-estabelecido.

#### ***6.5 Análise dos resultados obtidos através da metodologia de Potencial de Risco Modificado comparados com os gerados na metodologia de potencial de dano ambiental (COPAM, 2005)***

Ao se comparar os resultados obtidos pelo modelo de potencial de risco modificado com os gerados pelo potencial de dano ambiental (COPAM, 2005), deve-se atentar para o fato que um modelo avalia o potencial de risco de uma ruptura enquanto o outro avalia as consequências em relação ao dano ambiental em caso de uma ruptura.

Outro aspecto a ser salientado é que a metodologia de potencial de dano ambiental classifica as estruturas em 3 classes (I, II e III) enquanto que a de potencial de risco assume 5 classes (alto/emergência, médio/alerta, normal, baixo ou muito baixo). Se for adotado como critério as mesmas relações, para fins de “comparação”, desconsiderando-se as classes muito baixo e alto/emergência (extremos) ao modelo de potencial de risco, uma vez que nenhuma barragem do universo avaliado se enquadrava nestas classes, poderia ser realizado uma comparação, para fins de aprofundamento científico na busca de correlações entre as metodologias.

A Figura 6.20 apresenta os resultados obtidos através da análise do potencial de dano ambiental das barragens adotadas nesta pesquisa. De acordo com a classificação da DN 87 (COPAM, 2005), 16 % das barragens do grupo amostral são de classe I (baixo potencial de dano ambiental), 29 % das barragens são de classe II (médio potencial de dano ambiental), e 55 % barragens são de classe III (alto potencial de dano ambiental). Conforme apresentado no item 3.8.4 da Revisão de Literatura, esta classificação define a frequência de inspeções e realização de auditoria técnica de segurança através de consultor externo, sendo de três em três anos para classe I, de dois em dois anos para classe II e anual para a classe III.



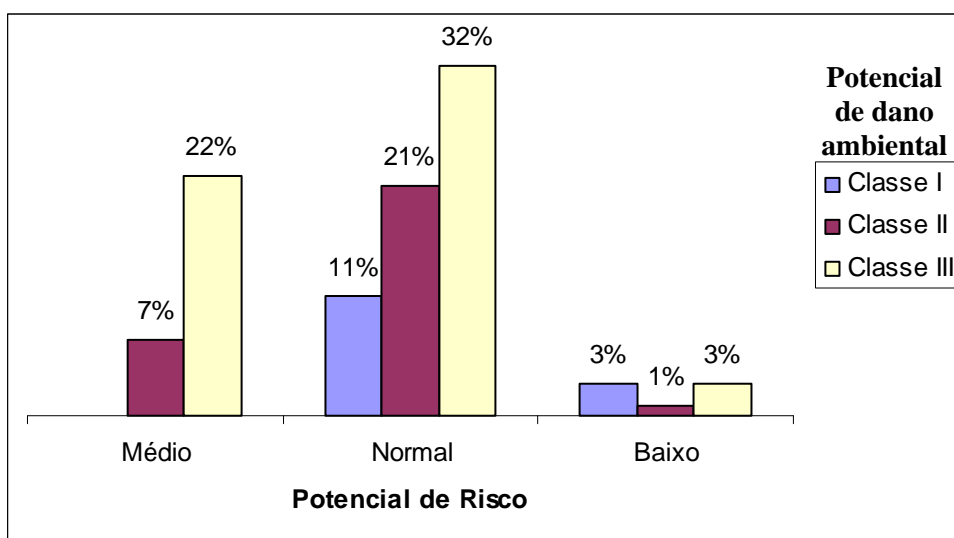
**Figura 6.20** – Classes de potencial de dano ambiental de acordo com a DN 87 (COPAM, 2005).

A Figura 6.21 apresenta a combinação dos resultados do modelo de potencial de risco modificado com a classificação de dano ambiental (COPAM, 2005).

Dentre as barragens classificadas como potencial de risco médio, 22 % são de classe III em relação ao potencial de dano ambiental. Estas barragens apresentaram um potencial de risco médio de romper e caso isso aconteça os impactos a jusante serão altos, por isso estas estruturas merecem prioridade de atenção por parte das empresas e órgãos fiscalizadores, uma vez que apresentam a situação mais crítica em ambos os modelos.

Dentre as barragens classificadas como potencial de risco normal, 32 % são de classe III em relação ao potencial de dano ambiental, 21 % são de classe II e 11 % de classe I. Isso significa que estas barragens apresentaram um potencial de risco normal de romper, mas caso isso aconteça os impactos a jusante serão altos para 32 % destas barragens, médios para 21 % e baixo para 11 %. Já para as barragens classificadas como baixo potencial de risco, apenas 3 % são de classes I e III e 1 % de classe II.





**Figura 6.21** – Combinação dos resultados do modelo de potencial de risco modificado com o potencial de dano ambiental DN nº 87 (COPAM, 2005).

Vale a pena destacar que em ambos modelos, a porcentagem de barragens classificadas como baixo potencial de risco / baixo potencial de dano ambiental é muito próxima (17 % e 16 %, respectivamente), conforme apresentado na Tabela 6.1. Estes dados reforçam ainda mais a calibração do modelo, na busca por resultados representativos e funcionais.

**Tabela 6.1** – Paralelo entre o modelo potencial de risco modificado e classificação de potencial de dano ambiental

Potencial de Risco Modificado		Potencial de Dano Ambiental	
<b>Baixo</b>	17 %	<b>Classe I – Baixo</b>	16 %
<b>Normal</b>	53 %	<b>Classe II – Médio</b>	29 %
<b>Médio / alerta</b>	30 %	<b>Classe III - Alto</b>	55 %

No entanto, a partir da classe II (potencial de dano ambiental médio) / potencial de risco normal, este quadro se inverte. Isso se justifica pelos parâmetros avaliados em cada metodologia. Observa-se pelo modelo potencial de risco modificado parâmetros que não são considerados na DN 87 (COPAM, 2005) e que são significativos para definição dos resultados. Tais parâmetros foram apresentados no Capítulo 6 (Aplicação do modelo de potencial de risco modificado e análise dos resultados). Como exemplo, cita-se a vazão de projeto, o tipo de barragem e a existência de projeto *as built*, que no universo considerado foram responsáveis por pontuações elevadas na definição dos resultados. Já as relações de altura, volume, percolação e deterioração dos taludes foram responsáveis em manter baixas pontuações para definição da classificação.

O modelo proposto nesta pesquisa apresenta-se como uma ferramenta valiosa para gestão de

barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais, pois incorpora parâmetros específicos destas estruturas para a avaliação do potencial de risco de ruptura, o que torna os resultados mais condizentes com a realidade.

Juntamente com a classificação de dano ambiental estabelecida pela DN 87 (COPAM, 2005), os empreendedores e órgãos fiscalizadores possuem em mãos ferramentas de gestão que permitem intervenção de forma preventiva, possibilitando antecipação de ações e evitando eventos inesperados.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Este capítulo apresenta as considerações sobre a revisão de literatura e as considerações sobre o modelo de potencial de risco proposto, estabelecendo também sugestões para pesquisas futuras.

### **7.1 Considerações sobre a Revisão da Literatura**

Apesar da legislação, do conhecimento e da tecnologia disponíveis, as barragens de contenção de rejeitos e de resíduos continuam rompendo e causando prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Uma razão comum para as falhas é que as barragens não são operadas de acordo com critérios adequados de projeto, construção e operação.

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, observou-se que diversos países distinguem classes de barragens (de acordo com suas dimensões ou o nível do risco a jusante) com especificações particulares para cada categoria. Em alguns países como Áustria, França, Itália, Estados Unidos e Canadá todas as barragens são abrangidas por legislação, e ainda há procedimentos especiais ou regras técnicas para os casos mais críticos. A definição do tipo de barragens referidas por regulamentos é muito provavelmente ligada ao número de barragens de cada país. Porém, um aspecto que dificulta esta estatística é que poucos países realizam inventário de suas barragens.

O primeiro passo para gestão da segurança de barragens é realizar um inventário sobre estas estruturas. É preciso conhecer as dimensões (altura, volume, comprimento da crista, etc), as características de projeto e operação (barragem de terra, concreto, alteadas com o próprio rejeito, presença de instrumentação, etc) e o risco potencial para definir como será a gestão destas estruturas.

A grande parte dos países não tem controle sobre a quantidade e qualidade das barragens de contenção de rejeitos existentes em seus próprios territórios. A partir deste conhecimento, deve-se executar uma classificação de risco padronizada que irá determinar, dentre outros aspectos, o nível e o tipo de inspeção a ser realizada.

O Brasil não apresenta um inventário sobre suas barragens, entretanto, os esforços para melhorar este processo são necessários de modo que os que legisladores e órgãos fiscalizadores possam ser fornecidos com a informação técnica necessária para alcançar decisões objetivas sobre o investimento de recursos e tomada de decisões para a segurança da barragem.

Embora os órgãos da administração federal, governos estaduais e agentes da iniciativa privada participem conjuntamente do processo de cadastramento e avaliação da situação das construções, os estados do Brasil ainda não apresentam uma classificação padronizada.

Geralmente cada país adota uma relação de altura / volume de acordo com sua realidade. Na África do Sul, por exemplo, uma barragem é abrangida pela legislação se apresentar altura maior que 5 metros e volume maior que 50.000 m<sup>3</sup>. Na Noruega esta altura é 4 metros e o volume 500.000 m<sup>3</sup>. Já na Suíça a altura é de 10 metros e o volume 50.000 m<sup>3</sup>.

A definição das barragens abrangidas por regulamentação engloba as barragens de acordo com sua importância em relação a critérios de altura (com relação ao nível da terra ou da fundação), nível de água a montante, volume do reservatório, área inundável e comprimento da crista

Alguns países também consideram o risco potencial para a população a jusante da barragem, mas os critérios usados para este risco geralmente não são detalhados e cada país adota uma metodologia específica. A altura da barragem e o volume do reservatório são os critérios usados mais frequentemente. Países como Polônia e Suíça aplicam a mesma legislação tanto para barragens de contenção de rejeitos quanto para barragens convencionais.

Existem vários parâmetros que devem ser analisados para a classificação de segurança, e estes parâmetros ainda não foram padronizados pela literatura. Parâmetros quantitativos, como altura, comprimento da crista, consequências sociais, econômicas e ambientais a jusante, questões estruturais das barragens e custos para reabilitação são aspectos que devem ser levados em consideração, mas ainda carecem de estudos. A dificuldade de padronização destes aspectos se baseia nas diferenças de gestão de cada país ou cada região, e pelo fato de cada barragem apresentar características próprias (solo, método de construção, propriedades dos rejeitos, etc).

Definir qual o risco aceitável para cada localidade é um aspecto complexo e que envolve uma série de agentes sociais, lembrando que quanto maior o nível de segurança desejado, maior também serão os custos envolvidos no processo de aplicação e controle destes riscos.

Outra questão importante, da qual depende a segurança, é a de garantir que a legislação seja efetivamente aplicada. Em alguns casos, isso irá ocorrer quando medidas punitivas passarem a ser adotadas.

Através da revisão levantada, percebeu-se que na maioria dos países existe uma legislação a respeito das barragens. Isto certamente justifica a importância destas estruturas do ponto de vista econômico e, sobretudo, quanto à natureza e à escala de possíveis impactos para a população e para a sociedade.

Outro aspecto observado, compartilhado por grande parte dos regulamentos, é que o proprietário e os responsáveis técnicos são identificados claramente como os principais responsáveis pela segurança, e por isso, devem cuidar para que todas as fases do ciclo de vida da barragem sejam executadas de forma segura e com qualidade, pois em caso de um rompimento, estes arcarão com as consequências.

Para isso é importante realizar o monitoramento contínuo das estruturas durante a construção, enchimento e operação. Frequentemente, os procedimentos para monitoramento devem ser aprovados formalmente e as autoridades e órgãos fiscalizadores são informados sobre os resultados deste monitoramento.

Quanto ao aspecto administrativo, os procedimentos variam consideravelmente de um país para outro. Na maioria dos casos um único ministério é responsável pela parte técnica das barragens, a não ser quando envolve proteção ou planos para respostas a emergências. Em outros países, entretanto, esta função é compartilhada por diversos ministérios, especialmente no que se refere aos principais usos das barragens.

Nos Países Baixos, Suécia e Alemanha, as autoridades locais direcionam bastante atenção para as inspeções e regulamentos. Em outros países, como Áustria, França, Itália, Portugal e Romênia, as atividades da administração são auxiliadas por uma comissão formada por profissionais de notório conhecimento.

Em relação aos casos de acidentes, percebe-se que os grandes acidentes geralmente são bem documentados e estudados, porém, as estatísticas sobre os acidentes com pequenas barragens geralmente são deficientes ou mesmo inexistentes. Mais esforços e atenção devem ser dedicados às mesmas, particularmente em função da grande quantidade de pequenas barragens ( $H < 10\text{m}$ ) e pelo fato de muitas destas obras terem sido construídas por empresas privadas, muitas vezes sem os devidos cuidados em termos de projeto (vazão de projeto, estruturas vertedouras, dimensionamento de instrumentação), de uma execução bem cuidada, da realização de inspeções de campo e da implementação de serviços de manutenção.

Os processos de análise de risco continuam a ser desenvolvidos e usados como uma ferramenta para melhorar a compreensão do comportamento da barragem, identificando exigências de inspeção e priorizando investigações e trabalhos de redução do risco. Os reguladores, conjuntamente com proprietários, trabalham com o governo para avançar o conceito de critérios aceitáveis de risco, incentivando o investimento no desenvolvimento e acoplando partes interessadas no processo de avaliação de risco.

## **7.2 Considerações sobre o modelo potencial de risco e recomendações para pesquisas futuras**

A partir das alterações realizadas e da aplicação dos dados do universo de barragens selecionadas no modelo de potencial de risco, algumas considerações foram levantadas.

O modelo aplicado nesta pesquisa não se mostrou muito eficiente para classificar barragens de pequenas dimensões, que geralmente não apresentam informações disponíveis e estudos aprofundados. Isso se justifica pelo fato do modelo avaliar 13 parâmetros e exigir uma série de informações sobre as estruturas e áreas localizadas a jusante. Caso os dados destas barragens sejam aplicados no modelo, a ausência de informações pontuará para a situação mais crítica de cada parâmetro, podendo resultar numa classificação final diferente das condições reais da barragem.

Assim, o modelo se torna mais viável para barragens de maiores dimensões, pois estas geralmente apresentam maior disponibilidade de informações, desde o projeto até o programa de monitoramento, com dados atualizados sobre a situação da barragem.

A metodologia proposta por Menescal *et al* (2001) também apresenta dificuldades quanto à classificação de alguns parâmetros, tais como em relação à Vulnerabilidade. O modelo não indica claramente a forma de enquadrar as características da barragem nas classes de confiabilidade das estruturas vertedouras, percolação, deformações / afundamentos / assentamentos e deterioração dos taludes / paramentos, apresentando subjetividade em relação a estes parâmetros.

Observa-se também uma dificuldade na classificação da Importância Estratégica por não apresentar critérios quantitativos para definir o que vem a ser classificação grande, média e pequena tanto para a população a jusante como para o custo da barragem.

Outro aspecto do modelo é que apesar de considerar pontuações e classificações numéricas, apresenta abordagem apenas qualitativa, não permitindo efetivamente quantificar o potencial

de risco.

No entanto, a metodologia pode ser aperfeiçoada juntamente com a melhoria dos projetos de barragens para que nestes se inclua, sistematicamente, a quantificação dos custos de recuperação da ruptura hipotética da barragem e a quantificação dos danos econômicos, sociais e ambientais.

A ausência de informações sobre as barragens pode ser suprida através da solicitação pelos órgãos fiscalizadores, que podem passar a exigir que os próximos relatórios de auditorias técnicas de segurança conttenham as informações mais explícitas para preenchimento e aplicação no modelo, evitando, assim que dados sejam estimados ou interpretados.

O levantamento de parâmetros necessários para aplicação dos dados no modelo sugere, além das informações já existentes, informações sobre: tipo de barragem, tipo de fundação, vazão de projeto, tempo de operação, existência de projeto “*as built*”, condições das estruturas vertedouras, presença e métodos de alteamento, situação da percolação, deformações, afundamentos e assentamentos, estado da deterioração de taludes/paramentos, escopo da instrumentação e monitoramento.

De modo geral, pode se dizer que a metodologia de análise do potencial de risco se apresenta como uma ferramenta que muito pode contribuir no entendimento do comportamento de uma barragem, definindo pontos para inspeção estratégica, identificando medidas de redução de risco, e, priorizando as investigações e apoio nas tomadas de decisões.

Outra questão importante é não julgar uma barragem apenas com o resultado encontrado no modelo de potencial de risco. É imprescindível a análise do resultado de cada barragem por um responsável de notório conhecimento, para confirmar os resultados. Por exemplo, se uma barragem apresentar pontuação final igual a 45 ela será classificada como potencial de risco normal (frequência de inspeções de dois em dois anos), mas deve se avaliar a possibilidade de se classificar esta barragem como potencial de risco médio (classificação a partir de 46 pontos - frequência de inspeção anual), adotando também como referência a classificação por dano ambiental.

Estudos posteriores poderão ser efetuados para a redução da incerteza em relação ao potencial de risco considerando os diversos modos de ruptura, tais como galgamento por cheias, instabilidade de taludes, ruptura interna (por *piping* e sismos) e pela aplicação, por exemplo, de procedimentos de análise de riscos.

Como resultados finais, o modelo proposto indicou que 17 % das barragens apresentaram potencial de risco baixo, 53 % médio e 30 % alto, o que alertaria a necessidade principal de atentar para estas estruturas.

No contexto atual, em que os instrumentos de política ambiental, tal como o licenciamento ambiental, resultam em processos por vezes complexos e burocráticos, os instrumentos de gestão surgem como de grande valia para manutenção dos empreendimentos na conciliação de interesses econômicos e ambientais.

O relatório de auditoria técnica de segurança (COPAM, 2005) foi um grande passo para gestão dessas estruturas em Minas Gerais, porém, avaliando os resultados obtidos desde a sua implantação percebe-se a necessidade de revisar a sua aplicação, talvez, estabelecendo critérios para o conteúdo mínimo.

No desenvolvimento desta pesquisa foi observado o preenchimento do modelo de forma mais eficaz para as barragens que apresentaram relatórios de auditoria técnica mais completos. Em muitos casos não havia informações sobre as estruturas, impossibilitando o consultor concluir sobre a segurança. Em outros casos, os relatórios de auditorias não possuíam informações suficientes, devido à ausência de padronização de critérios para conteúdo mínimo desses relatórios. Nestes casos houve a necessidade de considerar a pontuação para a pior situação. Dessa forma, sugere-se a realização de uma padronização para estes relatórios.

Outra mudança necessária, no âmbito da gestão das barragens, é o futuro aperfeiçoamento da norma vigente, com a inclusão de parâmetros explícitos, com mais informações de campo e que representem as reais condições das barragens. Além disso, a inclusão de avaliação pelo potencial de risco poderá enriquecer sobremaneira o trabalho de gestão que já vem sendo realizado.

Muitas vezes, os órgãos ambientais não possuem corpo técnico capacitado e em quantidade suficiente para realizar a gestão dessas estruturas e por isso, este trabalho é extremamente importante como fortalecimento dos instrumentos de gestão ambiental. A FEAM se mostra aberta para novas propostas, o que é comprovado pela disponibilização de seu banco de dados para esta pesquisa e interesse em apoiar ações que insiram a variável ambiental nas agendas dos diversos setores da administração pública, notadamente da infra-estrutura, indústria, mineração e agropecuária.

O que se propôs, nesta dissertação foi oferecer mais uma ferramenta que possa contribuir na



gestão da segurança de barragens de contenção de rejeitos e de resíduos industriais, com critérios explícitos ainda não considerados, tais como: tipo de fundação, existência ou não de instrumentação, tipo de método de alteamento, deterioração dos taludes, presença de trincas, surgências de água, dentre outros.

Um aspecto final que vale ser ressaltado, é que não foi em nenhum momento, objetivo dessa dissertação avaliar a metodologia adotada pela FEAM, mas sim utilizá-la como parâmetro de validação da metodologia de potencial de risco proposta nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, H. M. M. *Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento*. 2004, 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PUC Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Civil, 2004.

ARAÚJO, C. B. *Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro*. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

ASSIS, A.; ESPÓSITO, T. Construção de barragens de rejeito sob uma visão geotécnica. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS – REGEO, 3., 1995. *Anais...* Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, 1995, p. 259-273.

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

AUSTRALIAN ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. *Best Practice Environmental Management in Mining. Tailings Containment*. Australian EPA, Canberra. 1995.

BLIGHT, G. *Insights into tailings dam failure – technical and management factors*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MANAGING THE RISKS OF TAILINGS DISPOSAL. Stockholm: ICME/UNEP, 1997. p. 17-34.

BOWLES, D. S.; ANDERSON, L. R.; GLOVER, T. F. *The practice of dam safety risk assessment and management: its roots, its branches, and its fruit*. In: USCOLD ANNUAL MEETING AND LECTURE, 18., New York: Buffalo, 1998.

BRADLOW, D.; PALMIERI, A.; SALMAN M. A. S. *Regulatory frameworks for dam safety - a comparative study*. The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, 2002.

BRASIL. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências. 17 de fevereiro de 2005.

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei nº 1.181 de 2003. Estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil, 1988*. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Manual de segurança e inspeção de barragens*. Brasília-DF: MINC, 2002. 148 p.

CANADIAN DAM ASSOCIATION – CDA. *Dam safety guidelines*. 1999. Disponível em: <<http://www.cda.ca>>. Acesso em: 2 fev. 2007.

COFFIN, V. *Risk assessment of tailings areas at Noranda*. Case studies on tailings management. UNEP-ICME, 1998. p. 44-45.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS – CBDB. Comunicação pessoal, tratando de projeto de lei sobre segurança de barragens, 2004.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA Resolução Conama nº 237, de 19 de novembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Seção 1. p. 30.841-30.843.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa Nº 62. *Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais*. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 17 de dezembro de 2002. 9 p.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa Nº 87. *Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17/12/2002*. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 18 de junho de 2005. 9 p.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa Nº 113. *Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17/12/2002. Estabelece prazo para apresentação de declaração sobre a situação das barragens*. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 1 de dezembro de 2007. 1 p.

DAVIES, M. P. Impounded mine tailings: what are the failures telling us?. CIM Distinguished Lecture 2000-2001. *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, July, v. 94, n. 1052, p. 53-59, 2001.

DAVIES, M. P.; MARTIN, T. E. Mine tailings dams: when things go wrong in proceedings of tailing dams. Las Vegas: Association of State Dam Safety Officials, U.S. Committee on Large Dams, 2000. p. 261-273.

DELLIOU, P. Le. *Working group on dam legislation - final report*. ICOLD European Club, fev. 2001. Disponível em:  
<<http://cnpqb.inag.pt/IcoldClub/documents/LEGISLATIONFinalReport.PDF>>. Acesso em 11 nov. 2006.

DISE, K.; VICK, S. *Dam safety risk analysis for Navajo dam*. Commission Beijing: Internationale des Grands Barrages (ICOLD), 2000.

ESPÓSITO, T. J. *Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico*. 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2000.

FONTENELLE, A. S. *Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens do nordeste brasileiro - estudo de caso: barragens do Estado do Ceará*. 2007. 213 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. *Evolução das ações de gestão de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água de empreendimentos industriais e minerários no Estado de Minas Gerais*. Março 2007. 128 p. Disponível em: <<http://www.feam.br>>. Acesso em: 12 abr. 2007.

FUSARO, T. C. Um programa de segurança de barragens no setor elétrico privatizado. IN: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 23., 1999. Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, v. 1, p. 45-56, 1999.

GOLDER. *Operating manual for the tailings management facility at the Lisheen mine*. Ireland: Golder Associates, 1999. p. 81. (Report No. 99640128).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Manual on tailings dams and dumps*. Paris: International Commission on Large Dams, 1982. 237 p. (Bulletin 45).

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD, *Tailings dam safety – guidelines*. Paris: International Commission on Large Dams, 1989a. 107 p. (Bulletin, 74).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Bibliography: mine and industrial tailings dams and dumps*. Paris: International Commission on Large Dams, 1989b. 321 p. (Bulletin 44).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Embankment dams – granular filters and drains*. Paris: International Commission on Large Dams, 1994. 256 p. (Bulletin 95).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Tailings dams and seismicity – review and recommendations*. Paris: International Commission on Large Dams, 1995a. 60 p. (Bulletin 98).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Tailings dams. transport, placement and decantation*. Paris: International Commission on Large Dams, 1995b. 95 p. (Bulletin 101).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Tailings dams and the environment – Review and recommendations*. Paris: International Commission on Large Dams, 1996a. 101 p. (Bulletin 103).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *A guide to tailings dams and impoundments – design, construction, use and rehabilitation*. Paris: International Commission on Large Dams and the United Nations Environmental Programme, 1996b. 239 p. (Bulletin 106).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Monitoring of tailings dams – review and recommendations*. Paris: International Commission on Large Dams, 1996. 84 p. (Bulletin 104).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Dams less than thirty meters high – cost savings and safety improvements*. Paris: International Commission on Large Dams, 1998. (Bulletin 109).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. *Tailings dams: risk of dangerous occurrences - Lessons learnt from practical experiences*. Paris: UNEP/ICOLD, 2001. (Bulletin 121).

KANJI, M. A.; FIGUEIRA, P. C. S. Quantificação tentativa do uso de instrumentação em barragens. In: SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO – SINGEO'90, Rio de Janeiro: ABMS, 1990. p. 119-128.

KLOHN, E. J. The development of current tailing dam design and construction methods. In: WILSON, D. (Ed.) *Design and construction of tailing dams*. Golden: Colorado School of Mines, 1981.

KLOHN, E. J. *Design and construction of tailings dams*. Vol. CIM Transactions, Vol. LXXV, 1972.

KUPERMAN, S. C.; RE, G.; FERREIRA, W. V. F.; TUNG, W. S.; VASCONCELOS, S. E.; ZÚÑIGA, J. E. V. Análise de risco e metodologia de tomada de decisões para barragens: evolução do sistema empregado pela SABESP. Em: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24. 2001, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: CBDB, 2001. v. 4, p. 79-82.

MARTIN, T. E.; DAVIES, M. P.; RICE, S.; HIGGS, T.; LIGHTALL, P. C. *Stewardship of tailings facilities*. Vancouver, B.C.: AMEC Earth & Environmental Limited/AMEC Simons Ltd., 2002.

MARTINS, R. *Legislação sobre segurança de barragens a nível mundial*. Jornada Técnica. Legislação sobre segurança de barragens. Projeto NATO-PO FLOODRISK MANAGEMENT. LNEC, 15 de nov. 1999. Disponível em: <[http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcionarios/papers/rmartins/Legislacao\\_Seg\\_Barragens.pdf](http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcionarios/papers/rmartins/Legislacao_Seg_Barragens.pdf)>. Acesso em 06 dez 2006.

MCLEOD, H.; PLEWES, H. *Risk management analyses (RMA)*. In: PROCEEDINGS CANADIAN DAM SAFETY CONFERENCE, Canada, 1999.

MEDEIROS, C. H. A. C. Utilização da técnica de análise de probabilidade de risco na avaliação de segurança de barragens. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 23., 1999. Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1999.

MENESCAL, R. A.; MIRANDA, A. N.; PITOMBEIRA, E. S.; PERINI, D. S. Prevenção de acidentes envolvendo barragens: Projeto de diagnóstico da segurança de barragens no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005. João Pessoa. *Anais...* João Pessoa-PG, 2005.

MENESCAL, R. A.; CRUZ, P. T.; CARVALHO, R. V.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. Uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens do

semi-árido. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24., 2001. Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2001.

MINING ASSOCIATION OF CANADA – MAC. *A guide to the management of tailings facilities*. 1998. Disponível em: <<http://www.mining.ca>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

NEGRINI, M. A.; SARDINHA, V. L. A.; FERREIRA, W. V. F. Incidente com a Barragem do Engordador e uma proposta de sistematizar as ações de emergência. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999. Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1999. v2, p. 117-126

NEW ZEALAND SOCIETY ON LARGE DAMS – NZSOLD. *Dam safety guidelines*. NZSOLD, Wellington, 1995. Disponível em: <<http://www.ipenz.org.nz/NZSOLD/GuidelinesMainText.pdf>>. Acesso em: 10 jan 2007.

PARSONS, A. M.; BOWLES D. S.; ANDERSON L. R. (Eds.) *Strengthening a dam safety program through portfolio risk assessment*. Hydro Review Wordline, 1999.

PEDRO, J. O. Segurança estrutural, hidráulico-operacional e ambiental das barragens. In: CONGRESSO SOBRE APROVEITAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PAÍSES DE IDIOMA PORTUGUÊS, 1., 2000. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, ABES, 2000.

PENMAN, A. D. M. Risk analyses of tailings dam construction. In: SEMINAR ON SAFE TAILINGS DAM CONSTRUCTIONS, Gallivare, Swedish Mining Association, Natur Vards Verket, European Commission, 2001. p. 37-53.

SIWIK, \_\_. *Tailings management: roles and responsibilities*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MANAGING THE RISKS OF TAILINGS DISPOSAL. Stockholm: ICME/UNEP, 1997. p. 143-158.

SZYMANSKI, M. B. *Tailings dams from the perspective of conventional dam engineering*. In: CANADIAN DAM ASSOCIATION CONFERENCE, Canadá: Sudbury, Ontario, 1999.

TAILSAFE Report. *Sustainable improvement in safety of tailings facilities*. Tailings Management Facilities – Legislation, Authorisation, Management, Monitoring and Inspection Practices. Finlândia, nov. 2005. Disponível em: < [http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2006/837/pdf/WP\\_41\\_250505.pdf](http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2006/837/pdf/WP_41_250505.pdf) >. Acesso em 17 nov 2006.

TRONCOSO, J. H. *Geotechnics of tailings dams and sediments*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 18, 1997. Lisboa. *Anais...* Lisboa: ICEG, 1997. p. 1405-1423.

UNEP. Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas & ICME, Conselho Internacional sobre Metais e Meio Ambiente. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MANAGING THE RISKS OF TAILINGS DISPOSAL. Stockholm. 1997. Disponível em: <[http://www.icmm.com/library\\_pub\\_detail.php?rcd=21](http://www.icmm.com/library_pub_detail.php?rcd=21)>. Acesso em: 5 fev. 2007.

UNITED STATES COMMITTEE ON LARGE DAMS – USCOLD. *Tailings Dams Incidents*. 2004. 82p. Disponível em: <<http://www.icold.br>> Acesso em 11 nov. 2006.

VICK, S. G. *Considerations for estimating structural response probabilities in dam safety risk analysis*. Denver, Colorado: U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center, 1999.

VIEIRA, V. P. P. B. *Análise de riscos em recursos hídricos – fundamentos e Aplicações*. Porto Alegre-RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), nov. 2005.

WAGENER, F. M.; CRAIG, H. J.; BLIGHT, G.; McPHAIL, G.; WILLIAMS, A. A. B.; STRYDOM, J. H. *The Merriespruit tailings dam failure – a review*. In: PROCEEDINGS, TAILINGS AND MINE WASTE, Colorado: Fort Collins, 1997. p. 925-952.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY – WSDE. *Dam safety guidelines - part IV, Dam design and construction*, Olympia, 1993. p. 178. Disponível em < <http://www.tailings.info/water.htm> >. Acesso em 11 nov 2006.

## ANEXO I

### Formulário para Cadastro de Barragens - Versão 2005

NOME DA EMPRESA								
NOME DA BARRAGEM								
ENDEREÇO DA EMPRESA (rua, av., nº)								
NOME DO MUNICÍPIO								
POSSUI PROCESSO NO COPAM ? (escrever número ao lado)		<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	NÚMERO:				
NOME DO RESPONSÁVEL LEGAL, NÚMERO CPF OU CREA								
NOME DO RESPONSÁVEL TÉCNICO OPERACIONAL/ CREA								
EMAIL CONTATO EMPRESA								
TELEFONE CONTATO EMPRESA								
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (escolha um dos sistemas abaixo)								
COORDENADAS NO SISTEMA UTM		X	Y	ANOTE O FUSO				
QUAL O TIPO DE DATUM ? (marque com X)		SAD 69	CÓRREGO ALEGRE					
LATITUDE		G	M	S				
LONGITUDE		G	M	S				
BACIA HIDROGRÁFICA E SUB-BACIA								
ALTURA ATUAL DA BARRAGEM (m)								
VOLUME ATUAL DO ATERRO DA BARRAGEM (m3)								
VOLUME ATUAL DO RESERVATÓRIO (m3)								
ALTURA FINAL DA BARRAGEM (m)								
VOLUME FINAL DO ATERRO DA BARRAGEM (m3)								
VOLUME FINAL DO RESERVATÓRIO (m3)								
<b>(MARQUE COM "X" AS RESPOSTAS MAIS ADEQUADAS PARA AS QUESTÕES SEGUINTE)</b>								
<b>QUANTO AO RESERVATÓRIO, REJEITO/ ÁGUA/ OUTROS</b>								
A FUNÇÃO DO RESERVATÓRIO É ARMAZENAR O QUÊ ?		<input type="checkbox"/> REJEITO	<input type="checkbox"/> RESÍDUO INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/> SÓLIDOS CARREADOS	<input type="checkbox"/> ÁGUA	<input type="checkbox"/> OUTROS		
QUAL O BENEFICIAMENTO FEITO NO REJEITO ?		<input type="checkbox"/> NENHUM	<input type="checkbox"/> QUÍMICO	<input type="checkbox"/> BRITAGEM ou MOAGEM	<input type="checkbox"/> PENEIRAMENTO	<input type="checkbox"/> LAVAGEM	<input type="checkbox"/> OUTROS	
QUAL O PRÉ-TRATAMENTO FEITO NO RESÍDUO INDUSTRIAL ?		<input type="checkbox"/> NENHUM	<input type="checkbox"/> FÍSICO-QUÍMICO	<input type="checkbox"/> REMOÇÃO DE SÓLIDOS	<input type="checkbox"/> AJUSTE DO PH	<input type="checkbox"/> OUTROS		
COMO PODE SER CLASSIFICADO O REJEITO/ RESÍDUO/ ÁGUA ?		<input type="checkbox"/> INERTE	<input type="checkbox"/> NÃO INERTE	<input type="checkbox"/> PERIGOSO				
EXISTE PRODUTO QUÍMICO AGRESSIVO NO REJEITO/ RESÍDUO ?		<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO					
CASO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA, EXISTE PRODUTO QUÍMICO AGRESSIVO NA ÁGUA ?		<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO					
<b>QUANTO A ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM</b>								
QUAL O TIPO DE OCUPAÇÃO HUMANA A JUSANTE ?		<input type="checkbox"/> INEXISTE	<input type="checkbox"/> PASSAGEM DE PESSOAS OU VEÍCULOS	<input type="checkbox"/> LOCAL DE PERMANENCIA EVENTUAL	<input type="checkbox"/> POUCOS HABITANTES	<input type="checkbox"/> POVOADO ou BAIRRO	<input type="checkbox"/> MUNICÍPIO	
QUAL O INTERESSE AMBIENTAL A JUSANTE ?		<input type="checkbox"/> ÁREA FOI TOTALMENTE DESCARACTERIZADA	<input type="checkbox"/> ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	<input type="checkbox"/> RESERVA FLORESTAL	<input type="checkbox"/> MATA CILIAR	<input type="checkbox"/> CURSO D'ÁGUA	<input type="checkbox"/> OUTROS	
QUAIS SÃO OS TIPOS DE INSTALAÇÕES A JUSANTE ?		<input type="checkbox"/> MINA OPERANTE	<input type="checkbox"/> ÁREA DE PLANTIO	<input type="checkbox"/> ESCOLA	<input type="checkbox"/> COMERCIO	<input type="checkbox"/> RESIDENCIAS	<input type="checkbox"/> PONTE	
		<input type="checkbox"/> BARRAGEM	<input type="checkbox"/> ÁREA DE PASTAGEM	<input type="checkbox"/> HOSPITAL	<input type="checkbox"/> INDUSTRIA	<input type="checkbox"/> ESTRADA	<input type="checkbox"/> OUTROS	
QUAL A CONCENTRAÇÃO DESSAS INSTALAÇÕES A JUSANTE ?		<input type="checkbox"/> INEXISTE	<input type="checkbox"/> BAIXA CONCENTRAÇÃO	<input type="checkbox"/> ALTA CONCENTRAÇÃO				





**ANEXO III  
BARRAGENS DO GRUPO CONTROLE**

Número da Barragem	PONTUAÇÃO PARA PERICULOSIDADE (P)					PONTUAÇÃO PARA VULNERABILIDADE (V)								PONTUAÇÃO PARA IMPORTANCIA ESTRATEGICA (I)		
	Dimensão da Barragem	Volume Total do Reservatório	Tipo de Barragem	Tipo de Fundação	Vazão de Projeto	Tempo de Operação	Existência de Projeto (As Built)	Confiabilidade das Estruturas Vertedoras	Alteamento	Percolação	Deformações / Afundamentos / Assentamentos	Deterioração dos Taludes / Paramentos	Instrumentação e Monitoramento	Volume Atual	População a Jusante	Interesse Econômico e Ambiental
1	3	3	10	5	10	1	7	10	5	10	10	10	10	1	1	1,2
2	6	3	10	5	10	2	5	6	5	4	10	10	10	1	2	1,2
3	6	3	10	5	10	2	5	10	5	10	10	3	0	1	1	1
4	3	3	10	10	2	2	5	10	3	10	10	10	0	1	1	1,2
5	3	3	10	5	1	2	1	10	5	10	10	10	0	1	2	1,5
6	3	3	10	4	10	1	5	10	2	10	10	10	0	1	2	1,5
7	3	3	10	5	1	1	5	3	1	4	10	10	0	1	2	1,5
8	1	3	6	1	1	0	5	2	1	4	10	10	10	1	2	1,5
9	3	3	6	1	10	1	7	10	5	10	10	10	10	1	2	1,2
10	1	3	10	10	10	1	5	10	1	4	10	10	10	1	2	1,2
11	3	3	10	1	10	1	5	10	1	10	10	10	0	1	2	1,2
12	6	5	8	5	2	2	5	10	5	10	10	10	0	1,5	2	1,5
13	3	5	10	5	2	1	5	10	1	10	10	10	0	1	2	1,5
14	10	7	10	5	10	3	5	6	3	10	10	10	0	1,5	2	1,5
15	10	10	10	5	2	2	5	3	3	10	10	7	0	2	2	1,5
16	1	3	10	5	10	3	7	10	1	10	6	7	10	1	1	1,2
17	3	3	10	10	4	0	5	6	1	10	10	10	10	1	2,5	1,2
18	3	3	10	5	10	2	5	6	5	10	10	10	10	1	1	1,2
19	1	3	10	10	10	1	7	10	1	10	10	7	10	1,5	2	1,2
20	1	3	10	10	10	3	7	10	1	10	10	10	10	1,5	2	1,2
21	3	3	10	5	10	0	7	10	1	10	6	7	10	1	1	1,2
22	1	3	10	5	10	0	7	10	1	10	6	7	10	1	1	1,2
23	3	3	10	5	10	3	7	10	1	10	10	10	10	1	2	1,5

CLASSIFICAÇÃO					
Periculosidade	Vulnerabilidade	Importância Estratégica	Potencial de Risco	Classe Potencial de Risco	Classe DN 87/2005
31	63	1,07	50	B	I
34	52	1,40	60	B	II
34	45	1,00	40	C	I
28	50	1,07	42	C	I
22	48	1,50	53	B	III
30	48	1,50	59	B	III
22	34	1,50	42	C	II
12	42	1,50	41	C	II
23	63	1,40	60	B	II
34	51	1,40	60	B	II
27	47	1,40	52	B	II
26	52	1,67	65	B	III
25	47	1,50	54	B	III
42	47	1,67	74	A	III
37	40	1,83	71	A	III
29	54	1,07	44	C	II
30	52	1,57	64	B	II
31	58	1,07	47	B	I
34	56	1,57	71	A	II
34	61	1,57	74	A	II
31	51	1,07	44	C	I
29	51	1,07	43	C	I
31	61	1,50	69	B	III