



**PLANO DE MANUTENÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS - RMSP  
SERVIÇOS DESENVOLVIDOS PELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
DE MANUTENÇÃO - MME**



Porque somos mortais, curtamente mortais, inevitavelmente mortais, tendemos a acreditar que tudo o que dura mais do que nós é eterno. Nossa crença, em realidade, é simplesmente desejo, ou talvez mentira que nós pregamos, por quisermos acreditar que tudo aquilo que fazemos, que construímos, ou de que participamos da criação, brilhará para sempre no infinito.

*Vicente Souza.*

**Isael Araújo de Melo**

Engenheiro Civil, 48 anos, graduado pela FESP Faculdade de Engenharia de São Paulo, atuando na Sabesp desde novembro de 1.993 até a presente data, atualmente no Departamento de Engenharia de Manutenção - MME, nas seguintes áreas:

- ✓ 6 anos (nov/93 – nov/99) atuando no serviço de inspeção de qualidade das peças pré-moldadas de concreto armado empregadas nas obras da Sabesp (tubos de concreto, aduelas para poços de visita, laje, vigas e pilares pré-moldados); e inspeção de tubos PEAD;
- ✓ 6 anos (mar/10 – out/16) atuando na inspeção de estruturas civis (reservatório, estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, adutoras, edificações, entre outras estruturas); e
- ✓ 11,5 anos (nov/99 – mar/10 e out/16 – até presente data) atuando na inspeção e segurança de barragens.

**Endereço:** Rua José Rafaelli, 284 – Bairro Socorro – São Paulo –SP – CEP 04763-280 –  
+ 55 (11) 5683 3206 – Fax: +55 (11) 5683 3060 - email: [isaelmelo@sabesp.com.br](mailto:isaelmelo@sabesp.com.br).

Tel.:

**João Miguel Nicolau Neto**

Engenheiro Civil, 47 anos, graduado pela UNESP - Ilha Solteira, com experiência em obras, serviços e licenciamentos ambientais em empresas públicas e privadas de médio e grande porte.

Empresas: Prefeitura Municipal de Guaraci SP, Açúcar Guarani SA em Severínia - SP, CONEMBRA Construções e Obras Ltda. em Jaraguá do Sul - SC, atualmente na Sabesp em São Paulo - Unidade Guarapiranga atualmente na Sabesp em São Paulo - Unidade Guarapiranga-Inspeção e Segurança de Barragens

**Endereço:** Rua José Rafaelli, 284 – Bairro Socorro – São Paulo –SP – CEP 04763-280 –  
+ 55 (11) 5683 3273 – Fax: +55 (11) 5683 3060 - email: [jnicolau@sabesp.com.br](mailto:jnicolau@sabesp.com.br).

Tel.:



## Sumário

PLANO DE MANUTENÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS - RMSP SERVIÇOS DESENVOLVIDOS PELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO - MME.....	1
1 - INTRODUÇÃO.....	3
2 - OBJETIVO.....	4
3 - METODOLOGIA UTILIZADA.....	4
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÕES DAS BARRAGENS.....	4
3.2 TIPOS DE INSPEÇÕES.....	6
3.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO.....	7
3.4 BARRAGENS DE TERRA.....	10
3.5 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA.....	12
3.6 BARRAGENS DE CONCRETO.....	13
3.7 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO EM BARRAGENS DE CONCRETO.....	14
3.8 INSPEÇÃO NAS BARRAGENS DA SABESP NO AMBITO DA RMSP.....	16
4. RESULTADOS OBTIDOS.....	20
5. CONCLUSOES.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20



## RESUMO

A ruptura de uma barragem resulta, geralmente, numa catástrofe, com perdas econômicas e, eventualmente, também com perdas de vidas humanas. Muitas vezes, mesmo que o colapso não ocorra, o fato da barragem deixar de operar ou não poder mais armazenar água, acaba causando prejuízos a seu proprietário e, no caso deste ser uma empresa pública, a própria população.

É sabido que a metodologia geral que deve ser seguida para a tomada de decisão relativa aos aspectos de segurança passa por algumas etapas importantes entre as quais destacam-se:

- ✓ Treinamento em segurança de barragens voltado as equipes responsáveis pelas barragens;
- ✓ Criteriosos programas de inspeção e manutenção;
- ✓ Conhecimento detalhado da estrutura, seja a partir da documentação de projeto ou por meio de estudos específicos efetuados;
- ✓ Acompanhamento do desempenho através da instrumentação instalada e de inspeções periódicas;
- ✓ Cuidadoso registro histórico de todas as deficiências havidas e das soluções aplicadas.
- ✓ Entre outras atividades.

Neste contexto, a Sabesp como detentora de barragens e conhecedora da importância delas para o abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo vem desenvolvendo desde 1978, um programa de inspeções de campo e análise da instrumentação de auscultação com vistas à avaliação da sua segurança para evitar possíveis consequências que decorreriam de uma eventual ruptura estrutural.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inspeção; Prevenção; Manutenção.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo promulgou em 21 de novembro de 1977 o Decreto Estadual no 10.752, que dispõe sobre realização de auditoria técnica externa permanente em autarquias e companhias em cujo capital o Estado de São Paulo tenha participação majoritária e que sejam responsáveis pela construção e operação de barragens e estruturas a elas associadas.

A Lei 12334/2010 que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens, prevê entre outras ações, que o empreendedor mantenha serviço especializado em segurança de barragem, realize Inspeções de Segurança Regular e Revisões Periódicas de Segurança das estruturas sobre as quais tenha direito real das terras onde se localizam ou que as explore para benefício próprio ou da coletividade.

Neste contexto, a Sabesp como detentora de barragens e conhecedora da importância delas para o abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo vem desenvolvendo desde 1978, um programa de inspeções de campo e análise da instrumentação de auscultação com vistas à avaliação da sua segurança para evitar possíveis consequências que decorreriam de uma eventual ruptura estrutural.

Dentre as diversas atividades e atribuições do Departamento de Engenharia da Manutenção – MME estão as seguintes atividades relacionadas com Plano de Manutenção e Segurança de Barragens na Região Metropolitana de São Paulo:

- ✓ Inspeções Periódicas de barragens segundo o Plano de Manutenção e Segurança de Barragens da RMS (barragens não abrangidas pela Lei 12334/10);
- ✓ Inspeções de Segurança Regular nas barragens da RMS (barragens Federais e Estaduais abrangidas pela Lei 12334/10) com o respectivo recolhimento de Anotação de Responsabilidade Técnica;
- ✓ Fiscalização e gestão de contrato - Revisão Periódica de Segurança das Barragens da RMS (barragens abrangidas pela Lei 12334/10);



- ✓ Preenchimento de Ficha de Inspeção com Classificação da Situação, Magnitude e Nível de Perigo da anomalia conforme Resolução ANA 236/17 (barragens Federais e Estaduais abrangidas pela Lei 12334/10).
- ✓ Avaliação, análise e recomendações com especificações de Recuperação ou reparo das anomalias identificadas durante as inspeções (barragens abrangidas e não pela Lei 12334/10);
- ✓ Tratamento e Análise da Instrumentação das barragens da RMSP utilizando GIB e planilhas Excel;
- ✓ Inspeções das Tomadas d'Água, Galerias, acessos, margens, Canais e Túneis, bem como seus Êmboques e Desemboques – estruturas anexas ou associadas às barragens da RMSP;
- ✓ Confecção de relatórios referentes a cada inspeção realizada com indicadores numéricos (IC - Índice de Comportamento, PP- Periculosidade Potencial e ER – Estado Real) para auxílio na tomada de decisão (barragens não abrangidas pela Lei 12334/10) e classificação segundo o NPGB (barragens Federais e Estaduais abrangidas pela Lei 12334/10).
- ✓ Cadastramento do Extrato da Inspeção no site da ANA e envio de ART e Relatórios (Barragens Federais);
- ✓ Contatos com agentes fiscalizadores de segurança de barragem - DAEE (Estadual) e ANA (Federal) ou algum municipal;
- ✓ Participação em eventos, cursos e palestras relacionados à segurança de barragens;
- ✓ Elaboração de Termo de Referência para contratação de serviços e mão de obra relacionada às barragens;
- ✓ Atuação em serviços emergenciais.

Atualmente o Departamento de Engenharia de Manutenção MME possui 4 profissionais especializados em segurança de barragens.

Apresenta-se, neste trabalho a experiência acumulada ao longo destes anos em inspeção e segurança de barragem.

## **2 - OBJETIVO**

A segurança é hoje uma questão cada vez mais discutida e estudada nas diversas atividades do nosso dia a dia. Especificamente na especialidade de barragens, a segurança é tida como de vital importância visto as graves consequências que podem ocorrer na eventualidade de uma indesejada catástrofe. Tendo consciência desta necessidade, procurou-se fazer, nesse trabalho, uma contribuição prática e atualizada sobre o assunto, portanto o presente trabalho tem por objetivo oferecer a experiência e o conhecimento acumulado da atuação da equipe de inspeção e segurança de barragem do Departamento de Engenharia de Manutenção MME Sabesp relacionado a manutenção e segurança de barragens na região metropolitana de São Paulo, trabalhando em parceria com as demais unidades da companhia.

## **3 - METODOLOGIA UTILIZADA**

### **3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÕES DAS BARRAGENS.**

As barragens mesmo as bem projetadas, bem executadas e com a utilização de materiais corretamente especificados, necessitam de manutenção preventiva para atingir a vida útil prevista, garantida por uma durabilidade com um desempenho acima de um limite mínimo aceitável.

As barragens existentes no âmbito da Sabesp, constituem dos seguintes materiais:

- ✓ Concreto;
- ✓ Terra;
- ✓ Terra com proteção de concreto;



- ✓ Enrocamento de pedras;
- ✓ Alvenaria; e
- ✓ Pedra argamassada.

Do ponto de vista econômico, Helene (1997) ressalta que os custos de intervenção na estrutura, para atingir um certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e que a evolução desse custo pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5” ou regra de Sitter, representada na figura abaixo, que mostra a evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção seja feita.

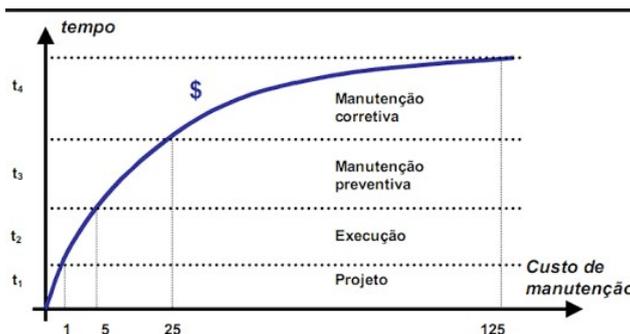


Gráfico 1: custo em função do tempo.

Ainda, segundo Helene (1997), o significado da “Lei dos 5”, ou regra de Sitter, pode ser assim exposto, conforme a intervenção ocorra na:

“**a) 1ª fase de projeto:** Murilo Ruiz já afirmava em anos passados que “é no projeto básico que é são feitas as grandes economias de um empreendimento”, e ele tem toda a razão.

Para que as soluções mais econômicas e racionais possam ser detalhadas, é necessário conhecer bastante bem todas as condicionantes do projeto.

Além dos problemas geotécnicos, é necessário considerar os problemas sociopolíticos e econômicos envolvidos. (Fonte livro 100 barragens brasileiras – Paulo Teixeira da Cruz).

Entre outras tantas medidas implica um custo que pode ser associado ao número 1(um) representado no gráfico acima;

**b) 2ª fase de execução:** os materiais devem ser pesquisados a exaustão. Há dois aspectos importantes a serem considerados:

O primeiro refere-se aos volumes de material não só para a barragem, mas para o movimento de terra, rocha, agregados, areia, etc. que são necessários para os acampamentos, aterros industriais, estradas, alojamentos, pátios de manobra, desvios do rio, etc. a falta de previsão de áreas de empréstimo de solos, pedreiras e depósitos de areia pode comprometer seriamente um projeto. Não é raro descobrir-se na metade da execução da obra que acabou a rocha, ou que a rocha se desagregou nas pilhas de estoque, ou que as espessuras previstas de solos de empréstimo eram menores do que se estimava.

O segundo aspecto refere-se à compactação. Por mais que se conheça os vários tipos de solo de empréstimo extensamente utilizados em barragens brasileiras, problemas de compactação ocorrem numa frequência maior do que a esperada.

<sup>1</sup> Livro: 100 barragens brasileiras – autor: Paulo Teixeira Da Cruz

<sup>2</sup> Livro: 100 barragens brasileiras – autor: Paulo Teixeira Da Cruz



Essas medidas tomadas em nível de obra, apesar de eficazes e oportunas do ponto de vista da vida útil, não mais podem propiciar economia e otimização da estrutura, implica um custo que pode ser associado ao número 5 (cinco) representado no gráfico acima;

**c) 2ª fase de manutenção preventiva:** As boas condições de segurança de uma barragem não dependem apenas de um bom projeto de instrumentação de auscultação devendo ser complementado com inspeções visuais periódicas de campo que tem por objetivo detectar deteriorações em potencial e alertar sobre as condições que podem comprometer a segurança das estruturas associadas. Devem ser incluídas na inspeção local, a barragem, sua fundação, dispositivos de descarga, dispositivos de saída, reservatório, áreas imediatamente a jusante, dispositivos de auscultação e as vias de acesso. (BARBOSA, 2002).

Por outro lado podem ser cinco vezes mais econômicas que aguardar a estrutura apresentar problemas patológicos evidentes que requeiram uma manutenção corretiva, implica um custo que pode ser associado ao número 25 (vinte e cinco) representado no gráfico acima;

**d) 3ª fase de manutenção corretiva:** corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto e que implicariam um mesmo nível de durabilidade que se estime dessa obra após essa intervenção corretiva. ”

### 3.2 TIPOS DE INSPEÇÕES

Segundo a Resolução 236 de 30 de janeiro de 2.017 emitido pela ANA agencia nacional de águas temos os seguintes tipos de inspeção:

- ✓ **Inspeção de segurança especial – ISE:** atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa a avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação.
- ✓ **Inspeção de segurança regular – ISR:** atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa a identificar e a avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação, devendo ser realizada, regularmente, com a periodicidade estabelecida nesta resolução;

Em nossos manuais de procedimento constam também a inspeção rotineira

- ✓ **Inspeção Rotineira – IR** são aquelas executadas pelas equipes locais de operação e manutenção, como parte regular de suas atividades. A frequência dessas inspeções deve ser semanal ou mensal. Não geram relatórios específicos, mas apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas.

Este trabalho terá como foco as barragens de terra e de concreto

---

<sup>3</sup> Paulo Helene



### **3.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO**

A metodologia preconizada pelo Plano de Manutenção e Segurança de Barragens, aplicado na RMSP, permite à equipe do MME-Barragens acompanhar e informar continuamente a evolução das condições das estruturas às áreas responsáveis através de indicadores, que são utilizados para otimizar investimentos em manutenção com a aplicação dos recursos nas instalações mais críticas. Dessa forma é possível minimizar os riscos e garantir a segurança estrutural das barragens contempladas no Plano de Manutenção.

Entre os serviços do PMSB - RMSP realizados pelo MME-Barragens, incluem-se as inspeções periódicas de campo, com as respectivas emissões de relatórios constando de indicadores numéricos IC (Barragens não abrangidas pela Lei 12334) ou NPGB - RESOLUÇÃO Nº 236 (Barragens abrangidas pela Lei 12334) e recomendações de manutenção para garantir a integridade e melhorar o desempenho das estruturas. Os valores do Índice de Comportamento - IC e Nível de Perigo Global da Barragem - NPGB podem sofrer variações ao longo do tempo de acordo com a degradação da estrutura e as intervenções de manutenção realizadas.

O órgão fiscalizador das barragens contempladas pela lei depende da dominialidade do curso d'água em que se encontra a estrutura, federal ou estadual.

A lei de barragem Lei 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010 aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- I. Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- II. Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos); III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- III. Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV. Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

Segundo a Lei 12.334/2010 em seu capítulo IV Seção I da Classificação: Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, potencial associado e pelo seu volume com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

§ 1º 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 ao Plano de Segurança da Barragem.

§ 2º A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.



**Barragens de Domínio Estadual enquadradas na Lei 12334/10**  
**PLANO DE SEGURANÇA – PORTARIA DAAE 3907/15**

- Volume I - Informações Gerais
- **Volume II – Planos e Procedimentos**
- Volume III – Plano de Ação de Emergência – PAE (A, B, C)
- **Volume IV – Revisão Periódica de Segurança da Barragem**

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	A	B
Médio	B	B	C
Baixo	C	C	D

A periodicidade mínima da revisão periódica:  
 Classe A: a cada 4 anos  
 Classe B: a cada 6 anos  
 Classe C: a cada 8 anos  
 Classe D: a cada 10 anos  
 Periodicidade mínima da ISR: bianual

**Barragens de Domínio Federal enquadradas na Lei 12334/10**  
**PLANO DE SEGURANÇA – RESOLUÇÃO ANA 236/17**

- Volume I - Informações Gerais
- Volume II – Documentação Técnica do Empreendimento
- Volume III – Planos e Procedimentos
- **Volume IV – Registros e Controles**
- **Volume V – Revisão Periódica de Segurança da Barragem**
- Volume VI – Plano de Ação de Emergência, quando exigido (A e B)

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	D	D

A periodicidade mínima da revisão periódica:  
 Classe A: a cada 5 anos  
 Classe B: a cada 7 anos  
 Classe C: a cada 10 anos  
 Classe D: a cada 12 anos  
 Periodicidade mínima da ISR: anual, sendo classe D: bianual

Figura 1: a esquerda a classificação das barragens estaduais e a direita a classificação das barragens federais, em ambas a classificação é realizada pelo órgão fiscalizador.



Foto 1: Barragem Jaguari do Sistema Cantareira – barragem federal – inspeção realizada pelos técnicos da ANA – Agência Nacional das Águas acompanhados pelos técnicos da Sabesp.

Na Região Metropolitana de São Paulo RMSP considera-se atualmente:

Barragens Sabesp - RM São Paulo	}	2 Federais	→	2 Abrangidas pela Lei
		43 Estaduais	→	19 Abrangidas pela Lei

Segundo a resolução 236 ANA o nível de perigo global da barragem deve constar no relatório de inspeção de segurança regula emitido pelo empreendedor e constará do seu plano de segurança para barragem.



O restante das barragens são avaliadas pelo plano de manutenção de barragem da Sabesp que é composto por índices. A saber: o Estado Real ER e a Periculosidade Potencial PP que são usados na composição da fórmula para o estabelecimento da classificação da barragem segundo o INDICE DE COMPORTAMENTO.

**BARRAGENS QUE NÃO SÃO CONTEMPLADAS PELA LEI DE BARRAGEM**

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A <b>PERICULOSIDADE POTENCIAL (PP)</b>								
IMPORTÂNCIA PARA SABESP	(1) DIMENSÃO DA BARRAGEM (CATEGORIA)	(2) VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADA	IMPACTO A JUSANTE			TIPO DE BARRAGEM	ÓRGÃO VERTENTE	VAZÃO DE PROJETO MÁXIMA OU TEMPO DE RETORNO (TR)
			SOCIAL	AMBIENTAL	ECONÔMICO			
Pequena <b>10</b>	Pequena 10	Baixo 5	Baixo 10	Baixo 10	Baixo 5	Concreto 15	de Superfície, SEM CONTROLE 15	1000 < Tr < 10.000 anos 20
Média <b>8</b>	Média 6	Pequeno 4	Pequeno 8	Pequeno 8	Pequeno 4	Enrocamento 12	de Superfície, COM CONTROLE 10	100 < Tr < 1000 anos 12
Significativa <b>6</b>	Grande 2	Médio 3	Médio 6	Médio 3	Médio 3	Terra 8	De Fundo 5	Tr < 100, Desconhecida ou Calculada há + 20 anos 2
Grande <b>4</b>		Grande 2	Grande 0	Grande 0	Grande 0			
Elevada <b>2</b>		Elevado 1						

(1) CATEGORIA	H=ALTURA (m)	V=VOLUME ARMAZENADO NO RESERVATÓRIO (hm <sup>3</sup> )
Pequena	H < 15	0,05 < V < 1,0
Média	15 < H < 30	1,0 < V < 50,0
Grande	H > 30	V > 50,0

Barragem	
altura	m
extensão	m

(2) VOLUME ARMAZENADO	
Baixo	< 0,05 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 0,05 hm <sup>3</sup>
Pequeno	entre 0,05 x 10 <sup>6</sup> e 1 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 0,05 e 1 hm <sup>3</sup>
Médio	entre 1 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> e 50 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 1 e 50 hm <sup>3</sup>
Grande	entre 50 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> e 100 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 50 e 100 hm <sup>3</sup>
Elevado	superior a 100 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 100 hm <sup>3</sup>

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O <b>ESTADO REAL (ER) DA BARRAGEM</b>						
INFORMAÇÕES DE PROJETO	FREQUENCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO	PERCOLAÇÃO (BAR. OMBREIRA E FUND.)	DEFORMAÇÕES	NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DOS TALUDES	EROSÕES À JUSANTE	CONDIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS DOS DESCARREGADORES
Completas <b>5</b>	Adequada 10	Conforme prevista em projeto ou inexistente 20	Conforme prevista em projeto ou inexistente 20	Mínimo ou inexistente 15	Mínimo ou inexistente 15	Boa 15
Parciais <b>4</b>	Razoável 6	Fóra do previsto mas não crítica 15	Fóra do previsto mas não crítica 15	Baixo 12	Poucas 12	Razoável 8
Incompletas <b>2</b>	Inadequada 2	Crítica 5	Crítica 5	Moderado 6	Moderado 6	Ruim 6
Inexistentes <b>0</b>	Nenhuma 0	Desconhecida 0	Desconhecida 0	Alto 4	Elevadas 4	Inoperantes ou sem registro 3
				Excessivo 3	Significativas 3	

CLASSIFICAÇÃO	
Satisfatório	ER ≥ 80
Regular	80 > ER > 60
Insatisfatório	ER ≤ 60

A nota da barragem INDICE DE COMPORTAMENTO é IC = 0,40 x PP + 0,60 x ER



Foto 3: barragem Poço Preto do Sistema Rio Claro – inspeção realizada pelos próprios técnicos da Sabesp, sendo a barragem avaliada pelo Índice de Comportamento – IC.

### 3.4 BARRAGENS DE TERRA

As barragens de terra e enrocamento podem ser classificadas em:

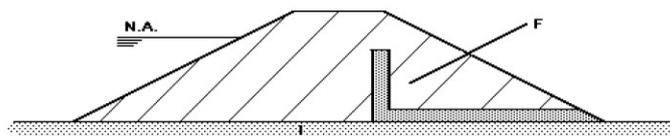
- ✓ Barragens homogêneas;
- ✓ Barragens zoneadas de terra e enrocamento e
- ✓ Barragens de enrocamento.

As barragens homogêneas são normalmente construídas quase que integralmente com solo impermeável. Normalmente são dotadas de um sistema de drenagem interno, constituído por um filtro horizontal e um filtro vertical ou inclinado.

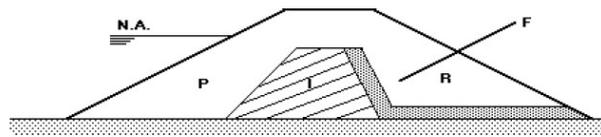
As barragens zoneadas apresentam materiais distintos no aterro. Tipicamente apresentam um núcleo central impermeável, espaldares constituídos por materiais permeáveis como enrocamento, cascalho, etc., e materiais de transição entre o núcleo e os espaldares.

As barragens de enrocamento com face de concreto, ou com membrana impermeável, são utilizadas nos locais onde não há disponibilidade de solo para construção do núcleo impermeável, ou se apresentam a grandes distâncias de transporte do local, etc.. A impermeabilização da barragem pode ser obtida com uma face de concreto armado, com membranas impermeáveis pré-fabricadas de material plástico, ou com membrana de concreto asfáltico.

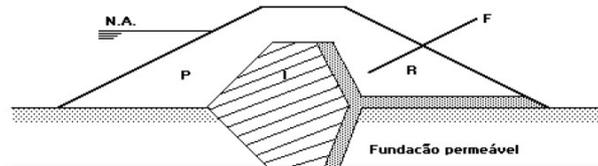
Na figura 1 são mostradas algumas seções típicas de barragens de terra e enrocamento.



A) BARRAGEM HOMOGÊNEA COM DRENAGEM INTERNA EM FUNDAÇÃO IMPERMEÁVEL



B) BARRAGEM EM NÚCLEO CENTRAL EM FUNDAÇÃO IMPERMEÁVEL



C) BARRAGEM EM NÚCLEO CENTRAL SOBRE A FUNDAÇÃO PERMEÁVEL

FIGURA 1 – SEÇÕES TÍPICAS DE BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO

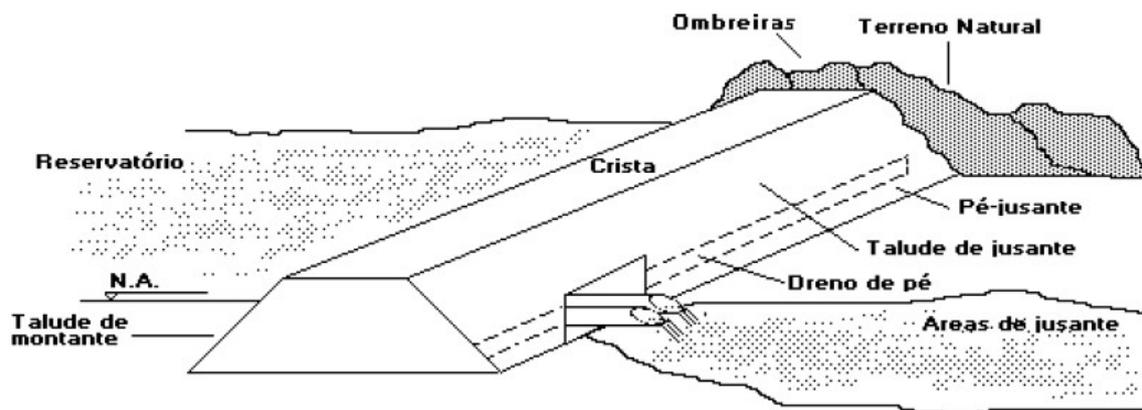


FIGURA 2 – CONFIGURAÇÃO TÍPICA DAS BARRAGENS

- ✓ Talude de Montante - superfície inclinada da barragem do lado do reservatório.
- ✓ Talude de Jusante - superfície inclinada da barragem do lado contrário ao reservatório.
- ✓ Crista - topo da barragem. Geralmente estreita e extensa, onde freqüentemente é implantada estrada de acesso.
- ✓ Ombreiras - terreno natural, de assentamento da barragem, junto às extremidades.
- ✓ Pé de Jusante - ponto mais baixo do talude de jusante.
- ✓ Áreas a Jusante - superfícies adjacentes ao pé de jusante.
- ✓ Drenagem de Pé - elemento de drenagem, geralmente constituído de tubo envolto em material drenante, para coletar a água de percolação do corpo da barragem.
- ✓ Reservatório - lago formado no vale pela intercepção da barragem, e fica em contacto com o talude de montante.



### **3.5 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA**

#### 3.2.1.1 Frequência

A frequência da inspeção vai depender das exigências a qual a barragens está sujeita segundo a legislações nacionais pertinentes.

#### 3.2.1.2 Inspeção

Os principais itens de barragens a serem inspecionados são:

- ✓ Talude de montante;
- ✓ Crista;
- ✓ Talude de jusante;
- ✓ Acessos nos taludes;
- ✓ Drenagem de pé;
- ✓ Áreas a jusante e
- ✓ Reservatório.

#### a) INSPEÇÃO DA CRISTA

O alinhamento da crista deve ser observado ao longo de sua extensão de diversos pontos, a olho nu, ou através de dispositivos tais como binóculos, lentes teleobjetivas, etc.

Para verificar a uniformidade da crista deve-se proceder a visadas na intersecção da crista com os taludes de montante e jusante, bem como seu eixo. A linha de contato entre o talude de montante e o nível do reservatório é uma referência importante para a visualização do alinhamento da crista.

Os elementos estruturais eventualmente construídos sobre a crista tais como guarda-rodas, muros, calçadas, postes, etc., podem ser utilizados como referência de horizontalidade e verticalidade da crista da barragem.

Os elementos estruturais eventualmente existentes sobre a crista devem ser inspecionados conforme orientações específicas. Idem para o sistema de iluminação.

Na inspeção da crista, o estado do revestimento, do sistema de drenagem e dos elementos estruturais existentes no local de anomalias da crista devem ser observados.

#### b) INSPEÇÃO DAS OMBREIRAS

A inspeção das ombreiras pode ser feita na ocasião da inspeção dos taludes da barragem e da crista, visando a detecção de anomalias nesta interface da barragem e terreno natural, pois em locais de juntas ocorrem anomalias com frequência.

#### c) INSPEÇÃO DO PÉ DE JUSANTE

No pé de jusante se localizam as saídas do sistema de drenagem interna das barragens de terra.

As inspeções na drenagem de pé devem ser realizadas sempre em períodos sem chuva ou após decorridos alguns dias da última chuva para que o excesso de água devido à chuva não falseie as observações.

Todos os elementos de drenagem de pé devem ser inspecionados tais como: enrocamento do dreno de pé, canaletas, poços de alívio, saídas de tubos, caixas, etc.

#### d) INSPEÇÃO ÁREA DE JUSANTE

O terreno natural, as escavações e aterros a jusante da barragem devem ser inspecionados por caminhadas abrangendo toda a área, principalmente nas que já existem interferências.

Nestas áreas pode-se detectar umidade no terreno devido ao mau funcionamento de elementos de drenagem do pé da barragem ou da própria área e pode ser diminuída a capacidade de carga dos terrenos.



Os locais a jusante das ombreiras, onde as escavações para implantação da barragem não se aprofundam muito, estão sujeitos a afloramentos do nível d'água.

e) **INSPEÇÃO DO RESERVATÓRIO**

A água do reservatório deverá ser inspecionada visualmente e através de testes na mesma.

A coloração da água de aparência barrenta ou com coloração diferente poderá indicar a ocorrência de alguma anomalia no maciço da barragem ou na proteção do talude.

A observação do contacto do nível d'água com o talude de montante dará indicações sobre a uniformidade do talude, o nível da crista, o alinhamento do eixo da barragem.

**3.6 BARRAGENS DE CONCRETO**

Os principais tipos de barragens de concreto da Sabesp existentes na Região Metropolitana de São Paulo são: de gravidade e em arco.



Foto 4: barragem Ribeirão do Campo do Sistema Rio Claro. Barragem do tipo gravidade

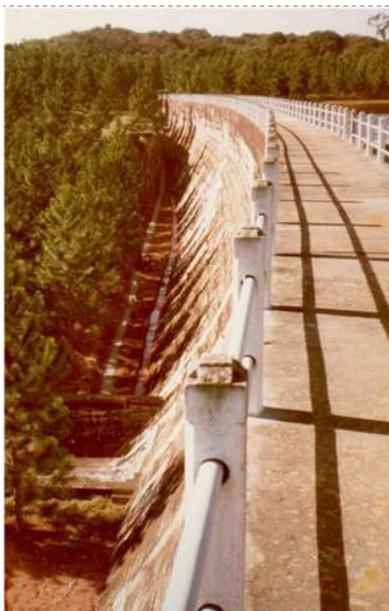


Foto 5: barragem Pedro Beicht do Sistema Alto Cotia. Barragem em arco.



### **3.7 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO EM BARRAGENS DE CONCRETO**

#### Preparativos para Inspeção

Previamente à execução de uma inspeção, algumas providências devem ser tomadas de modo a facilitá-la e torná-la mais proveitosa. Entre elas incluem-se a consulta às informações disponíveis sobre a barragem e a obtenção de ferramental para a execução da inspeção.

São relacionadas a seguir algumas informações cuja consulta prévia pode ser útil durante a inspeção:

- ✓ Características da região, incluindo a geologia local com detalhes da fundação e informações hidrológicas; • documentos de projeto, incluindo investigações preliminares, critérios, desenhos e relatórios;
- ✓ Registros da construção, englobando, entre outros, materiais e técnicas empregados, problemas encontrados na escavação e construção, tratamentos de fundação realizados e desenhos "como construído";
- ✓ Registros da operação/manutenção, indicando entre outros, as condições operacionais vigentes e reparos ou modificações efetuadas;
- ✓ Leituras da instrumentação;e
- ✓ Relatórios de inspeções anteriores, dando-se atenção aos problemas identificados, sua evolução no tempo e conclusões relativas à segurança da barragem.

Informações sobre a existência de deficiências potenciais podem ser conseguidas conversando-se com o pessoal que lida com a barragem no dia a dia.

As seguintes deficiências podem ser um indício de que a segurança da estrutura está sendo afetada:

- ✓ Fissuras novas de grande abertura ou aquelas cujas características se alteraram sensivelmente em relação à inspeção anterior;
- ✓ Fissuras que indiquem uma movimentação da estrutura;
- ✓ Deterioração do concreto intensa, repentina ou que tenha sofrido alteração significativa de uma inspeção para outra;
- ✓ Desalinhamento evidente ou movimento diferencial;
- ✓ Vazamento ou surgência novo e significativo;
- ✓ Alteração apreciável de aspecto ou vazão de um vazamento ou surgência;
- ✓ Surgência turva .

Quanto ao ferramental necessário para a execução da inspeção, deve-se certificar com antecedência que o mesmo está disponível.



A Tabela 1 relaciona equipamentos e ferramentas que podem ser úteis na execução da inspeção de uma barragem de concreto.

**TABELA 1 - EQUIPAMENTOS ÚTEIS PARA EXECUÇÃO DE INSPEÇÃO**

EQUIPAMENTO	FINALIDADE
Máquina fotográfica dotada de lente de grande alcance	Registro fotográfico de detalhes das anomalias
Binóculo	Identificação e aproximação de detalhes das anomalias a distância
Trenas	Medida de dimensões, locação das anomalias
Nível de bolhas e mangueira	Verificação de nivelação
Fio de Prumo	Verificação de prumos
Martelo de geólogo	Identificação da extensão de anomalias. Retirada de pequenas amostras de material, avaliação do cobrimento de amaduras
Martelo pena 200g	Avaliação por diferença de emissão sonora e sensibilidade do braço (resposta dinâmica) a extensão da anomalia: ensaio de som cavo a percussão
Talhadeira	Identificação da extensão de anomalias. Retirada de pequenas amostras de material, avaliação de cobrimento de armaduras. Quebra do concreto para determinação da espessura de carbonatação
Paquímetro	Medida de dimensões com precisão: diâmetro das armaduras
Lupa graduada (Fissurômetro ótico)	Identificação e medida precisa de espessura em detalhe de anomalias (fissuras)
Fissurômetro de régua	Medida expedida de espessura de fissuras para primeira avaliação
Lanterna	Identificação de anomalias
Lápis de cera, giz	Identificação e controle da evolução de anomalias
Escova de aço	Limpeza de superfícies
Balde e cronômetro	Medidas de vazamentos
Ferramentas (alicate, chave de fenda)	Eventuais consertos
Lente de aumento	Identificação a aproximação de detalhes das anomalias



### 3.8 INSPEÇÃO NAS BARRAGENS DA SABESP NO AMBITO DA RMSP

#### Regras Gerais de Inspeção

Para que a inspeção seja completa e forneça informações confiáveis e de utilidade, as seguintes regras gerais devem ser observadas na sua execução:

- ✓ Conduzir a inspeção até a obtenção de fatos que permitam uma análise consistente do problema;
- ✓ Não limitar a observação à deficiência em si; procurar descobrir sua origem, continuidade e correlação com outras deficiências detectadas;
- ✓ Investigar todas as partes da estrutura onde a deficiência foi observada, atentando para as áreas onde ocorreram alterações ou foram constatados problemas anteriormente;
- ✓ Fazer registros cuidadosos e claros, através de esquemas em croqui da área, usando, se necessário, fotos para complementar as informações;
- ✓ Localizar com precisão a deficiência, fazendo referência ao número do bloco, posição, elevação e junta ou dreno mais próximo.

Inspeções visuais por modo de falha sugere que para cada modo de falha sejam listadas possíveis evidências a serem identificadas em campo e possíveis gatilhos.

A inspeção visual seria então guiada pelas perguntas:

A) O que pode dar errado aqui? Quais os possíveis modos de falha desta estrutura?

B) Existem evidências que este modo de falha esteja se materializando?

C) Qual o gatilho para a materialização deste modo de falha? (DIAS, 2011)



Foto 6: Barragem Morada dos Lagos do Sistema Aldeia da Serra, estrutura em destaque talude de jusante.

**Anomalia:** Cupinzeiro no talude de jusante da barragem.

**Causa Provável:** Ausência de programa de manutenção de rotina.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** Pode favorecer a ocorrência de erosões.

**Recomendações:** erradicar os cupinzeiros com cupinicidas utilizados pela Sabesp, remover as tocas e levar para longe da barragem fechar os buracos com deixados com aterro compactado e plantar grama.



Foto 7: Barragem Morada dos Lagos do Sistema Aldeia da Serra, estrutura em destaque talude de montante.

**Anomalia:** vegetação e árvore presente no talude de montante

**Causa Provável:** Ausência de programa de manutenção de rotina.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** Penetração e o apodrecimento das raízes na crista podem provocar o surgimento de caminhos preferenciais com a infiltração de água, podendo acarretar em erosões.

**Recomendações:** Remover as árvores existentes e implantar sistemática de conservação de áreas como roçada e capina.

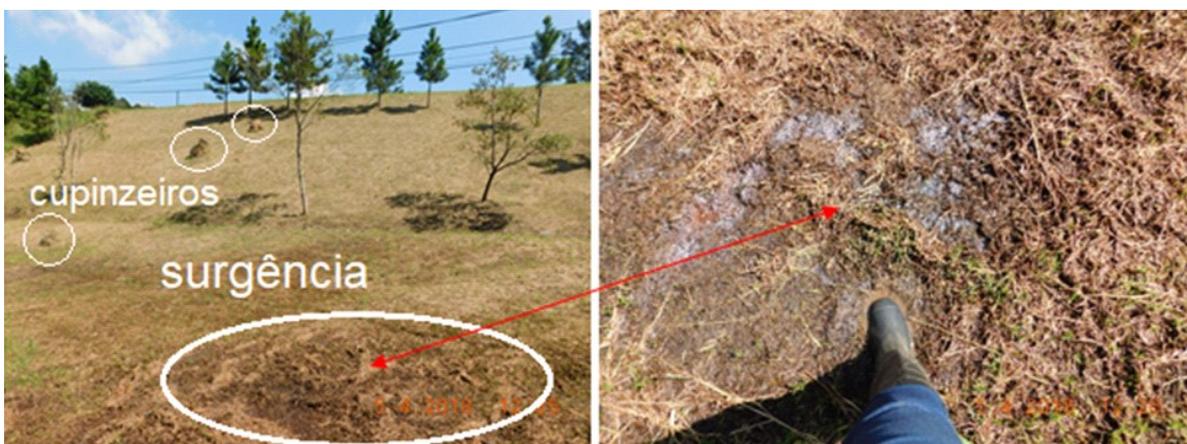


Foto 8: Barragem Morada dos Lagos do Sistema Aldeia da Serra, estrutura em destaque pé de jusante.

**Anomalia:** Surgência ao longo do pé de jusante da barragem

**Causa Provável:** Permeabilidade do maciço argiloso da barragem.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** Não há no estágio atual

**Recomendações:** Recomenda-se a execução de um projeto para a instalação de instrumentos geotécnicos.



Foto 9: Barragem KM 78 do sistema Rio Claro, estrutura em destaque muro de aproximação.

**Anomalias:** ausência de guarda corpos na maior parte do muro.

**Causa Provável:** Ausência de programa de manutenção de rotina.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** risco de acidentes

**Recomendações:** instalar guarda corpos de acordo com a norma técnica Sabesp - NTS 282 - guarda corpos



Foto 10: Barragem do Mato do Sistema Aldeia da Serra em destaque paramento de jusante.

**Anomalias:** junta de construção com surgência

**Causa Provável:** deterioração da argamassa de rejuntamento das pedras argamassada.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** Continuidade da deterioração da estrutura

**Recomendações:** atuar no paramento de montante com escarificação e aplicação de argamassa polimérica.



Foto 11: Barragem Terra Preta do Sistema isolado em destaque vista geral da barragem.

**Anomalia:** Vertedouro insuficiente para a vazão da cheias.

**Causa Provável:** ausência de estudos e projetos adequados na fase de construção da barragem.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** ocorrência de galgamentos pelas ombreiras em períodos de cheia.

**Recomendações:** desenvolvimento de um projeto.



Foto 12: Barragem Terra Preta do Sistema isolado em destaque vista por montante.

Na foto abaixo notar erosão das margens do canal de chegada causada devido ao galgamento sobre estas margens.



Foto 13: Barragem Ribeirão do Campo do Sistema Rio Claro em destaque crista.

**Anomalia:** trinca na crista da barragem de concreto causada pela reação álcali agregado

**Causa Provável:** efeitos expansivos da reação álcali agregado.

**Implicações quanto a segurança da barragem:** no presente estágio não oferece risco a barragem.

**Recomendações:** acompanhamento visual e análise da instrumentação instalada.



Foto 14: Barragem Ribeirão do Campo do Sistema Rio Claro vista geral.



#### **4. RESULTADOS OBTIDOS**

O Índice de Comportamento assim como as metodologias de classificação estabelecidas pela Lei de barragens constitui uma ferramenta útil aos proprietários pois permite uma comparação entre diversas barragens, avaliando aspectos relacionados as suas operações e manutenções. Com isto, possibilita avaliar onde devem ser efetuados os investimentos prioritários, além de prevenir indesejados acidentes.

#### **5. CONCLUSOES**

A segurança de barragens tem preocupado seus proprietários em todo o mundo. Estes devem sempre garantir os menores riscos possíveis as pessoas e propriedades localizadas nas áreas de jusante. A metodologia apresentada neste trabalho visa contribuir a fim de através da experiência acumulada na área de segurança de barragem contribuir para o meio técnico objetivando a redução de eventos catastróficos.

Neste cenário é fundamental o aprimoramento continuo do efetivo que milita na área de segurança de barragem, levando em consideração fatores de muita relevância, a saber:

- ✓ Influência do fator humano;
- ✓ Interações entre vários envolvidos: proprietário, projetistas, construtores, operadores, fiscalizadores, etc.
- ✓ Análise técnico-econômicas deveriam privilegiar a segurança;
- ✓ Barragem velha não significa barragem segura;
- ✓ Problemas de redução de custos e aumento da produtividade a qualquer preço.

As inspeções visuais com a observação cuidadosa da barragem são de extrema importância para a avaliação de suas condições e um meio necessário para complementar e entender os resultados da instrumentação.

#### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. NETO, JOÃO MIGUEL NICOLAU. Lei 12.334 “ política nacional de segurança de barragens” – sua importância relacionada a prevenção de acidentes e riscos ao meio ambiente. XXII Encontro Técnico Aesabesp/fenasan. Agosto 2.011;
2. KUPERMAN, SELMO CHAPIRA, MORETTI, MARIA REGINA. Lições aprendidas de acidentes e incidentes com barragens. XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens 15, 16, 17, 18 maio 2.017;
3. CRUZ, PAULO TEIXEIRA DA - 100 barragens brasileiras – casos históricos materiais de construção projeto. Editora: oficina de textos. 1.996;
4. HELENE, PAULO R DO LAGO. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.
5. SÃO PAULO. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Portaria DAEE nº 3907, de 15 de dezembro de 2015;
6. BRASIL. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Resolução 236, de 30 de janeiro de 2.017.
7. BRASIL. Lei nº 12334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, n. 181, Seção 1. 21 set., 2010.