



**ESTADO DE SANTA CATARINA**  
SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL - SDC  
DIRETORIA DE RESPOSTA AOS DESASTRES  
GERÊNCIA DE OPERAÇÕES E ASSISTÊNCIA



**ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS PARA A  
CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE CONTENÇÃO  
DE CHEIAS NO RIO ITAJAÍ MIRIM A MONTANTE DA  
CIDADE DE BOTUVERÁ/SC**

**FASE B – PROJETO EXECUTIVO**

**TOMO IV – RELATÓRIO DOS ESTUDOS DE  
SEGURANÇA DA BARRAGEM**

**Consórcio: IGUATEMI - Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda.  
KL – Serviços de Engenharia S.A.**

**DEZEMBRO - 2014**

---

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2. CRITÉRIOS DE PROJETO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Hidrologia.....	8
2.2. Geologia .....	11
2.3. Percolação pela fundação da barragem.....	11
2.4. Estabilidade estrutural.....	12
2.5. Borda livre do reservatório.....	12
<b>3. DIAGNÓSTICO DOS PRINCIPAIS RISCOS .....</b>	<b>14</b>
3.1. Fase de construção.....	14
3.2. Fase de operação .....	14
3.3. Avaliação de risco .....	14
<b>4. IDENTIFICAÇÃO DAS EMERGÊNCIAS POTENCIAIS .....</b>	<b>17</b>
<b>5. REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA.....</b>	<b>19</b>



# APRESENTAÇÃO



---

## APRESENTAÇÃO

O presente relatório, intitulado RELATÓRIO DE PROJETO – ESTUDOS DE SEGURANÇA DA BARRAGEM, é parte integrante dos Estudos de Engenharia para OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE CHEIAS NO RIO ITAJAÍ MIRIM A MONTANTE DA CIDADE DE BOTUVERÁ/SC.

O relatório foi elaborado pelas empresas IGUATEMI - Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda e KL – Serviços de Engenharia S.A. em conformidade com o Contrato celebrado com a Secretaria de Estado da Defesa Civil, cujos elementos principais estão relacionados a seguir.

<b>Número do Contrato :</b>	<b>021/2013</b>
<b>Data de Assinatura do Contrato :</b>	<b>31/10/2013</b>
<b>Número da Ordem de Serviço :</b>	<b>62/2013/SDC</b>
<b>Data de Assinatura da Ordem de Serviço :</b>	<b>01/11/2013</b>
<b>Prazo Contratual :</b>	<b>365 dias</b>



# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO



---

## 1. INTRODUÇÃO

A Barragem de Botuverá será constituída por estruturas de grandes dimensões que, sujeitas a riscos ambientais em todas suas fases de implantação e operação, representará riscos importantes para os trabalhadores envolvidos na sua construção e para a comunidade ao longo do vale do rio Itajaí-mirim.

Com o intuito de avaliar as condições de segurança da barragem, é elaborado o presente Relatório dos Estudos de Segurança da Barragem.

Sua elaboração é preconizada pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

Tem como objetivos apresentar à sociedade as informações necessárias para a conscientização quanto aos riscos associados à presença da barragem, e as medidas e programas previstos para situações de emergência, com o objetivo de mitigação de riscos de incidentes e acidentes, e melhoria da gestão de riscos.

A fiscalização do cumprimento da legislação pertinente por parte da Barragem de Botuverá será uma incumbência da Agência Nacional de Águas – ANA.

O presente Relatório dos Estudos de Segurança da Barragem apresenta o diagnóstico dos principais riscos aos quais os trabalhadores, a comunidade e a natureza ao redor da Barragem de Botuverá estarão expostos, devido à sua construção e posterior operação.



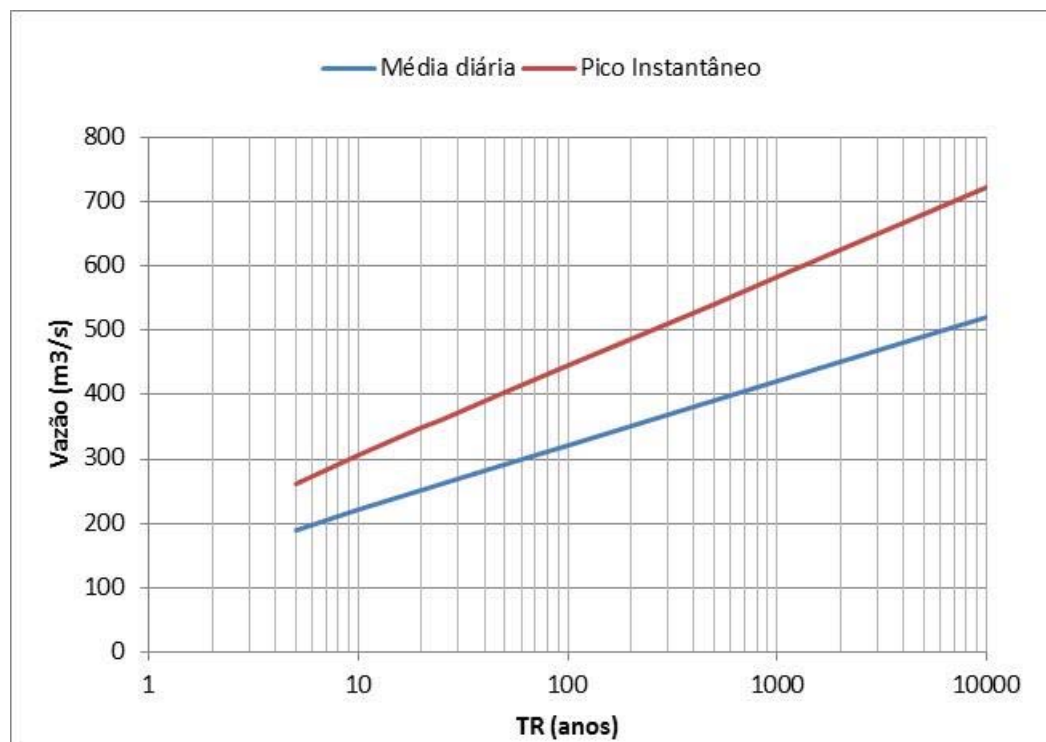
## **CAPÍTULO 2 – CRITÉRIOS DE PROJETO**

## 2. CRITÉRIOS DE PROJETO

### 2.1. Hidrologia

Os riscos hidrológicos associados à obra foram avaliados e quantificados na fase de projeto básico, através da realização de estudos hidrológicos e levantamentos hidrométricos, que permitiram determinar as vazões de dimensionamento das estruturas durante as fases de construção e operação.

A partir da análise estatística das vazões de enchentes ocorridas na bacia, registradas nas séries de registros históricos de vazões e níveis de água nas estações fluviométricas existentes no rio Itajaí-mirim, foi elaborada a curva de frequência de cheias no rio Itajaí-mirim no local da barragem, que é apresentada na Figura e Quadro a seguir.



**FIGURA 2.1 FREQUENCIA DE CHEIAS NO EIXO DO BARRAMENTO**

**Quadro 2.1 – FREQUENCIA DE CHEIAS NO EIXO DO BARRAMENTO**

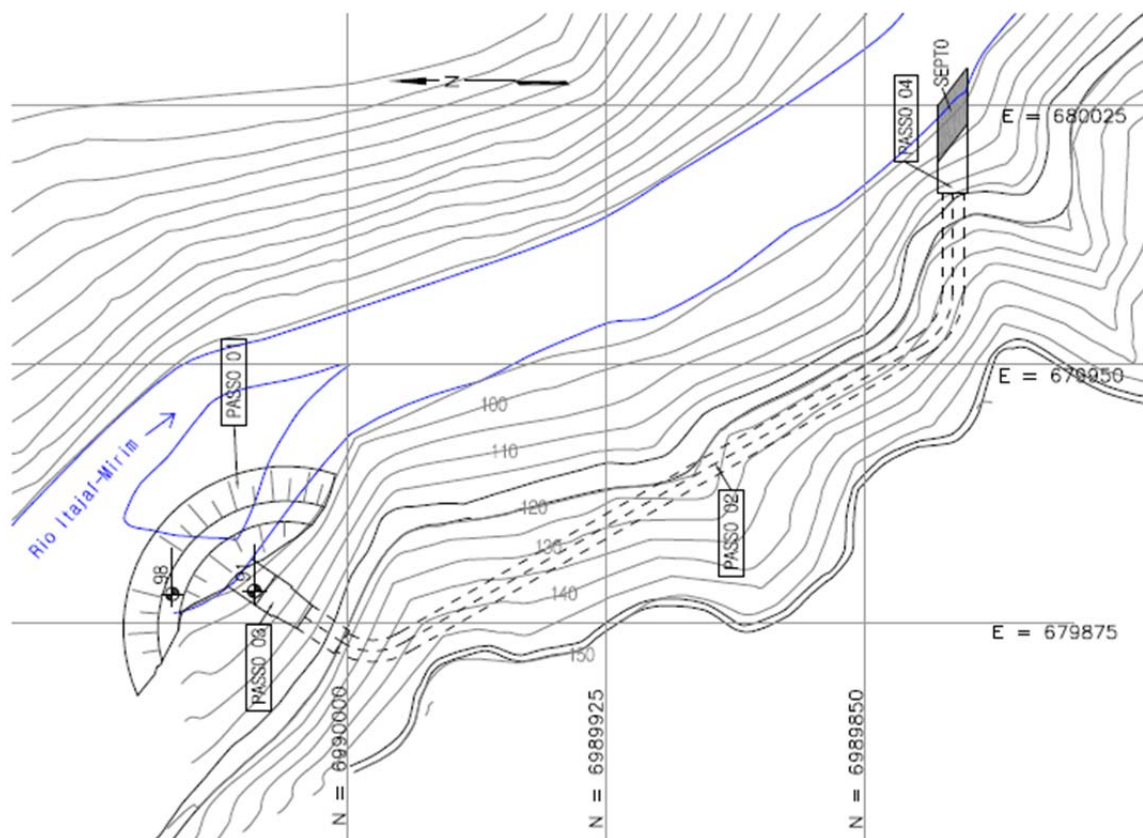
TR (anos)	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000
<b>Media</b>	176	205	232	266	292	352	378	464
<b>Pico</b>	244	283	321	368	404	488	523	643

As estruturas hidráulicas foram dimensionadas para cheias compatíveis com seu prazo de utilização, risco associado e custo de execução.

Para a construção da barragem, o rio será desviado através de um túnel escavado na margem direita. Associadas a este túnel, serão construídas transversalmente ao rio, duas ensecadeiras, que se constituem em barragens provisórias, destinadas a manter seca a área no leito do rio onde será construída a barragem.

O desvio do rio será executado em duas fases.

Inicialmente, o rio será mantido na sua calha natural, e realizada a escavação na região da estrutura de desvio, localizada na margem direita, de modo a liberar a área para os serviços de concretagem desta estrutura. Para execução desta etapa, deverá ser implantada uma ensecadeira longitudinal com cota de proteção na elevação EL .98,0, ao redor da área de implantação da estrutura do emboque e mantido o septo natural na região do desemboque, que permitirá o ensecamento e acesso a estas áreas, conforme indicado na Figura 2.



**Figura 2 – Localização do túnel de desvio e localização da ensecadeira de 1ª Fase e septo de proteção.**

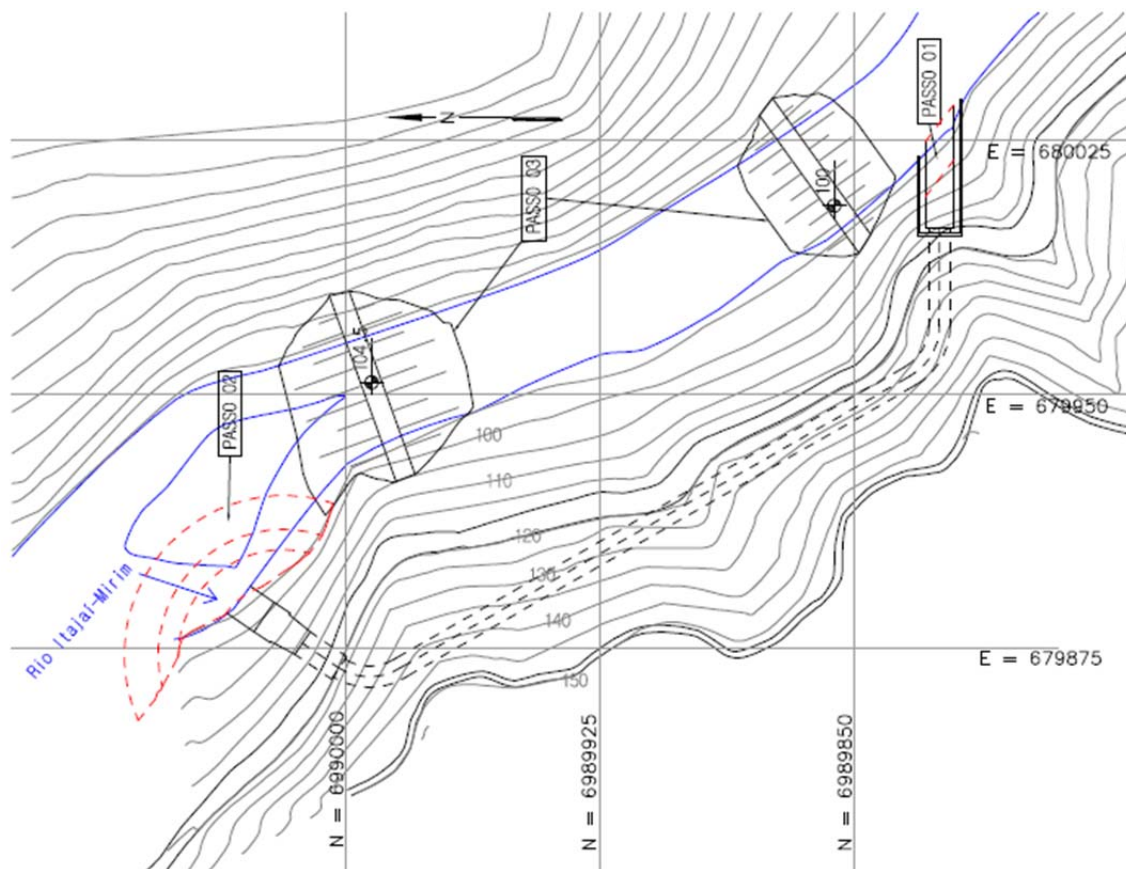
Paralelamente, deverão ser executadas as escavações dos canais de entrada e saída da estrutura de desvio. Após a conclusão desta estrutura de concreto, serão instaladas as guias nas ranhuras destinadas à colocação das comportas.

Para a execução deste conjunto de obras, foi considerado que estas áreas estivessem protegidas por meio das ensecadeiras de primeira fase e septo, que desviam o rio por um canal formado entre a ensecadeira e a margem esquerda.

Na segunda fase, será necessário o fechamento do rio, para a construção da barragem, desviando-se o escoamento para o túnel de desvio.

Por sobre o canal de desvio, prevê-se a colocação de uma ponte provisória, ligando a margem esquerda à crista da ensecadeira, possibilitando assim a travessia para as obras na margem esquerda do rio.

O rio será então totalmente direcionado para a estrutura de desvio, construída na fase anterior, mediante a construção das ensecadeiras de segunda etapa, conforme indicado na Figura 3.



**Figura 3 – Localização das ensecadeiras de 2ª Fase.**

Ao final da construção da totalidade da estrutura da barragem/vertedouro, a estrutura de desvio será fechada mediante a colocação das comportas ensecadeiras. Deverá ser construída, no canal de saída, uma ensecadeira provisória, a qual terá por finalidade impedir que a água escoada sobre o vertedouro atinja o desemboque do túnel de desvio, por onde se dará o acesso para a realização dos serviços de concretagem dos tampões definitivos sob a barragem.

Na fase de operação da barragem, os riscos hidrológicos são representados pela possibilidade de galgamento da barragem, o que poderia colocar em risco a estabilidade da estrutura como um todo.

Para evitar este risco, as estruturas extravasoras, representadas pelas válvulas dispersoras no corpo da barragem e pelos vertedouros de fundo e de superfície, foram dimensionados para permitir a passagem da cheia decamilenar com segurança.

## 2.2. Geologia

Os riscos geológicos estão associados à segurança das fundações e à possibilidade de ocorrência de sismos, naturais ou induzidos, que possam afetar a integridade das estruturas.

Para quantificar estes riscos, foram executados levantamentos geológicos em campo, com sondagens sísmicas por eletrorresistividade, sondagens percussivas e sondagens rotativas.

Estas sondagens permitiram avaliar adequadamente os parâmetros de dimensionamento das fundações e escavações, sempre visando a definição de critérios que assegurem a integridade da estrutura e a minimização dos riscos para as populações residentes a jusante da obra.

No que se refere à sismicidade, ciência que estuda as movimentações tectônicas do planeta e seus possíveis efeitos sobre elementos da natureza e estruturas implantadas pelo homem, pode-se afirmar que a região onde será implantada a barragem de Botuverá se situa-se interior da placa Sul-Americana em uma região onde não ocorrem colisões de placas. Esta região brasileira, instalada sobre esta placa, é reconhecidamente como pouco sujeita a abalos sísmicos de grande intensidade, bem diferente daquela observada na região andina e periandina, que está sofrendo esforços compressivos pela colisão da placa de Nazca com a placa Sul-Americana.

O sismo mais próximo ao eixo da futura barragem registrado não tem confirmação, e foi detectado por um geólogo em Brusque e uma distância de cerca de 30 km do local da obra, com aproximadamente 3 Graus na escala Richter. Outro tremor com magnitude de 3.5 na escala Richter foi registrado em Jaraguá do Sul, no Norte de Santa Catarina, na data de 06/10/2014. O fenômeno foi confirmado pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (UnB) e Secretaria Municipal da Defesa Civil (Sedef). O fenômeno foi considerado um terremoto de magnitude baixa e corrobora com a classificação na Zona 0.

Tendo em conta que os eventos sísmicos registrados são de magnitude baixa, que o rio Itajaí Mirim se assenta sobre rochas do embasamento cristalino, e que a carga hidráulica associada ao reservatório é baixa, acredita-se que não haverá riscos de ocorrência de sismicidade induzida pelo reservatório. Entretanto, Recomenda-se que, por ocasião das obras, se estabeleça convênios com instituições de monitoramento sismológico na região Sul do Brasil, para acompanhamento das movimentações tectônicas durante a execução da obra, em especial durante a etapa de enchimento do reservatório.

## 2.3. Percolação pela fundação da barragem

A partir dos resultados dos ensaios de perda de água realizados na área da barragem, foi possível avaliar a possibilidade de percolação pela fundação das estruturas. Estas análises proporcionaram as informações necessárias e suficientes para o

dimensionamento de tirantes e injeções, que protegerão a estrutura, descartando assim a possibilidade de percolação excessiva por sua fundação.

#### **2.4. Estabilidade estrutural**

As estruturas provisórias e definitivas integrantes da Barragem de Botuverá foram analisadas quanto à sua estabilidade, considerando as condições de carregamentos para a Verificação da Estabilidade Global, a qual pode ser definida como a capacidade da estrutura em análise de não sofrer movimentos de corpo rígido, quais sejam: escorregamento, tombamento e flutuação.

Para tanto, foram analisados todos os casos de carregamento críticos que pudessem eventualmente resultar em instabilização das estruturas, através de análises estruturais que permitiram avaliar sua segurança em situações extremas.

A estrutura foi analisada como blocos de 1m de largura, tendo a translação e rotação restritas ao plano da seção, e resultaram, para todos os casos de carregamento analisados, coeficientes de segurança compatíveis com seu porte e risco associado.

#### **2.5. Borda livre do reservatório**

Os estudos para determinação da cota de coroamento da barragem principal e pontos de fuga foram realizados na fase de Estudo de Alternativas supondo diferentes estruturas e dimensões correspondentes. Descrevem-se a seguir os critérios adotados e os resultados obtidos.

Para a determinação da cota de coroamento (CC) calcularam-se os "free-board" mínimo e normal necessários, a partir da análise dos efeitos de vento no reservatório.

Para tanto, considerou-se a elevação da lâmina da água sobre a crista da soleira vertente, para a cheia de 10.000 anos de tempo de recorrência, e os efeitos do vento.

Por bora livre mínima ( $F_{\text{mín}}$ ) entende-se a diferença de altura entre o coroamento do maciço e o nível máximo da água atingido no lago durante a passagem da cheia de projeto, supondo-se o correto funcionamento hidráulico do descarregador de cheias.

Já a denominação borda livre normal ( $F_{\text{normal}}$ ) foi dada à diferença de altura entre o coroamento do maciço e o nível d'água normal no reservatório (cota da soleira do vertedouro).

Os estudos realizados indicaram como adequado para o valor da borda livre a provisão de 1,30 m de excesso da elevação da crista do trecho não vertente em relação ao nível da água máximo para a passagem da lâmina de cheia com tempo de recorrência de 1000 anos.



## **CAPÍTULO 3 – DIAGNÓSTICO DOS PRINCIPAIS RISCOS**

### 3. DIAGNÓSTICO DOS PRINCIPAIS RISCOS

#### 3.1. Fase de construção

O risco hidrológico na fase de construção é representado pelo risco de galgamento das ensecadeiras, e sua potencial ruptura. Este risco é maior enquanto a barragem ainda não tiver atingido a conta de coroamento da ensecadeira de montante, na elevação 104 m. Quando a barragem, durante a fase de construção, estiver mais em elevação maior que a do coroamento da ensecadeira de montante, o eventual galgamento desta não implicará em maiores riscos para a barragem.

Adotou-se um tempo de recorrência de 5 anos, no período anual, para a determinação da vazão de dimensionamento do túnel e das ensecadeiras. Desta forma, está implícito um risco de 20% de ocorrência, ao longo do ano, de vazão superior à adotada para o dimensionamento das estruturas.

O risco geológico se encontra representado pela possibilidade de ocorrência de condições adversas ao longo das fundações das estruturas principais ou na escavação do túnel de desvio. Estas situações, embora possam resultar em prejuízos financeiros para a obra, não representam em princípio riscos adicionais para os trabalhadores e o vale a jusante.

Quanto à estabilidade da estrutura, está garantida pela robustez da seção da barragem durante a fase de construção, sendo os coeficientes de segurança das etapas intermediárias de construção sempre mais elevados que após a finalização.

#### 3.2. Fase de operação

Os riscos associados à barragem durante a fase de operação são representados por riscos hidrológicos e geológicos conforme descritos nos itens anteriores.

Dimensionada para a cheia de tempo de recorrência de 10.000 anos, a barragem apresenta risco de galgamento de 0,01%.

Com relação às condições geológicas da fundação, as sondagens realizadas indicam que a rocha na fundação se apresenta adequada para a implantação da barragem, sem riscos de colapso estrutural.

#### 3.3. Avaliação de risco

O estudo das ameaças de desastres e do grau de vulnerabilidade dos corpos e sistemas receptores aos efeitos adversos permite a avaliação, a hierarquização dos riscos de desastres e a definição das áreas de maior risco.

##### 3.3.1. Risco Hidrológico

Por se tratar de uma barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR), o risco hidrológico durante a fase de construção foi calculado para a vazão equivalente a um tempo de retorno de 5 anos, com risco de 20%, e o risco hidrológico durante a fase de operação é de 0,01%, equivalente a vazão decorrente da cheia com tempo de retorno de 10.000 anos. O projeto contém também uma borda livre de 0,80 m acima do nível máximo maximorum.

O histórico de vazões utilizado foi do ano de 1929 a 2013, nos quais a máxima vazão observada foi de 110,7 m<sup>3</sup>/s, em 1983. A vazão máxima decamilenar resultou em 643 m<sup>3</sup>/s.

### **3.3.2. Risco de Colapso Estrutural**

A barragem de Botuverá foi projetada obedecendo aos mais rígidos critérios adotados para obras de grande responsabilidade, ou seja, sem risco de ruptura estrutural. Para tanto as diversas etapas do projeto sempre foram avaliadas por especialistas do campo de estabilidade e resistência de estruturas.

Durante o período de construção da barragem, deverá ser adotado um rigoroso controle de qualidade, de modo a garantir que as estruturas sejam executadas estritamente em acordo com o projeto.

A fim de avaliar o desempenho das estruturas, o projeto prevê a manutenção do sistema de auscultação da instrumentação instalado, de modo a garantir a segurança permanentemente.

No final de 2013, um pequeno sismo foi sentido na cidade de Brusque, próxima a cidade de Botuverá e cerca de 30 quilômetros da localização da barragem. Os estudos de estabilidade das estruturas consideraram os efeitos de sismicidade no local, adotando nos cálculos uma aceleração sísmica igual a 0,05g na horizontal e 0,03g na vertical para o dimensionamento da estrutura.



# **CAPÍTULO 4 – IDENTIFICAÇÃO DAS EMERGÊNCIAS POTENCIAIS**

#### 4. IDENTIFICAÇÃO DAS EMERGÊNCIAS POTENCIAIS

Para identificação das emergências foram determinados níveis de água ao longo do rio e do próprio reservatório para duas situações de operação para as seguintes condições excepcionais:

- Para a vazão correspondente ao tempo de retorno de 100 anos, 404 m<sup>3</sup>/s, com o nível do reservatório no início da cheia na elevação máxima normal, 122,30 m, correspondente à crista do vertedouro de soleira livre;
- Para a vazão decamilenar, 643 m<sup>3</sup>/s, utilizada para o dimensionamento do sistema extravasor.

A partir destes perfis de níveis de água e da curva referencial, as emergências potenciais foram identificadas e classificadas.

Estas emergências são representativas de situações críticas de operação do reservatório. A situação mais crítica é representada pela passagem da cheia de projeto.

As estruturas de descarga de cheias foram dimensionadas para permitir a passagem da cheia de projeto (vazão decamilenar) sem danos para a estrutura da barragem. Entretanto, seu comportamento deverá atentamente ser monitorado durante eventos de cheia, possibilitando a previsão de situações críticas e riscos potenciais, e a tomada de decisão quanto a medidas de proteção a jusante.

No evento considerado mais crítico, representado pela passagem do pico da cheia decamilenar, com vazão máxima afluyente na Barragem de 643 m<sup>3</sup>/s, os municípios a jusante da barragem já listados no capítulo anterior estarão em situação de alerta, com grande número de áreas alagadas.

A barragem está dimensionada com borda livre de 1,10 m acima do nível de água máximo maxímorem, correspondente à passagem da cheia decamilenar com os descarregadores de fundo em operação. Assim, caso a vazão afluyente supere o pico da cheia decamilenar, e o nível da água atinja a crista do trecho não vertente da barragem, poderá ocorrer passagem de água sobre estes trechos (nas ombreiras esquerda e direita), que não estarão preparadas para este evento.

Por possuir estrutura em concreto compactado a rolo, a barragem não estará em princípio sujeita a colapso imediato na situação de galgamento da seção não vertente. Porém, caso tal situação se mantenha por muito tempo, poderá ocorrer erosão no contato da barragem com a sua fundação, levando a colapso da estrutura. Caso ocorra, tal situação poderá acarretar aumento súbito na vazão efluente, com formação de uma onda de cheia artificial que causará impacto no vale a jusante.

Na iminência desta situação, deverão ser executados procedimentos preventivos de remoção das populações das zonas críticas, indicadas no mapa de inundação que será acrescentado na primeira revisão deste Plano de Ação de Emergência, que indica as áreas sujeitas a alagamento a jusante do barramento.



# **CAPÍTULO 5 – REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA**

---

## 5. REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem, parte integrante do Plano de Segurança da Barragem, tem por objetivo verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem. A referida Revisão Periódica deverá indicar as ações a serem adotadas pelo Empreendedor para a manutenção da segurança de sua barragem de mineração.

Conforme a Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, a Revisão Periódica de Segurança da Barragem cabe ao órgão fiscalizador estabelecer a periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento e cabe ao empreendedor elaborar as Revisões Periódicas de Segurança.

O produto final da Revisão Periódica de Segurança de Barragem será um relatório que corresponde ao Volume IV do Plano de Segurança da Barragem, conforme Portaria DNPM Nº 416, de 03 de setembro de 2012, e nesta temática, o empreendedor fica obrigado a enviar ao DNPM e à ANA, o Resumo Executivo da Revisão Periódica de Segurança da Barragem em até 60 dias após a elaboração do referido relatório, juntamente com declaração de ciência do representante legal do Empreendedor quanto ao conteúdo do documento.