



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIANA DA SILVA

ANÁLISE EM SEGURANÇA DE BARRAGENS COM BASE EM SISTEMA DE  
INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO

Florianópolis  
2016



JULIANA DA SILVA

ANÁLISE EM SEGURANÇA DE BARRAGENS COM BASE EM SISTEMA DE  
INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de  
Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção  
do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Patrícia de Oliveira Faria, Dr.<sup>a</sup>

Florianópolis  
2016





Juliana da Silva

**ANÁLISE EM SEGURANÇA DE BARRAGENS COM BASE EM SISTEMA DE  
INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO**

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação junto à Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de novembro de 2016.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof.ª Patrícia de Oliveira Faria, Dr.ª  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng.ª Patrícia Becker, Ms.  
Estelar Engenheiros Associados Ltda.

Florianópolis  
2016



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de aprendizado e construção de valores morais e éticos, os quais contribuíram para a minha formação como pessoa e futura profissional.

A minha orientadora, Patrícia de Oliveira Faria, pelo carinho e confiança depositados em mim e por mostrar os caminhos da vida em momentos de incerteza.

Às empresas envolvidas por concederem o uso de dados para o estudo de caso neste trabalho.

A Engenheira Patrícia Becker por propiciar momentos de aprendizado intenso, pela amizade e, especialmente, por instigar em mim o desejo de exercer minha profissão.

Agradeço aos meus pais pela honestidade e integridade com as quais conduziram minha criação e por todo o imenso amor envolvido nesse processo. À minha mãe, seu apoio trouxe serenidade a minha trajetória.

E a meu noivo, pelo suporte, expectativas, compreensão e por almejar grandes conquistas ao meu lado.



## RESUMO

A Lei 12.334 de 2010 junto ao Manual de Segurança de Barragens do Ministério da Integração parametrizam o cenário atual de segurança de barragens criando padrões de verificação de risco e manutenção às estruturas existentes e aos novos projetos. Para a averiguação desses parâmetros, aplica-se um estudo de caso através de Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), situada no Brasil, com análise das condições de operação e manutenção dos mecanismos de instrumentação da Usina e avaliação de suas estruturas por inspeção visual realizada em 2015. Com base nos dados inspecionados e no monitoramento da instrumentação aplicou-se a Matriz de Classificação da Barragem ao estudo de caso, proposta pela Resolução Normativa 696 (ANEEL, 2015) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para barragens com fins energéticos, onde obteve-se "Classe B" para o barramento. Para comparação, o método de Classificação de Consequência de Ruptura, sugerido pelo Guia Básico de Segurança de Barragens (CBDB), foi aplicado e a barragem classificada como consequência "Alta". Ambos resultados atentam para a elaboração de um Plano de Ação Emergencial e categorizam a barragem como de potencial de dano alto. Em contrapartida, a avaliação do Índice do Nível de Auscultação (INA), apresentada no XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, do CBDB, demonstra resultados excelentes quanto ao nível de monitoramento das estruturas, o que expõe o rígido controle de segurança da Usina.

Palavras-chave: anomalia, auscultação, barragem, inspeção, instrumentação, monitoramento, risco, ruptura.



## ABSTRACT

The Law 12.334 of 2010, together with the Dam Safety Manual of the Ministry of Integration, establishes the current scenario of dam safety by creating risk verification and maintenance standards for existing structures and new projects. In order to verify these parameters, a case study is carried out through the Hydroelectric Power Station, located in Brazil, with analysis of the operation and maintenance conditions of the Station's instrumentation mechanisms and evaluation of its structures by the visual inspection performed in 2015. Based on the data inspected and the monitoring of the instrumentation, the Dam Classification was applied to the case study proposed by Resolution 696 (2015) of the ANEEL for energy-related dams, where it was obtained "Class B" for the dam. For comparison, the Rupture Consequence Classification method, as suggested by the Basic Dams Safety Guide (CBDB), was applied and the dam classified as "High" consequence. Both results seek to elaborate an Emergency Action Plan (PAE) and categorize the dam as having high potential for damage. On the other hand, the evaluation of the INA, presented at the XXVI National Seminar of Large Dams, of the CBDB, shows excellent results regarding the level of monitoring of the structures, which exposes the rigid safety control of the UHE.

Keywords: anomaly, auscultation, dam, inspection, instrumentation, monitoring, danger, break.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Finalidade das Barragens.....	28
Figura 2 - Single Purpose Dams.....	28
Figura 3 - Barragens de Usos Múltiplos.....	29
Figura 4 - Barragens por Finalidade.....	29
Figura 5 - Barragens no Brasil por Região.....	31
Figura 6 - Tipos de Barragens no Mundo.....	32
Figura 7 - Arranjo UHE do estudo de caso.....	40
Figura 8 - Seção típica de barragem de terra com enrocamento.....	44
Figura 9 - Piezômetro de Tubo Aberto (Casagrande).....	57
Figura 10 - Piezômetro Elétrico.....	57
Figura 11 - Medidor Magnético de Recalque.....	58
Figura 12 - Marco de Deslocamento Superficial.....	59
Figura 13 - Localização UHE de Estudo de Caso.....	74
Figura 14 - Margem direita e esquerda da barragem da UHE de estudo de caso.....	77
Figura 15 - Crista da barragem da UHE de estudo de caso.....	77
Figura 16 - Vista a montante - sistema de comportas afogada do vertedouro da UHE de estudo de caso.....	78
Figura 17 - Montante do vertedouro, com muro de aproximação ao fundo - UHE de estudo de caso.....	79
Figura 18 - Muro de aproximação do vertedouro da UHE de estudo de caso.....	79
Figura 19 - Estrada de trânsito de veículos com grade de proteção para o vertedouro - UHE de estudo de caso.....	80
Figura 20 - Jusante do vertedouro, com destaque para a bacia de dissipação - UHE de estudo de caso.....	80
Figura 21 - Canal de restituição da água vertida - UHE de estudo de caso.....	81
Figura 22 - Tomada d'água e canal de adução da UHE de estudo de caso.....	82
Figura 23 - Crista da tomada d'água com praticão para içamento das comportas de manutenção - UHE de estudo de caso.....	82
Figura 24 - Vista externa da casa de forçás - UHE de estudo de caso.....	83
Figura 25 - Canal de fuga da UHE de estudo de caso.....	83
Figura 26 - Acesso - margem esquerda da barragem de terra - UHE de estudo de caso.....	87
Figura 27 - Canal de fuga sem proteção lateral - UHE de estudo de caso.....	88
Figura 28 - Vista do edifício de serviços (ao fundo) e edifício de controle (frente) - UHE de estudo de caso.....	89
Figura 29 - Canal de adução com log boom (1) elevado (trecho da esquerda) - UHE de estudo de caso.....	90
Figura 30 - Talude de jusante da margem esquerda da barragem de terra - UHE de estudo de caso.....	91
Figura 31 - Canal de restituição com margem direita erodida - UHE de estudo de caso.....	92
Figura 32 - Canal de restituição com margem esquerda erodida - UHE de estudo de caso.....	92
Figura 33 - Galeria do vertedouro com intensa umidade - UHE de estudo de caso.....	93
Figura 34 - Vegetação rasteira sobre o enrocamento no talude de montante da margem direita - UHE de estudo de caso.....	94
Figura 35 - Vegetação arbustiva entre taludes de terra e de enrocamento - jusante - UHE de estudo de caso.....	95
Figura 36 - Ausência de vegetação ao pé do talude de jusante - UHE de estudo de caso.....	95
Figura 37 - Infiltração no interior da galeria da tomada d'água - UHE de estudo de caso.....	96

Figura 38 - Parede de montante da @ea de descarga com antigas infiltra'bes. - UHE de estudo de caso.....	97
Figura 39 - Junta de dilata'2o entre casa de for'a e @ea de montagem. - UHE de estudo de caso.....	98
Figura 40 - Infiltra'bes na galeria de drenagem da casa de for'a. - UHE de estudo de caso. ....	99
Figura 41 - Infiltra'bes na galeria de drenagem da casa de for'a. - UHE de estudo de caso. ....	99
Figura 42 - Infiltra'2o na galeria de suc'2o da casa de for'a. - UHE de estudo de caso.....	100
Figura 43 - Infiltra'2o na parede de jusante do piso das bombas da casa de for'a. - UHE de estudo de caso.....	101
Figura 44 - Fluxograma para Classifica'2o da Barragem.....	135

## LISTA DE GRÉFICOS

Gráfico 1 - PZ-15 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.....	105
Gráfico 2 - PZ-35 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.....	105
Gráfico 3 - PZ-55 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.....	106
Gráfico 4 - PZ-43 na tomada d'água - UHE estudo de caso.....	108
Gráfico 5 - PZ-DD-01 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso. ....	109
Gráfico 6 - PZ-DE-06 no dique esquerdo do canal de adução - UHE estudo de caso.....	110
Gráfico 7 - PZ-ME-07 na margem esquerda do barramento - UHE estudo de caso.....	111
Gráfico 8 - PZ-05 no leito do rio - UHE estudo de caso.....	112
Gráfico 9 - PZ-06 no leito do rio - UHE estudo de caso.....	113
Gráfico 10 - PE-DD-01 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso. ....	116
Gráfico 11 - PE-DD-03 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso. ....	117
Gráfico 12 - PE-DD-04 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso. ....	117
Gráfico 13 - MV-03 no dique esquerdo do canal de adução - UHE estudo de caso.....	118
Gráfico 14 - MV-01 na margem esquerda do barramento - UHE estudo de caso. ....	120



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de operação da Usina nos dias da inspeção.....	86
Tabela 2 - Relação de instrumentos de leitura instalados na Usina UHE estudo de caso. ....	103
Tabela 3 - Piezômetro de tubo aberto - Vertedouro.....	104
Tabela 4 - Piezômetro de tubo aberto - Bacia de Dissipação.....	104
Tabela 5 - Piezômetro de tubo aberto - Casa de Força (Estrutura de montagem). ....	107
Tabela 6 - Piezômetro de tubo aberto - Tomada d'água.....	107
Tabela 7 - Piezômetro de tubo aberto - Dique Direito.....	108
Tabela 8 - Piezômetro de tubo aberto - Dique Esquerdo.....	109
Tabela 9 - Piezômetro de tubo aberto - Barragem (Margem Esquerda). ....	110
Tabela 10 - Piezômetro de tubo aberto - Barragem (Leito do Rio). ....	111
Tabela 11 - Piezômetro de tubo aberto - Contato Barragem Vertedouro. ....	113
Tabela 12 - Organização e Disponibilidade dos Dados Básicos da Barragem.....	144
Tabela 13 - Inspeções Visuais.....	145
Tabela 14 - Equipes de Auscultação.....	146
Tabela 15 - Instrumentação de Monitoramento.....	146
Tabela 16 - Análise e Interpretação dos Resultados.....	147



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Barragens no Brasil por Região.....	31
Quadro 2 - Barragens por Tipo no Brasil.....	33
Quadro 3 - Rompimentos de barragens na história.....	45
Quadro 4 - Especificações Técnicas do Estudo de Caso (UHE).....	74
Quadro 5 - Vertedouro (Galeria).....	114
Quadro 6 - Tomada d'água.....	115
Quadro 7 - Canal de Adução (Dique Direito).....	115
Quadro 8 - Canal de Adução (Dique Esquerdo).....	118
Quadro 9 - Barragem (Margem Esquerda).....	119
Quadro 10 - Barragem (Leito do Rio).....	120
Quadro 11 - Cabeçalho da Lista de Inspeção.....	124
Quadro 12 - Legenda da Lista de Inspeção.....	124
Quadro 13 - Lista de Inspeção.....	125
Quadro 14 - Matriz de Características Técnicas (CT) - Barragem de Terra.....	136
Quadro 15 - Matriz de Estado de Conservação (EC) - Barragem de Terra.....	137
Quadro 16 - Matriz de Plano de Segurança de Barragem (PS) - Barragem de Terra.....	138
Quadro 17 - Faixa de Classificação de Categoria de Risco.....	139
Quadro 18 - Matriz de Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado (DPA).....	140
Quadro 19 - Faixa de Classificação de Dano Potencial Associado.....	141
Quadro 20 - Matriz de Classificação de Barragens.....	141
Quadro 21 - Potencial da Consequência de Ruptura de Barragens.....	143
Quadro 22 - Frequência de Reavaliações da Segurança de Barragens.....	143
Quadro 23 - Classificação do Nível de Auscultação.....	148
Quadro 24 - Quadro-resumo da Usina do estudo de caso.....	149





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA Agência Nacional de Águas  
ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica  
CBDB Comitê Brasileiro de Barragens  
CGH Central Geradora Hidrelétrica  
CNB Cadastro Nacional de Barragens  
CRI Categoria de Risco  
DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral  
DPA Dano Potencial Associado  
ICOLD International Commission on Large Dams  
INA Índice de Nível de Auscultação  
NA Nível de Água  
PAE Plano de Ação Emergencial  
PCH Pequena Central Hidrelétrica  
PNSB Política Nacional de Segurança de Barragem  
PSB Plano de Segurança de Barragens  
SNISB Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens  
UHE Usina Hidrelétrica de Energia



## SUMÉRIO

1. INTRODUÇÃO .....	23
1.1. OBJETIVOS .....	23
1.1.1. Objetivo Geral .....	23
1.1.2. Objetivos Específicos.....	23
1.2. LIMITAÇÕES.....	24
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
2.REVISÃO DA LITERATURA.....	27
2.1. PANORAMA GERAL .....	27
2.1.1. Água como Recurso .....	27
2.1.2. Histórico das Barragens .....	30
2.1.3. Definições dos Tipos de Barragens.....	31
2.1.3.1. Barragens de terra.....	33
2.1.3.2. Barragens de enrocamento .....	35
2.1.3.3. Barragens de concreto gravidade .....	37
2.1.3.4. Barragem de concreto em arco.....	39
2.1.4. Estruturas Cíveis .....	39
2.1.4.1. Vertedouro.....	40
2.1.4.2. Circuito de adução e geração.....	41
2.1.5. Principais Elementos da Barragem .....	43
2.2. SEGURANÇA DE BARRAGENS .....	45
2.2.1. Histórico de Rompimentos.....	45
2.2.2. Lei 12.334 .....	49
2.2.2.1. Resoluções.....	51
2.2.2.2. Plano de segurança de barragens (PSB) .....	51
2.2.2.3. Plano de ação emergencial (PAE).....	52
2.2.3. Auscultações .....	53
2.2.3.1. Inspeções.....	53
2.2.3.2. Instrumentação .....	55
2.2.4. Anomalias .....	60
2.2.4.1. Talude de montante.....	60
2.2.4.2. Talude de jusante.....	61
2.2.4.3. Crista .....	63
2.2.4.4. Êreas a jusante da barragem.....	65
2.2.4.5. Talude de jusante de concreto .....	65

2.2.4.6.	Sangradouro.....	66
2.2.4.7.	Entradas de água, saídas de água e drenos .....	69
2.2.4.8.	Vazamento na válvula .....	70
3.	ESTUDO DE CASO .....	73
3.1.	DEFINIÇÕES.....	73
3.2.	SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	73
3.2.1.	Identificação e Acessos .....	73
3.2.2.	Características técnicas do empreendimento.....	74
3.2.3.	Descrição das Estruturas Civas .....	76
3.2.3.1.	Barragem.....	76
3.2.3.2.	Vertedouro.....	78
3.2.3.3.	Canal de adução e tomada d'água .....	81
3.2.3.4.	Casa de força e canal de fuga .....	82
4.	MÉTODO DE TRABALHO .....	85
4.1.	INSPEÇÃO TÉCNICA FORMAL .....	85
4.1.1.	Área circunvizinha.....	86
4.1.2.	Acessos.....	86
4.1.2.1.	Edifícios de controle e serviços.....	88
4.1.3.	Reservatório.....	89
4.1.4.	Subestação.....	90
4.1.5.	Barragem.....	90
4.1.5.1.	Margem esquerda .....	90
4.1.5.2.	Margem direita .....	91
4.1.6.	Vertedouro.....	91
4.1.7.	Diques da Casa de Força .....	93
4.1.7.1.	Margem direita .....	93
4.1.7.2.	Margem esquerda .....	94
4.1.8.	Tomada d'água e canal de adução.....	96
4.1.9.	Casa de Força .....	97
4.1.9.1.	Área de montagem.....	97
4.1.9.2.	Piso do gerador e galeria elétrica superior.....	98
4.1.9.3.	Galeria elétrica inferior.....	98
4.1.9.4.	Galeria mecânica superior .....	98
4.1.9.5.	Galeria de drenagem.....	99
4.1.9.6.	Galeria mecânica inferior .....	100
4.1.9.7.	Galeria de sucção.....	100

4.1.9.8.	Piso das bombas .....	101
4.2.	MONITORAMENTO DAS INSTRUMENTAÇÕES .....	101
4.2.1.	Piezômetro de Tubo Aberto Tipo Casagrande .....	104
4.2.1.1.	Vertedouro.....	104
4.2.1.2.	Casa de força (Cabeça de montagem) .....	107
4.2.1.3.	Tomada d'água.....	107
4.2.1.4.	Canal de adução (diqe direito).....	108
4.2.1.5.	Canal de adução (diqe esquerdo).....	109
4.2.1.6.	Barragem (margem esquerda) .....	110
4.2.1.7.	Barragem (leito do rio) .....	111
4.2.1.8.	Contato barragem vertedouro.....	113
4.2.2.	Outros Instrumentos .....	113
5.	RESULTADOS .....	123
5.1.	CHECK-LIST (LISTA DE INSPEÇÃO) SEGUNDO MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002) .....	123
5.2.	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM, SEGUNDO RESOLUÇÃO 696, ANEEL (2015).....	134
5.2.1.	Aplicação da Resolução .....	134
5.2.2.	Critério para classificação da barragem .....	134
5.2.2.1.	Categoria de risco (CRI) .....	135
5.2.2.2.	Dano potencial associado (DPA) .....	139
5.2.3.	Matriz de Classificação de Barragens .....	141
5.3.	CLASSIFICAÇÃO DA CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA DA BARRAGEM, SEGUNDO GUIA BÁSICO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (CBGB, 1999).....	142
5.4.	ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE AUSCULTAÇÃO (INA).....	144
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	149
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	153
	GLOSSÁRIO .....	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	ANEXOS.....	13761



## 1. INTRODUÇÃO

Após a Grande Seca que assolou o Nordeste brasileiro no fim do século XIX, a construção de barragens para fornecimento de água e irrigação no Polígono das Secas foi incentivada. Esse foi o marco inicial da implantação de grandes barragens no Brasil. Segundo levantamento da International Commission on Large Dams (ICOLD, 2013), aproximadamente, 36000 barragens estão listadas, atualmente, no World Register of Dams, das quais 300 relatam acidentes de ruptura.

No Brasil, de acordo com o Cadastro Nacional de Barragens (CNB), instaurado pelo Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), das 1392 barragens brasileiras registradas pelo ICOLD, aproximadamente 60% são de terra ou enrocamento, enquanto 40% são de concreto (CBDB, 2014).

Para suprir a insuficiência no controle da segurança de barragens intensificada por essa demanda, em 2010 foi instaurada a Lei 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNDB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). É com base na Lei e no Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, do Ministério da Integração Nacional (2002), que os procedimentos de inspeção de barragens, bem como a forma de identificação de problemas apresentados por meio de monitoramento das instrumentações e auscultação em campo, vem sendo aprimorados.

É importante ressaltar que a correta classificação dos níveis de comprometimento da estrutura em questão, assim como a possibilidade de prevenção e manutenção periódicas podem reduzir drasticamente a ocorrência de rupturas em barragens, promovendo maior confiabilidade para os resultados nessa área e, conseqüentemente, maior segurança para populações atingíveis.

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo realizar a análise dos procedimentos de inspeção de segurança de barragens seguidos atualmente, com base no Manual de Segurança e Inspeção de Barragens do Ministério da Integração (2002), utilizando como cenário a Lei

12.334 (Planalto, 2010). Paralelamente, a aplicação de estudo de caso previamente selecionado será realizada, objetivando-se a classificação dos níveis de perigo das anomalias relatadas em inspeção e monitoramento da Usina selecionada, além da avaliação de risco de sua barragem e dano potencial associado, através de dados coletados em campo e embasamento técnico obtido por pesquisas bibliográficas.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

A fim de prezar pela coerência e qualidade dos resultados pretendidos, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- V analisar resultados do check-list de inspeção e monitoramento recomendado pelo Ministério da Integração (2002) em Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) de estudo de caso, utilizando dados de inspeção regular realizada na Usina e monitoramento das instrumentações desde o período de instalação dos equipamentos até a data da inspeção;
- V determinar Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA) da barragem da UHE de estudo de caso com base na Resolução 696, da ANEEL (2015);
- V classificar a barragem da UHE de estudo de caso, conforme Resolução 696, da ANEEL (2015);
- V classificar consequência de ruptura da barragem conforme Guia Básico para Segurança de Barragens (CBGB, 1999);
- V Analisar nível de auscultação da Usina pelo INA segundo Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).
- V averiguar necessidade de elaboração do Plano de Segurança de Barragens (PSB) e do Plano de Ação Emergencial (PAE) com base nas diretrizes estabelecidas pela Lei 12.334 (Planalto, 2010) e de acordo com a Resolução 696, da ANEEL (2015) e o Guia Básico para Segurança de Barragens (CBGB, 1999);
- V verificar periodicidade de realização das inspeções de revisão de segurança de acordo com a classificação da barragem pela Resolução 696, ANEEL (2015) e o Guia Básico para Segurança de Barragens (CBGB, 1999);
- V confrontar resultados obtidos analisando coerência entre eles.



## 1.2. LIMITAÇÕES

O estudo de caso selecionado é caracterizado como Usina Hidrelétrica de Energia, UHE, localizada no estado do Rio Grande do Sul, ao sul do Brasil. Por solicitação do proprietário da Usina os dados de instrumentação são restritos, portanto limitados, e o nome da Usina não foi liberado para divulgação, a fim de preservar sua imagem. Por ser em outro estado, as visitas técnicas para inspeções visuais não foram realizadas e por isso, também, tem seus registros restringidos às datas de 14 e 15 de outubro de 2015.

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo, o trabalho é introduzido apresentando o tema abordado, os objetivos gerais e específicos do estudo, suas limitações e como o trabalho encontra-se estruturado.

O segundo capítulo desenvolve a revisão bibliográfica do trabalho através de um panorama geral que trata do uso da água, do histórico das barragens no mundo e no Brasil e a definição dos tipos de barragens existentes. Em um segundo momento, são apresentadas as estruturas pertinentes a uma Usina Hidrelétrica devido a escolha do estudo de caso abordado por UHE. O tema "Segurança de Barragens" é tratado ao fim do estudo bibliográfico, abordando histórico de rompimentos, legislação e resoluções relacionadas, bem como definição de inspeções, instrumentação e danos recorrentes associados ao estudo de segurança.

A apresentação do estudo de caso, suas especificações técnicas e estruturas são apresentadas no capítulo 3.

No capítulo 4, a metodologia desenvolve-se através da análise de inspeção visual realizada no dia 14 e 15 de outubro de 2015, bem como a averiguação do real estado de operação dos equipamentos que instrumentam a Usina e seu monitoramento, abrangendo os três primeiros meses após instalação dos mesmos e o ano de 2015 referente à inspeção realizada. Optou-se por avaliar todas as estruturas, e não somente o barramento, para que o check-list proposto pelo Ministério da Integração (2002) pudesse fornecer resultados mais próximos da real situação na qual se encontra a Usina, já que o mesmo exige o preenchimento de dados específicos de todas as estruturas civis.

O capítulo 5 traz os dados analíticos e qualitativos adquiridos na metodologia, aplicando-os na Matriz de Classificação de Barragens proposta pela Resolução 696, da ANEEL (2005), além do preenchimento integral do check-list (lista de inspeção) sugerido pelo Ministério da Integração (2002) que possibilita a avaliação fragmentada de cada estrutura da Usina quanto ao nível de periculosidade das anomalias encontradas. Ao fim, os resultados qualitativos encontrados são correlacionados com métodos usuais de avaliação dos níveis de auscultação e de classificação da consequência da ruptura do barramento, propostos pelo CBDB.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

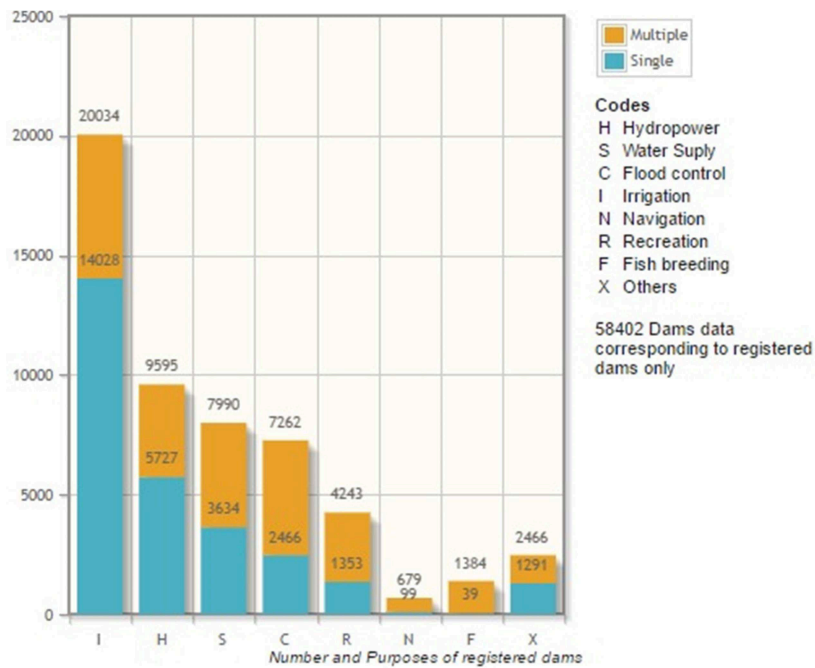
### 2.1. PANORAMA GERAL

#### 2.1.1. A Água como Recurso

Devido ao histórico mau uso dos recursos hídricos disponíveis no planeta, atualmente a retenção desses recursos e o potencial para armazenamento de água nos seus mais variados âmbitos, medem diretamente o desenvolvimento socio-econômico de um país, e apresentam-se desuniformemente distribuídos pelo mundo. A contenção de volumes hídricos por reservatórios é realizada através de estruturas de barramento, cujas finalidades variam de acordo com o propósito para o qual o reservatório foi projetado – dejetos, geração energética ou despejos hídricos.

Até 2013, segundo registros de magnitude mundial da ICOLD (2013), 58402 grandes barragens foram cadastradas, cujo parâmetro para classificação como "grande barragem" baseia-se na altura mínima, da crista do barramento à sua fundação, de 15 m, ou na altura entre 10 e 15 m do barramento que possua um reservatório com capacidade de armazenamento de, no mínimo, 3 milhões de m<sup>3</sup> cúbicos. De acordo com o World Register of Dams, da ICOLD (2013), as grandes barragens cadastradas distinguem-se em grupos conforme sua finalidade, identificados na Figura 1.

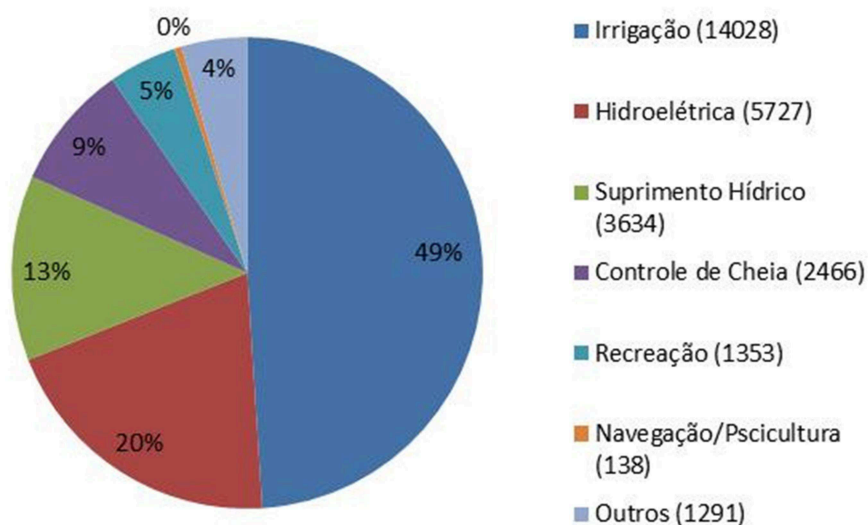
Figura 1 - Finalidade das Barragens.



Fonte: ICOLD (2013).

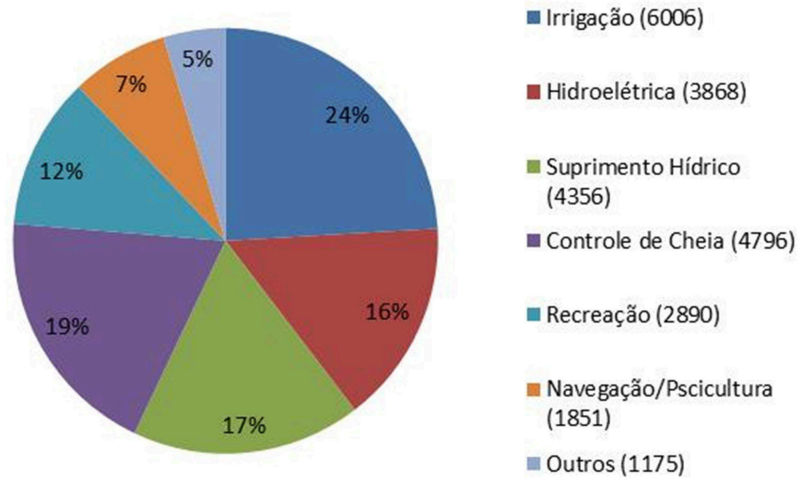
Ainda para fins de classificação, as barragens cadastradas são identificadas como `Single Purpose Dam\_ para barragens de fun o única, e `Multiple Purpose Dam\_ para barragens de usos múltiplos. As classifica es estão indicadas na Figura 2 e Figura 3, respectivamente, a seguir (ICOLD, 2013).

Figura 2 - Single Purpose Dams.



Fonte: ICOLD (2013).

Figura 3 - Barragens de Usos Múltiplos.



Fonte: ICOLD (2013).

Tanto nas barragens de função única, quanto nas de usos múltiplos, é possível observar o domínio exercido pela parcela das barragens com finalidade de irrigação, uma vez que o crescimento exponencial da população mundial exige um aumento na produção agrícola, que por sua vez depende de sistemas eficientes de irrigação para seu desenvolvimento em áreas nas quais não há disponibilidade pluvial adequada para esse fim ou possui grandes variações sazonais de pluviometria, culminando em períodos do ano de secas intensas.

No Brasil, de 1498 barragens classificadas por finalidade, predominam as barragens de fins energéticos com 55,3% do total. Barragens com função de irrigação apresentam-se em quarto lugar no país (CBDB, 2014). A Figura 4, a seguir, ilustra os dados apresentados pelo CNB, do CBDB (2014).

Figura 4 - Barragens por Finalidade.



Fonte: CBDB (2014).

## 2.1.2. Histórico das Barragens

Os primeiros vestígios de construções de barragens no mundo surgiram na extensão do rio Nilo, no Egito. A formação dos modelos pioneiros de reservatório através de pequenas contenções objetivava amenizar os impactos da seca para as primeiras civilizações. Com o decorrer do tempo, obras que atendiam o crescimento da demanda por água no mundo foram extremamente solicitadas. Por volta de 1930 a 1970, a construção de barragens já estava associada ao desenvolvimento econômico do país (CRUZ, 1996).

Historicamente, é compreensível que as barragens para fins de irrigação ocupem a primeira posição no ranking mundial. Em panorama geral, as antigas civilizações como China, Egito, Irã e Índia foram as grandes pioneiras na construção de barragens para sua sobrevivência.

Menes, o primeiro faraó do Egito, ordenou trabalhos de irrigação que alteraram o traçado do Rio Nilo. Na China, imponentes barragens foram construídas no Rio Min para controle de cheia próximo às plantações. Os sagrados livros da Índia mencionam a precoce operação de barragens e canais, evidenciando que essas terras podem ter sido o berço da construção das barragens (JANSEN, 1980, p.01).

No Brasil, acredita-se que a primeira barragem tenha sido construída em meados do século XVI, na região de Recife, PE, e ficou conhecida como Aúde Apipucos. A partir de 1877, com o período da Grande Seca do Nordeste, iniciou-se o primeiro ciclo de construção de barragens que, por iniciativa do Governo Imperial, teve o intuito de auxiliar no armazenamento de água da região, através da construção de açudes para irrigação e abastecimento de água das cidades e de povoados locais, no Polígono das Secas. Devido ao armazenamento possibilitado pelas novas barragens, os processos migratórios da região Nordeste para o Sudeste do Brasil, procura de água foram amenizados, mas vestígios sociais e econômicos ainda permanecem no local (CBDB, 2011).

Segundo dados do CNB, do CBDB (2014), a maior parcela de barragens construídas até hoje no Brasil, encontra-se na região Nordeste, com 36%, sendo a segunda maior concentração na região Sudeste com 30,5%. Em terceiro lugar aparece a região Sul (18,5%), seguida das regiões Centro-Oeste (9,8%) e Norte (5,2%). Os valores contabilizados são

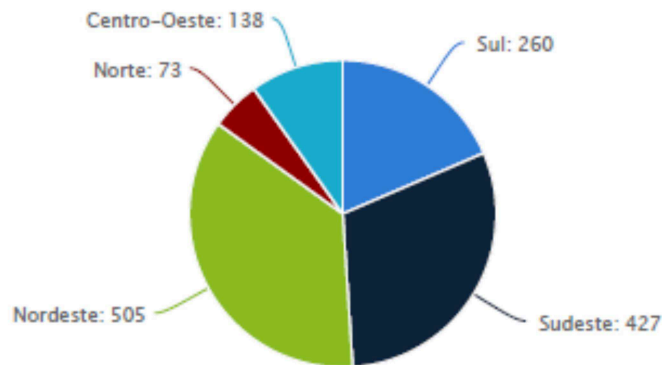
baseados em um total de 1403 barragens cadastradas por região, com 26 barragens não consideradas, representados pelo Quadro 1 e Figura 5.

Quadro 1 - Barragens no Brasil por Região.

Região	Quantidade
Sul	260
Sudeste	427
Nordeste	505
Norte	73
Centro-Oeste	138

Fonte: CBDB (2014).

Figura 5 - Barragens no Brasil por Região.



Fonte: CBDB (2014).

### 2.1.3. Definições dos Tipos de Barragens

Além de geração de energia elétrica, as barragens tem como função: contenção de rejeitos, controle de inundações, fornecimento de água para consumo humano e uso industrial, irrigação, regularização de cheias ou secas e turismo aquático. Ainda podem ser projetadas para contribuir na flora e fauna local, modificando microclimas e habitats naturais (BUREAU OF RECLAMATION, 1977).

Segundo Oliveira (2014), são identificadas como barragens de desvio, ou diques, obstáculos construídos para obras em rios ou mar, como portos ou usinas hidrelétricas, por exemplo. Esses diques afastam a água, liberando espaço para a construção da obra a ser implementada, o trânsito de pessoas e de materiais e equipamentos, sendo logo após "afogados" ou destruídos, ou seja, inutilizados ao fim das etapas construtivas. Também é possível adotar a mesma nomenclatura quando a barragem realiza o desvio da água para

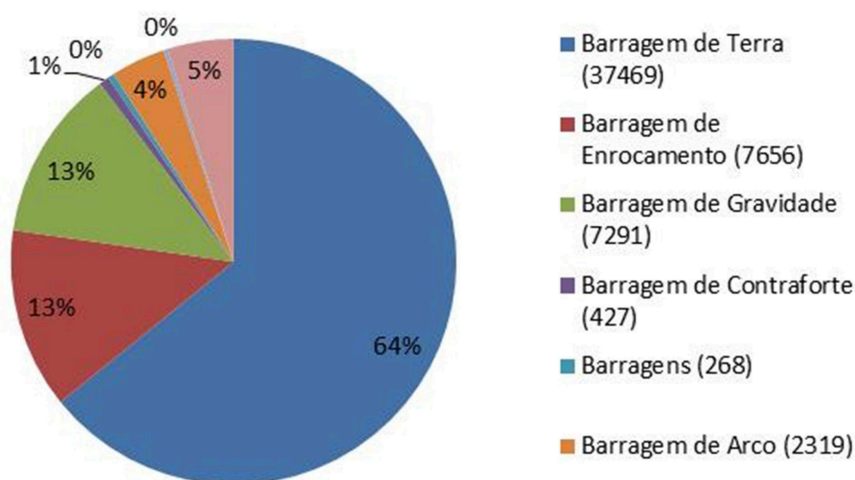
canais de abastecimento da rede municipal ou industrial, ou ainda canais de sistemas de irrigação.

Já as barragens de contenção ou retenção enquadram-se no controle de vazões, minimizando catástrofes naturais. São condizentes também com a retenção de rejeitos, como em usinas de mineração.

O material principal que constitui o corpo das barragens é definido em projeto conforme solicitações específicas da problemática envolvida – condições climáticas, topográficas, geológicas e geotécnicas. Construídas para exercer função de obstáculo artificial para demandas distintas, as barragens podem apresentar-se tendo como material principal terra, concreto, enrocamento ou uma mistura entre eles.

No mundo, por ser o pioneiro utilizado pelas antigas civilizações, o tipo predominante é a barragem de terra, com 64% das barragens cadastradas no mundo, conforme Figura 6 a seguir (ICOLD, 2013).

Figura 6 – Tipos de Barragens no Mundo.



Fonte: ICOLD (2013).

No Brasil, segundo o CNB, do CBDB (2014), o tipo de barragem predominante também é de terra com 63,4%, conforme Quadro 2.



Quadro 2 - Barragens por Tipo no Brasil.

BARRAGENS POR TIPO - BRASIL	
Barragem de Terra	724
Barragem de Concreto Gravidade	243
Barragem de Enrocamento	120
Barragem de Contrafortes	20
Barragem de Alvenaria de Pedra	11
Barragem de Gravidade Aliviada	9
Barragem de Alvenaria em Arco	7
Barragem em Arcos Múltiplos	6
Barragem Abóbada de Dupla Curvatura	1

Fonte: CBDB (2013).

Anterior à definição do tipo de barragem faz-se necessária a identificação das características geológicas, geotécnicas e topográficas do local onde será realizada a implantação da mesma, bem como as condições climáticas locais, pois esses fatores são decisivos na escolha da seção da barragem. Ao desconsiderar-se a análise de um dos parâmetros acima a seção escolhida pode tornar-se econômica e tecnicamente inviável. (SILVEIRA, 2006).

A seguir, descrição dos tipos de barragens mais comumente utilizados no mundo.

#### 2.1.3.1. Barragens de terra

As barragens de terra são as mais comuns no mundo, pela facilidade para obtenção de materiais em estado natural com o mínimo de processamento para sua construção, somando-se a isso o fato de, historicamente, ser a técnica adotada pelas primeiras civilizações (ICOLD, 2013).

Segundo Pereira (2015), esse tipo de barragem foi por muito tempo projetado com base em métodos empíricos e existem diversos registros de ruptura em sua história. A partir da década de trinta, o avanço teórico e tecnológico permitiu que os projetos de barragens de terra fossem elaborados com base em parâmetros de engenharia mais racionais. Entre eles, princípios básicos foram definidos como essenciais para atender requisitos de segurança nos projetos:

- a. Princípio do Controle de Fluxo: deve-se evitar ao máximo a permanência da água dentro da barragem. Para isso, a face de montante deve ser vedada para impedir a

entrada de água, enquanto a face de jusante deverá facilitar a saída de água para fora do maciço.

- b. Princípio da Estabilidade: a compatibilização dos espaldares da barragem com o material de fundação deve ser verificada, bem como características de resistência que garantam a estabilidade da estrutura.
- c. Princípio de Compatibilidade das Deformações: deve haver na estrutura regiões de transição quando ocorrer mudança de material, a fim de evitar excesso de deformação por diferença brusca de coeficiente de dilatação, característico de cada material, evitando grandes recalques diferenciais ou totais.

Para a escolha da seção da barragem de terra são considerados a disponibilidade de materiais existentes nas áreas de empréstimos próximas, a geologia e regime pluviométrico locais, atividades sísmicas e possibilidades de arranjo das estruturas (PEREIRA, 2015).

Quando há disponibilidade de material em jazidas próximas à obra e as características geotécnicas forem favoráveis, a relação custo-benefício é atraente, uma vez que o custo com transporte do material explorado não existe e não há possibilidade de gastos com grandes adaptações geotécnicas. Outro fator que viabiliza o uso de barragens de terra é quando há acúmulo de material escavado que será transportado para uso ou descarte em outro local. Nesse caso, se o material possuir parâmetros condizentes com as especificações técnicas do barramento poderá ser utilizado para execução do mesmo.

Existem duas formas de utilização de barragens de terra: as barragens de terra homogênea e as barragens de terra zoneada. A primeira é construída somente com um tipo de material, cujo coeficiente de permeabilidade deverá apresentar-se baixo, quando o material estiver compactado. Já a segunda, é utilizada quando há pouco material de empréstimo para a construção do aterro. Nesse caso, o material mais impermeável é utilizado no núcleo da barragem para a formação do filtro argiloso, possibilitando a construção dos taludes com material mais permeável (CARVALHO, 2011).

Em ambos os casos, é usual que nesse tipo de barragem os taludes possuam inclinação mais suave para proteção contra erosões e instabilidades. Também que apresente sistema de drenagem interna com filtro, tapete drenante junto à fundação e dreno de pé.

Para SILVEIRA (2006), em obras de médio e grande porte não há viabilidade na utilização de barragens homogêneas de terra devido ao maior tempo de construção e, conseqüentemente, maior custo, o que desfavorece a balanço de custo-benefício por possibilidade de jazida próxima, devido aos grandes volumes de aterro necessários e os cuidados técnicos com sua compactação.

A possibilidade de sofrer processos erosivos se a estrutura de vertedouro não for adequadamente dimensionada, é a principal desvantagem das barragens de terra podendo originar seu rompimento (BUREAU OF RECLAMATION, 1977).

### 2.1.3.2. Barragens de enrocamento

Barragens de enrocamento são construídas com materiais rochosos de granulometria variada, onde a impermeabilização do barramento, neste caso, é exercida por um filtro impermeável, reduzindo o nível da água que percola livremente pelo enrocamento de montante a jusante através da barragem.

Para Pereira (2015), a posição do filtro impermeável define três tipos de barragens de enrocamento:

- a. com filtro no núcleo central, em posição vertical. É preferível, pois a pressão de contato com a fundação será mínima e o controle da construção, mais simples.
- b. com filtro no núcleo central, em posição inclinada;
- c. sob forma de membrana impermeável sobre o talude de montante.

A escolha da posição do filtro é dependente de fatores técnicos e econômicos do projeto.

Para Silveira (2006), optar por barragens de enrocamento não é viável quando o solo de fundação sob o barramento apresenta-se como de baixa resistência, podendo inviabilizar a construção devido aos custos de remoção. Ou quando a região for definida por condições climáticas de alta umidade e chuvosa, que limitem a estabilidade de grandes volumes terrosos. Outro aspecto negativo, segundo Bureau of Reclamation (1977) é a vulnerabilidade a processos erosivos e grandes enchentes.

O cronograma de obra também é fator determinante para seu uso: quando o tempo for limitante, optar por barragens de enrocamento apresenta-se como boa solução (PEREIRA, 2015).

#### a) Barragem de enrocamento com núcleo argiloso

Barragens de terra e enrocamento fazem uso de diferentes materiais para a sua concepção – solo e rocha. Também são favorecidas financeiramente quando há disponibilidade de jazida desses materiais nas proximidades do arranjo do barramento. É importante ressaltar a necessidade da prévia identificação dos parâmetros dos materiais disponíveis verificando

viabilidade do uso dos mesmos nas condições geológicas, geotécnicas, topográficas e climáticas do local de implantação da barragem (SILVEIRA, 2006).

Segundo Pereira (2015), nesse tipo de barragem a posição do núcleo de argila pode ser vertical ou inclinada, sendo a primeira preferível à segunda por exercer pressão de contato máxima com a fundação. Nesse caso, o controle construtivo é menos rigoroso.

A membrana central tem as seguintes vantagens: apresenta menor área exposta ao contato com a água; tem menos comprimentos de cortinas de injeção; maior proteção contra intemperismo e danos externos. Por outro lado, tem as seguintes desvantagens: colocação de material do núcleo e dos filtros simultaneamente com o enrocamento; inacessibilidade da membrana para inspeção e correção de eventuais danos (PEREIRA, 2015, p.204).

Nesse tipo de seção os materiais devem ser integrados entre si de forma a minimizar deformações por variação do coeficiente térmico particular de cada material, entre núcleo, transições e enrocamento dos espaldares (PEREIRA, 2015).

#### b) Barragens de enrocamento com face de concreto (BEFC)

Nesse tipo de barragem são utilizados também materiais rochosos de granulometria variada com função de estabilizar o maciço. Mas a impermeabilização é exercida por face de concreto construída sobre o talude de montante, revestindo-o e impedindo a passagem da água do reservatório para jusante através do barramento.

A barragem de enrocamento com face de concreto é a escolha natural para os locais em que não existe solo apropriado para o núcleo. Vale ressaltar que, em muitos projetos, essa solução foi escolhida por apresentar menor custo, mesmo onde já existiam jazidas de solo para o núcleo (PEREIRA, 2015, p.206).

Pereira (2015) ainda afirma que em relação ao custo de projeto e execução, a barragem de enrocamento com face de concreto é mais barata do que a com núcleo de terra e filtros, uma vez que o valor global do segundo tem apresentado-se superior ao da laje de concreto, além de que o custo unitário do enrocamento é menor no tipo "face de concreto", devido a rapidez na liberação de frentes do maciço de enrocamento, com o uso facilitado de pistas

internas para os acessos. Além disso, por possibilitar taludes mais íngremes, a base da BEFC possui largura menor, o que conduz a tálveis, condutos de adução e vertedouros mais curtos, fator contribuinte para a redução dos custos finais.

As barragens de enrocamento com face de concreto são adequadas para locais onde há disponibilidade de rochas com propriedades adequadas, mas as fundações não permitem a execução de barragem de concreto devido suas propriedades geotécnicas. (BUREAU OF RECLAMATION, 1977).

A primeira barragem no Brasil construída com corpo de enrocamento e face de concreto foi a Barragem de Foz do Areia, no Rio Iguaçu (ABMS/ABGE/CBMR, 1973 apud SILVEIRA, 2006).

#### c) Barragem de enrocamento com face de concreto asfáltico

Por possuir menor custo, maior flexibilidade que permite recalques diferenciais mais expressivos sem produzir trincas e rapidez na execução, o concreto asfáltico é a segunda opção como revestimento da face da barragem de enrocamento (PEREIRA, 2015).

Nesse tipo de barragem, o concreto asfáltico substitui a face de concreto convencional na barragem de enrocamento.

#### d) Barragem de enrocamento com núcleo asfáltico

Para Pereira (2015), a utilização de concreto asfáltico como núcleo da barragem de enrocamento é crescente no mundo devido as mesmas razões do uso da face em concreto asfáltico. No Brasil, esse tipo de barragem é novidade. O primeiro exemplo existente no país é a barragem da UHE Foz do Chapecó da CPFL, no Rio Uruguai, concluída em 2004.

### 2.1.3.3. Barragens de concreto gravidade

Esse tipo de barragem tem como principal característica sua estrutura com peso suficiente para resistir às forças horizontais exercidas pela água que tendem a percolar de montante para jusante, deslizando a estrutura horizontalmente sobre a fundação. As forças verticais, representadas pelos esforços de subpressão, também são resistidas pelo peso próprio da estrutura (PEREIRA, 2015).

Para Cirilo (2003), opta-se por barragens de concreto quando o material do local de implantação possui alta resistência ou a estrutura apoia-se sobre rocha sólida.

Conforme Bureau of Reclamation (1977), os processos construtivos usuais para a execu<sup>ção</sup> das barragens de concreto s<sup>ão</sup>:

- V CCV - concreto convencional vibrado;
- V CCR - concreto compactado com rolo.

Sendo o segundo o mais moderno em termos de inova<sup>ção</sup> tecnológica.

#### a) Barragem de gravidade - concreto convencional (CCV)

Com o decorrer dos anos, as antigas barragens de gravidade de alvenaria deram lugar ao concreto convencional, a fim de aprimorar características de estabilidade e estanqueidade da estrutura, permitindo taludes de maior inclina<sup>ção</sup>.

O método convencional de construir barragens de concreto, se<sup>ja</sup> o tipo gravidade, baseia-se numa s<sup>érie</sup> de mon<sup>toes</sup> divididos por juntas de contra<sup>ção</sup>. Esse método tem a vantagem de prevenir trincas de temperatura, mas o equipamento necess<sup>ário</sup> para refrigera<sup>ção</sup> do concreto e as juntas de constru<sup>ção</sup> o tornam menos econômico que o método convencional de constru<sup>ção</sup> de barragens em aterro. Outra desvantagem é a limita<sup>ção</sup> do uso de equipamentos devido à pequena pra<sup>ça</sup> de trabalho (PEREIRA, 2015, p.220).

#### b) Barragem de gravidade - concreto compactado a rolo (CCR)

Conhecido como um método mais r<sup>ápido</sup> e econômico entre os tipos de barragens de concreto, o concreto compactado a rolo foi utilizado pela primeira vez como componente de engenharia de barragens em 1961, no núcleo da ensecadeira da Barragem Deshimen, em Formosa, Taiwan. No Brasil, o CCR foi usado pela primeira vez em 1976 na UHE Itaipu, na constru<sup>ção</sup> da laje do almoroxarifado, segundo Pereira (2015).

Ainda para Pereira (2015), a utiliza<sup>ção</sup> crescente das barragens de CCR ocorre pelos seguintes aspectos:

- V elevada taxa de concretagem (2m - 2,5m por semana);
- V permite utiliza<sup>ção</sup> de equipamentos convencionais, como caminhões, tratores, entre outros;
- V custo reduzido por permitir equipamentos mais simples;
- V menor impacto ambiental.

### c) Barragem de gravidade aliviada

A barragem de gravidade aliviada assemelha-se à barragem de gravidade, exceto pelo fato de que a primeira, por motivo de economia de concreto e consequente redução de custos, possui uma espessura de vazio em seu interior.

#### 2.1.3.4. Barragem de concreto em arco

Esse tipo de barragem possui planta curvilínea e resiste estruturalmente como uma abóbada ou casca. A resistência às tensões horizontais dá-se através das ombreiras do vale na qual a barragem apoia-se. Pelas características topográficas e geomórficas das bacias hidrográficas brasileiras, no país não é comum o uso de barragem de concreto em arco (PEREIRA, 2015).

#### 2.1.4. Estruturas Cíveis

Nas barragens para fins energéticos existe primeiramente a concepção do arranjo das estruturas cíveis que complementam a usina hidrelétrica, onde a posição de cada estrutura, conforme fatores hidrológicos, topográficos, geológicos, energéticos e financeiros, é analisada.

Uma vez que o estudo de caso abordado nesse trabalho apresenta-se como uma usina hidrelétrica, faz-se a necessidade de definir brevemente as estruturas que a complementam, além da barragem, utilizando como principal fonte de definição a bibliografia Pereira (2015).

Na Figura 7 o arranjo da Usina que será utilizada como estudo de caso neste trabalho é exposto para identificação de algumas das diferentes estruturas descritas a seguir.

Figura 7 - Arranjo UHE do estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### 2.1.4.1. Vertedouro

O vertedouro é uma estrutura projetada para extravasar o volume de água que excede a capacidade de armazenamento do reservatório, ou seja, que ultrapassa o nível máximo maximorum do mesmo. Sua função é impedir que haja um galgamento (7) (7) da barragem.

Em Pereira (2015), fica evidente que o tipo de vertedouro adotado depende do arranjo geral das estruturas, que por sua vez é definido conforme fatores geológicos e topográficos. De forma genérica, os vertedouros são compostos por cinco elementos construtivos: canal de entrada, estrutura de controle, calha de descarga, dissipador de energia, e canal de restituição do escoamento ao rio. Quanto à sua posição, o vertedouro pode apresentar-se da seguinte forma:

- V incorporados ao barramento principal;
- V laterais;
- V estruturas isoladas do barramento, localizadas nas ombreiras.

Pereira (2015) diz que o vertedouro pode ser ainda de superfície ou de fundo, sendo o primeiro livre ou controlado por comportas, permitindo o rebaixamento do nível do



reservatório até sua cota de coroamento (crista). No vertedouro de fundo controlado por comportas, o esvaziamento total ou parcial do reservatório torna-se possível.

Como elemento complementar ao vertedouro, é importante ressaltar a existência de mecanismos de dissipação de energia. A água, quando chega na base a jusante do vertedouro, possui energia potencial oriunda de sua queda. Por esse motivo, projeta-se um mecanismo que dissipa a energia da água para evitar danos à base do vertedouro e do barramento.

Os dissipadores são classificados em Pereira (2015) por dois conceitos:

- o vertedouro é a própria estrutura que realiza a dissipação da energia - `bacia de dissipação` - o tipo mais conhecido por esse conceito;
- a dissipação da energia efetua-se através de jatos no ar e no maciço rochoso a jusante - os mais conhecidos são os tipo `salto de esquí`.

#### 2.1.4.2. Circuito de adução e geração

##### a) Canal de adução

Em arranjos em que a casa de força é isolada do barramento poderá existir um canal de adução, que tem como objetivo conduzir a água do reservatório até a tomada d'água.

Por parâmetro de segurança, esse canal é dimensionado para a vazão máxima de projeto, considerando o reservatório em seu nível de água mínimo operacional. A borda-livre do canal deve ser dimensionada de forma semelhante à borda-livre da barragem: para o nível máximo do reservatório (PEREIRA, 2015).

##### b) Tomada d'água

A tomada d'água é um elemento de transição da água armazenada no reservatório, em escoamento livre, para um conduto forçado com limites de velocidade, a fim de minimizar a perda de carga. Possui grades de proteção em sua montante para impedir a entrada de rejeitos de maior volume, madeira ou animais mortos no conduto forçado, podendo provocar danos importantes.

Na concepção do projeto, Pereira (2015) atenta para a importância da geometria da estrutura, para que o volume escoado possa ser acomodado uniformemente, sem vórtices, e com aceleração e fluxo progressivos e graduais de forma a obter o maior rendimento possível da turbina em operação.

### c) Conduitos forçados

Tem como função conduzir o escoamento da tomada d'água às turbinas. Por apresentar custo elevado devido altas pressões, a redução de seu comprimento é considerada sempre que possível.

Ao longo do conduto forçado, Pereira (2015) afirma que o escoamento em pressão pode ser:

- a. permanente ou não permanente;
- b. uniforme ou não uniforme.

Escoamento permanente e uniforme é aquele cujas características não variam com o tempo. A vazão em qualquer seção permanece constante. Escoamento não permanente é aquele em que ocorrem mudanças de vazão e pressão. O escoamento pode ser ainda laminar ou turbulento (...) (PEREIRA, 2015, p.305).

### d) Túnel de adução

O túnel de adução é uma opção utilizada para substituir o canal de adução quando as condições topográficas e geológicas solicitarem seu uso. A principal intenção é reduzir o risco geológico e exige equipe multidisciplinar para seu dimensionamento, além de investigação criteriosa do solo no qual será implantado.

### e) Chaminé de equilíbrio

Dependendo do comprimento do túnel de fuga, por vezes faz-se necessária a introdução de chaminé de equilíbrio para amortecer o efeito conhecido como "golpe de aríete" no conduto, que por definição é a variação de pressão brusca provocada por manobras da própria turbina no escoamento. Funciona como uma espécie de chaminé para fuga da pressão excessiva.

#### f) Casa de força

A casa de força   a estrutura civil que tem por fun o proteger os equipamentos mecânicos e elétricos, em especial as turbinas geradoras, bem como servir de área de montagem, desmontagem e opera es da usina.

Segundo Pereira (2015), a casa de força pode ser projetada de duas formas:

- a. casa de força exterior - abrigada, semiabrigada ou desabrigada;
- b. casa de força subterrânea.

Com rela o ao barramento, essa estrutura pode integrar a estrutura da barragem, estar ao p  dela ou até mesmo ser afastada da mesma. Sua posi o   dependente do NA máximo normal do reservatório em rela o aos níveis de água notáveis de jusante e de submergência da turbina e do tubo de suc o, que determinam a cota de funda o da estrutura.

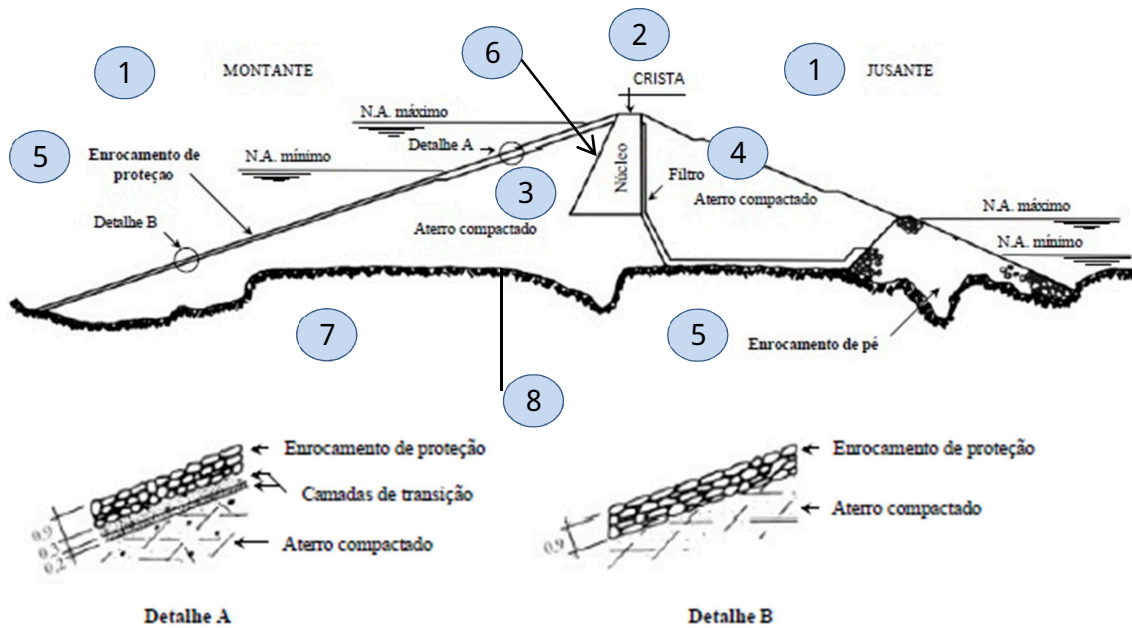
#### g) Canal de fuga (canal de restitui o)

O canal de fuga   a estrutura que recebe a água turbinada e a restitui de volta ao rio. Um tubo de suc o posicionado na saída da turbina faz a restitui o dessa água para o canal de fuga. A superfície do canal ou túnel de fuga   livre, apresentando-se algumas vezes em carga, quando a turbina necessitar de uma contrapressão para evitar o efeito de cavita o em suas p s (PEREIRA, 2015).

### 2.1.5. Principais Elementos da Barragem

A seguir, se o típica de barragem com perfil de terra (Figura 8) e face de prote o de enrocamento, com respectivos elementos que a compõe. A se o genérica demonstrada abaixo foi selecionada com o objetivo de exemplificar a se o de margem esquerda do barramento da Usina no estudo de caso que será apresentado neste trabalho.

Figura 8 - Seção típica de barragem de terra com enrocamento.



Fonte: CBGB (1982).

- 1 - taludes de proteção;
- 2 - crista da barragem com cota mais elevada do barramento;
- 3 - maciço de terra que constitui a estrutura do barramento;
- 4 - filtro (horizontal, vertical ou inclinado) para drenagem da água passando através do barramento de montante - jusante;
- 5 - proteção contra erosões constituída de enrocamento (rocha). Vegetação ou outros elementos podem ser utilizados para a proteção do talude;
- 6 - núcleo tem por função evitar a infiltração da água através do maciço;
- 7 - fundação;
- 8 - cortina de injeção para dificultar passagem da água - montante para jusante;
- 0 - trincheira drenantes e poços de alívio são utilizados a jusante para controlar fluxo de saída de água e reduzir subpressões.

## 2.2. SEGURANÇA DE BARRAGENS

### 2.2.1. Histórico de Rompimentos

O rompimento de barragens é um evento que reincide na história da humanidade. Ocorre por uma combinação de fatores e nunca somente por um motivo. Esses fatores vão desde catástrofes naturais a erros de dimensionamento, irregularidades de operação ou ausência de manutenção periódica.

No mundo, segundo a ICOLD (2016), o galgamento (7) (7) da barragem devido erros de projeto e dimensionamento do vertedouro ou obstruções do mesmo é o principal motivo dos acidentes em barragens registradas pela comissão. Falhas na fundação, nos materiais utilizados e instabilidades dos taludes também podem ser apontados.

Na história, acidentes com consequência de ruptura são recorrentes. Os mais conhecidos estão listados no Quadro 3.

Quadro 3 - Rompimentos de barragens na história

Nome da Barragem	Local	Data	Tipo de Barragem	Danos
Kelly Barnes	Georgia - EUA	1977	Terra	777 mil m <sup>3</sup> cúbicos de água provocaram dano ambiental - região e deixaram 39 mortos.
Edersee	Alemanha	1943	Concreto em arco	Rompeu após bombardeios britânicos - região. Deixou 100 mortos.
Buffalo Creek	West Virginia - EUA	1972		A barragem que continha resíduos de carvão desmoronou, liberando 500 mil m <sup>3</sup> de pasta de

Nome da Barragem	Local	Data	Tipo de Barragem	Danos
				carv <sup>2</sup> o na regi <sup>2</sup> o. Deixou 125 mortos.
Gleno	It <sup>2</sup> ia	1923	Concreto em arco	A barragem rompeu liberando 4,5 mil hbres de m <sup>3</sup> de <sup>2</sup> gua e destruindo completamente algumas cidades.
Mina Plakalnitsa	Bulg <sup>2</sup> ia	1966		Barragem para fins energ <sup>2</sup> ticos rompeu liberando 450 mil m <sup>3</sup> de <sup>2</sup> gua e lama. Deixou 107 mortos.
Lower Otay	EUA	1916	Concreto em arco	Forte per <sup>2</sup> odo de chuvas provocou o rompimento da barragem. Deixou 40 mortos.
Shakidor	Paquist <sup>2</sup> o	2005		Barragem para sistema de irriga <sup>2</sup> o. Devido excesso de chuvas, a barragem veio a romper arrastando vilas inteiras para o Mar da Ar <sup>2</sup> bia.
Rio Mill	Massachusetts - EUA	1874		Devido falhas de projeto a barragem rompeu,

Nome da Barragem	Local	Data	Tipo de Barragem	Danos
				liberando 600 milhões de litros de água, que destruíram quatro cidades próximas.
S <sup>o</sup> Francisco	EUA	1928		Devido instabilidades geológicas, a barragem veio a romper gerando ondas de cerca de 43 m de altura que deixaram 600 mortos.
P <sup>o</sup> ntano de Puentes	Espanha	1802		Devido intensas chuvas a barragem rompeu deixando 608 mortos.
Vajont	Itália	1963	Concreto em arco	Um terremoto atingiu a região e um deslizamento de terra de cerca de 260 milhões de m <sup>3</sup> desabou para dentro do reservatório, gerando ondas de 250 m de altura. Mais de 2000 pessoas morreram.
South Fork	Pensilvânia - EUA	1889	Terra	Devido intensas chuvas e descaso

Nome da Barragem	Local	Data	Tipo de Barragem	Danos
				na manuten <sup>ção</sup> , barragem rompeu após galgar deixando 2209 mortos.
Banjiao e Shimantan	China	1975	Terra	Após a passagem do Tufão Nina o volume de precipitação esperado para o ano choveu em 1 dia. O nível do reservatório subiu e as comportas não suportaram a pressão da água e romperam. 171 mil pessoas morreram.
Fundo	Minas Gerais - Brasil	2016	Terra	Uma série de problemas pós construtivos aliados ao descuido com a manutenção provocou a ruptura da barragem. 19 pessoas morreram.

Fonte: Alves (2015).



### 2.2.2. Lei 12.334

Por muitos anos a concepção de barragens abrangeu somente projeto e execução. Manutenções e inspeções regulares não eram temas debatidos. No entanto, com o aumento do índice de acidentes a cada ano e com o avanço tecnológico possibilitando a construção de barragens cada vez maiores com consequente elevação de risco para as populações a jusante, a segurança de barragens fez-se essencial. Ainda hoje, a frequência e seriedade de sistemas de operação, manutenção e inspeção continuam insuficientes, mas a percepção da necessidade de um cuidado pós-construção cresceu. Sobre a segurança de barragens:

§ uma preocupação permanente, tanto por sua importância econômica específica como pelo risco potencial que representa a possibilidade de ruptura ou outro acidente grave, em termos de vidas humanas, impacto ao meio ambiente, prejuízos materiais e os reflexos econômicos-financeiros (SERRGIO, 2008, p.01).

Devido a importância e seriedade dada à segurança de barragens, em 20 de setembro de 2010 criou-se a Lei Nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), além de alterar parte do artigo 35 da Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e do artigo 4 da Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000. A Lei 12.334 pode ser consultada ao fim deste trabalho no anexo I.

A Lei 12.334 (Planalto, 2010) aplica-se às barragens destinadas ao acúmulo de água, seja para fins energéticos, contenções hidráulicas ou fins de mineração. Pelo menos um dos requisitos a seguir são necessários para o enquadramento na Lei:

- Δ altura do maciço de sua cota de coroamento até sua fundação deve ser igual ou superior a 15 m;
- Δ capacidade do reservatório igual ou superior a 3 milhões de metros cúbicos;
- Δ reservatório com resíduos perigosos independente de sua capacidade;
- Δ classificação de Dano Potencial Associado (DPA) `Médio\_ ou `Alto\_.

Como objetivo da PNSB, a Lei ainda cita, entre outros, que padrões de segurança devem ser acompanhados, ações de segurança específicas para as diferentes etapas de projeto e execução de barragens devem ser realizadas, e o monitoramento e acompanhamento dessas ações devem ser desenvolvidos pelos proprietários das respectivas barragens. É importante

ressaltar que, legalmente, o responsável pela barragem e sua segurança é o empreendedor da mesma. Para fins de fiscalização, a entidade fiscalizadora será aquela que conceder o direito de uso da matéria em questão (recursos hídricos, minério, potencial hidráulico ou licença ambiental), sem gerar prejuízos para os órgãos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).

Dentro da PNSB são exigidos algumas diretrizes para a regularização da barragem:

- Δ classificação de Categoria por Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA);
- Δ Plano de Segurança de Barragem (PSB);
- Δ Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
- Δ Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);
- Δ Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- Δ Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- Δ Relatório de Segurança de Barragens.

Além das diretrizes mencionadas, poderá ainda ser solicitado o Plano de Ação Emergencial (PAE) caso a barragem seja identificada como DPA "Alto" e conforme sua classificação de CRI.

O SNISB tem por função registrar toda e qualquer informação das condições de segurança de todas as barragens localizadas em território nacional, sejam elas em construção, em operação ou desativadas. De acordo com a Lei 12.334 (Planalto, 2010), esses dados devem estar dispostos para consulta à toda sociedade brasileira.

Com relação às obrigações, o órgão fiscalizador deve submeter-se a, entre outros:

- Δ manter cadastro atualizado das barragens sob sua jurisdição;
- Δ exigir a notas de Responsabilidade Técnica (ART) dos responsáveis técnicos das respectivas barragens;
- Δ exigir o cumprimento das recomendações dos relatórios de inspeção e a realização da revisão regular de segurança;
- Δ exigir do empreendedor a atualização dos dados no SNISB.

A Lei 12.334 (Planalto, 2010) ainda prevê que qualquer irregularidade que coloque em risco imediato a segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens, devem ser informados prontamente à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Sistema Nacional de Defesa Civil (Sindec), pelo órgão fiscalizador.

### 2.2.2.1. Resoluções

As barragens podem ser agrupadas conforme sua finalidade:

- V fins energéticos;
- V exploração mineral;
- V recursos hídricos.

Para cada finalidade há um órgão responsável por sua fiscalização. Para barragens com fins energéticos, o órgão responsável é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para exploração mineral, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e para recursos hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA).

Cada órgão possui resoluções de segurança que aplicam a Lei 12.334 (Planalto, 2010) com mais restrições conforme suas necessidades. É válido lembrar que uma Resolução pode ser mais restritiva que a lei, e não ao contrário.

No estudo de caso que será abordado neste trabalho, a Resolução tratada será a Resolução 696 de 2015, da ANEEL, uma vez que o estudo de caso é caracterizado como uma UHE com seu barramento para fins energéticos. A Resolução 696 pode ser consultada ao final deste trabalho, no anexo II.

### 2.2.2.2. Plano de segurança de barragens (PSB)

O plano de segurança de barragens é obrigatório para todas as barragens brasileiras, para todas as finalidades, que se enquadrarem no artigo 1º da Lei 12.334 de 2010. É um relatório que deve abranger todos os aspectos referentes a segurança da barragem, identificando medidas seguras de operação, manutenção e inspeção. O mesmo deve identificar e quantificar as evidências tomadas em campo através das inspeções, classificando-as conforme seu potencial de dano à estrutura. O monitoramento rotineiro das instrumentações em campo também devem ser registrados e suas evoluções acompanhadas no relatório. Recomendações de recuperação de dano devem ser indicadas no relatório por engenheiros com atribuições técnicas para segurança de barragens.

Por fim, a barragem é classificada conforme dano potencial e risco, onde verifica-se a necessidade, ou não, da elaboração do PAE junto ao PSB.

Para a Resolução 696 (em barragens com fins energéticos), o PSB deve conter estudo de rompimento e de propagação de cheias caso a barragem seja classificada como `A` ou `B`, segundo Matriz de Classificação de Barragens estabelecida pela própria Resolução. Os prazos

para elaboração do PSB, conforme número de barragens por empreendedor, também podem ser verificados na Resolução. Outras diretrizes também podem ser consultadas no anexo II (ANEEL, 2015).

### 2.2.2.3. Plano de ação emergencial (PAE)

A Lei 12.334 determina que o PAE deverá ser providenciado para cada barragem, cujas consequências de ruptura sejam grandes, ou seja, quando o DPA for classificado como `Médio\_ ou `Alto\_.

Na Resolução 696, da ANEEL (2015), o DPA é estimado através de Matriz de Classificação de Barragens, que pode ser verificada no anexo II. A elaboração do PAE torna-se obrigatória para a Resolução, quando a barragem for classificada como `A\_ ou `B\_ de acordo com a Matriz de Classificação de barragens também disposta no anexo II. Além disso, a ANEEL estabelece que poderá julgar obrigatório, sempre que achar conveniente, a elaboração do PAE mesmo se a barragem estiver fora da classificação especificada (ANEEL, 2015).

Conforme o Ministério da Integração (2002), a função do PAE é descrever as ações a serem tomadas pelo proprietário da barragem e seu operador em caso de emergência. É fornecido um fluxograma de ações e responsáveis que devem ser contatados e as funções e responsabilidades são delegadas para os membros da equipe conforme a situação. As ações emergenciais definidas no PAE são imediatas e objetivam a tentativa de minimização do problema em caso emergencial. Por isso, são recomendadas reuniões para apresentação do Plano – equipe e treinamento dos envolvidos.

A identificação das situações emergenciais pode ser realizada no PAE observando a medida preventiva ou corretiva correspondente – no caso de emergências detectadas com antecipação suficiente. Por esse motivo, o PAE deve conter instruções diretas e claras das ações a serem tomadas e orientações para o responsável se e quando a situação deve ser declarada como emergencial, ativando as jurisdições competentes.

Além dessas determinações, o PAE deve ainda conter a localização e listagem dos equipamentos, materiais e mão-de-obra a serem estocados e utilizados em situação de emergência, a descrição dos acessos alternativos em caso de impedimento na rota principal, respostas em caso de falta de energia elétrica e em períodos de intempéries, localização e operação das fontes de energia de emergência, mapas de inundação e sistemas de advertência – população.

## Estudos de inunda o

Segundo o Ministério da Integra o (2002), o estudo de inunda o   obrigatório para todas as barragens que necessitem de PAE. Para as barragens que não se aplicam ao PAE o estudo de inunda o também pode ser elaborado. Esse estudo prevê, hipoteticamente as áreas que poderiam ser inundadas em caso de rompimento da barragem, com os resultados mais severos de uma combina o de eventos físicos. Diferentes simula es com cenários de ruptura de barragens são realizadas, com varia es nos tempos de ruptura e na dimensão da brecha. Ao determinar a área mais potencialmente inundável, erros na cheia de projeto e ruptura provocada por problemas   montante devem ser considerados. Mapas de inunda o também devem ser elaborados para as margens do reservatório e para as áreas afetadas por efeito de remanso   montante.   importante ressaltar o cuidado que se deve ter com considera es de cheias extremas que possam exceder a capacidade de descarga ou a redu o nessa capacidade de descarga durante a incidência de uma grande cheia que possa carregar entulhos, por exemplo, para as comportas.

### 2.2.3. Ausculta es

A ausculta o   uma associa o de procedimentos que monitoram, detectam e caracterizam anomalias encontradas nas estruturas que comprometem sua fun o e podem acarretar prejuízos irreparáveis financeiros, ambientais e humanos.   constituída de inspe es visuais e instrumenta es.

#### 2.2.3.1. Inspe es

Todas as barragens devem ser submetidas   inspe es periódicas para manter a boa funcionalidade de suas estruturas. Essas inspe es devem seguir diretrizes padronizadas para tipos de inspe o, propo ito, frequência, itens a serem inspecionados, documenta o necessária e qualifica o dos profissionais aptos. Podem ser classificadas, conforme o Ministério da Integra o (2002), em inspe es regulares, de emergência e periódicas.

## Inspetões regulares

- Δ Inspetões de rotina ou informais: são inspetões semanais ou mensais realizadas por equipe tecnicamente qualificada para segurança de barragens. Integram as atividades regulares de operação e manutenção. Não geram relatórios, somente alertas em caso de anomalias detectadas.
- Δ Inspetões formais: são inspetões de frequência semestral ou anual e devem ser realizadas por equipe técnica do proprietário, responsáveis pelo gerenciamento da segurança da barragem ou por seus representantes. Esse tipo de inspeção exige conhecimento aprofundado do projeto, dados registrados nas inspetões informais e seu histórico. Geram relatórios de inspeção com compilação e análise dos dados de rotina e suas intervenções, bem como recomendação de recuperação de dano.
- Δ Inspetões especiais: são realizadas por equipes multidisciplinar das áreas de hidráulica, hidrologia, geotecnia, geologia, estruturas, concreto, elétrica e mecânica. Se a própria empresa não possuir serviço de especialistas, o proprietário poderá contratar serviço de consultoria independente. As inspetões especiais devem ser realizadas de cinco a dez anos, variando com sua categoria de risco de ruptura.

O modelo de lista de inspeção regular sugerido pelo Ministério da Integração (2002) pode ser consultado no anexo III.

Para a Resolução 696, ANEEL (2015), o relatório de inspeção regular deve conter avaliações referentes às instrumentações instaladas na barragem, avaliações de anomalias que possam comprometer sua função, comparativo com relatórios de inspetões anteriores, recomendações de recuperação de danos e classificação do nível de segurança da barragem, conforme a seguir:

- a. normal: não há anomalias ou se houver, não comprometem a segurança da barragem. Devem ser controladas e monitoradas até a estabilização;
- b. atenção: as anomalias não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas exigem monitoramento ou reparo de danos;
- c. alerta: as anomalias apresentam risco à segurança da barragem e providências devem ser tomadas para manter as condições de segurança;
- d. emergência: as anomalias representam risco de ruptura iminente. Providências urgentes devem ser tomadas para a prevenção de danos humanos e materiais.

A Resolução também prevê a periodicidade com a qual devem ocorrer as inspeções regulares, conforme classificação da barragem. Para mais detalhes, consultar anexo II ao final deste trabalho.

#### Inspeções de emergência

As inspeções emergenciais devem ocorrer após evento singular de causas naturais ou quando as estruturas apresentarem deficiências severas, restabelecendo o nível de segurança da barragem ao anterior ao evento. A equipe local e engenheiro responsável pela segurança da barragem devem ser acionados para esse tipo de inspeção.

Para a ANEEL (2015), em barragens com fins energéticos, a Resolução 696 estabelece que a inspeção de emergência pode ser requisitada quando houver denúncia com relação ao risco de ruptura do barramento.

#### Revisão periódica de segurança

Para a Resolução 696 ainda há a Revisão Periódica de Segurança que possui objetivo de avaliar a segurança da barragem considerando-se os avanços tecnológicos e a atualização de informações no decorrer dos anos. A periodicidade da Revisão também varia conforme classificação da barragem de acordo com a Resolução, no anexo II.

#### 2.2.3.2. Instrumentação

A instrumentação é a implantação de equipamentos que medem dados da estrutura em questão e permitem a leitura dessas informações para registro e posterior acompanhamento da evolução de um parâmetro (pressão, deslocamento, inclinação, entre outros). Os equipamentos devem ser identificados, calibrados e localizados para o devido monitoramento. O sistema de interpretação de dados dos instrumentos geotécnicos, transdutores, podem ser mecânicos, resistivos, acústico, indutivos, hidráulicos ou pneumáticos. As leituras dos instrumentos podem variar de mecânica a eletrônicas (CRUZ, 1996).

Para Rosso e Piasentin (1996), a instrumentação de barragens pode ser caracterizada das seguintes formas:

- V a quantidade de instrumentos deve ser suficiente para avaliar todo o desempenho da estrutura, mas em menor número possível;

- V maior aten<sup>ção</sup> deve ser dada à instrumentação das fundações, uma vez que este é mais vulnerável às incertezas, desvios e deslocamentos inesperados;
- V a escolha dos instrumentos deve prezar por facilidade de leitura do mesmo, acesso para manutenção e leitura e com interferência reduzida às atividades de construção;
- V instalações pré-existentes devem ser aproveitadas para sua instalação;
- V simplicidade, confiabilidade, precisão, durabilidade, resistência, estabilidade, custos e disponibilidade em fábrica são fatores que devem ser considerados na escolha do instrumento.

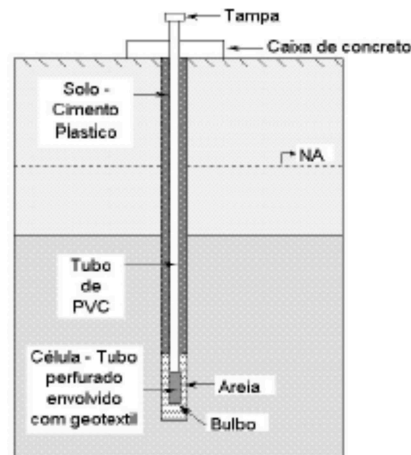
### Tipos de instrumentos utilizados na UHE do estudo de caso

A seguir, serão listados os tipos de instrumentos presentes em todas as estruturas da UHE do estudo de caso. Uma breve definição de cada tipo será realizada.

Piezômetro de tubo aberto, tipo Casagrande: é composto de um tubo de PVC rígido, no qual é acoplada uma célula que é isolada em um bulbo de material drenante, a fim de converter a pressão da água que entra no bulbo em altura de coluna d'água. A medição do instrumento é possibilitada através de um leitor denominado "pio" que emite um aviso sonoro ao encontrar com o nível de água dentro do tubo. Para locais com grandes pressões de água, a leitura deve ser realizada através de manômetros, devido à impossibilidade de leitura com "pio" pela grande coluna e pressão d'água no tubo. Dessa forma, pode-se realizar a leitura do NA dentro da estrutura instrumentada. Segundo Fonseca (2003), as vantagens da utilização desse instrumento são: a alta taxa de confiança, simplicidade operacional, custo reduzido e vida útil do equipamento. Portanto, não permite a leitura de pressões negativas e não é indicado para medições de poropressões em fases de construção. A seguir, Figura 9 apresenta esquema do instrumento.



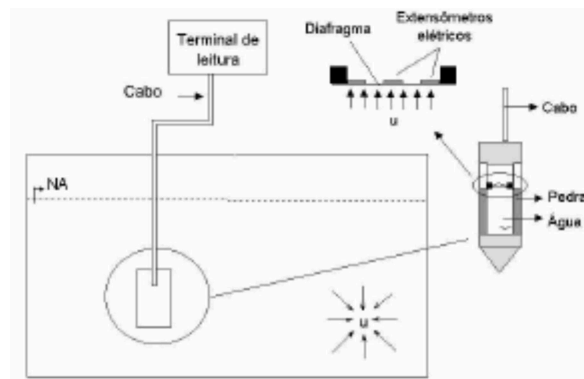
Figura 9 - Piezômetro de Tubo Aberto (Casagrande).



Fonte: Fonseca (2003).

- ζ Piezômetro elétrico: são constituídos por diafragma de aço inoxidável no qual são fixados extensômetros elétricos de resistência. A variação na resistência dos extensômetros provocada por deflexões do diafragma produz um sinal elétrico, cuja diferença é registrada por um medidor externo, obtendo-se as medições do instrumento. A impossibilidade de recuperação caso ocorra dano ao equipamento e o custo elevado são fatores negativos na escolha desse instrumento. A seguir, Figura 10 permite a visualização do equipamento.

Figura 10 - Piezômetro Elétrico.

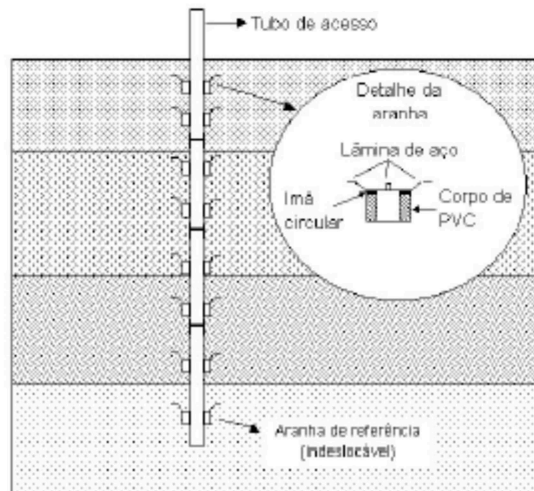


Fonte: Fonseca (2003).

- ζ Medidor magnético de recalque: um tubo vertical de PVC é instalado verticalmente e anéis magnéticos são inseridos ao longo do tubo. As leituras são obtidas através de uma sonda eletromagnética fixada a uma trena. O conjunto é inserido no interior do tubo e um alarme na superfície sonoriza quando a sonda passa pelo anel magnético, registrando o ponto em que encontra-se o anel no dia da auscultação. Anterior ao

início da medição, a sonda desce até um anel de referência para possibilitar a estimativa do recalque. A Figura 11 permite a visualização do equipamento.

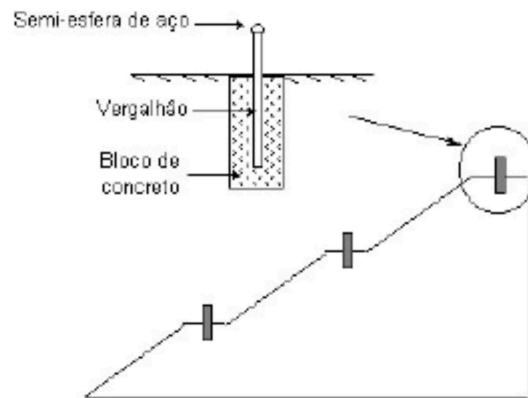
Figura 11 – Medidor Magnético de Recalque.



Fonte: Fonseca (2003).

- ζ Marco de deslocamento superficial: esse instrumento tem a função de medir os deslocamentos verticais e horizontais de maciços de terra, enrocamento e estruturas de concreto através da instalação de um vergalhão de aço chumbado no elemento que se deseja instrumentar. Para a leitura do deslocamento é necessária possibilidade de correlação topográfica com um marco de referência instalado fora da zona de influência da estrutura instrumentada. Para Fonseca (2003) o custo do instrumento é relativamente baixo quando trata-se de um número reduzido de marcos. Quando o número de marcos instalados é elevado, uma série de serviços topográficos para sua medição pode encarecer e inviabilizar sua utilização. A seguir, Figura 12 apresenta o esquema do instrumento.

Figura 12 - Marco de Deslocamento Superficial.



Fonte: Fonseca (2003).

- ζ Medidor de vaz<sup>2</sup>o: esse instrumento n<sup>2</sup>o tem unicamente como finalidade a medi<sup>2</sup>o da quantidade de  $\text{C}\grave{\text{e}}$ gua de percola<sup>2</sup>o atrav<sup>2</sup>o da barragem. Sua instala<sup>2</sup>o possibilita tamb<sup>2</sup>em uma an<sup>2</sup>lise qualitativa da  $\text{C}\grave{\text{e}}$ gua passante e a identifica<sup>2</sup>o do local comprometido. Por isso, permite a identifica<sup>2</sup>o de obstru<sup>2</sup>o de drenos, eros<sup>2</sup>es internas e poropress<sup>2</sup>es excessivas. O fluxo de  $\text{C}\grave{\text{e}}$ gua  $\bar{\text{c}}$  jusante  $\bar{\text{c}}$  concentrado em caixa ou galeria met<sup>2</sup>lica ou de concreto com sistema vertedouro de se<sup>2</sup>o triangular, trapezoidal ou calhas Parshall. Segundo CPRH (2000), a se<sup>2</sup>o de vertedouro triangular realiza medi<sup>2</sup>es mais precisas no caso de vaz<sup>2</sup>es mais reduzidas (at<sup>2</sup> 30,0 l/s). Na UHE do estudo de caso, a se<sup>2</sup>o adotada  $\bar{\text{c}}$  a triangular. Para medi<sup>2</sup>o de vaz<sup>2</sup>o, afere-se a altura da coluna d<sup>2</sup>  $\text{C}\grave{\text{e}}$ gua passante na se<sup>2</sup>o triangular com o aux<sup>2</sup>lio de r<sup>2</sup>gua fixada ao equipamento. A vaz<sup>2</sup>o, ent<sup>2</sup>o,  $\bar{\text{c}}$  estimada atrav<sup>2</sup>o da f<sup>2</sup>rmula de Thomson, a seguir:

$$q = 1,4 \times H^{5/2} \quad (\text{I})$$

- ζ Extens<sup>2</sup>metro de haste: placas de a<sup>2</sup>o quadradas s<sup>2</sup>o dispostas no terreno e fixadas a hastes met<sup>2</sup>licas que podem se movimentar com liberdade no interior de tubos de prote<sup>2</sup>o dispostos ao longo e no entorno dessas hastes. A movimenta<sup>2</sup>o das extremidades externas das hastes  $\bar{\text{c}}$  medida atrav<sup>2</sup>o de nivelamento topogr<sup>2</sup>fico. O extens<sup>2</sup>metro de hastes tamb<sup>2</sup>em s<sup>2</sup>o comumente utilizados para a medi<sup>2</sup>o de deslocamentos em maci<sup>2</sup>os rochosos. Para Fonseca (2003), esses instrumentos t<sup>2</sup>o apresentado excelentes resultados para obras geot<sup>2</sup>cnicas apesar da simplicidade na opera<sup>2</sup>o e do baixo custo.

## 2.2.4. Anomalias

As anomalias a seguir são descritas segundo o Ministério da Integração (2002) e suas respectivas recomendações advindas da mesma fonte bibliográfica. São possíveis de ocorrer em barragens, tornando-se comuns quando não há manutenção regular na estrutura. O desmazelo com tais eventos pode levar de pequenos danos à ruptura da barragem.

### 2.2.4.1. Talude de montante

**Sumidouro:** podem ser causados por piping (3) ou erosão interna do próprio maciço ou fundação da barragem, apresentando-se como uma erosão de caverna. Recomenda-se a inspeção de possíveis infiltrações, verificando se a água que sai do reservatório encontra-se com aspecto sujo (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Rachaduras grandes:** ocorre quando o maciço ou fundação se deslocam devido perda de resistência. Deve-se atentar para situação emergencial já que a anomalia pode representar o início de um deslizamento ou recalque pela ruptura da fundação. A recomendação é de rebaixamento do nível do reservatório dependendo da importância do maciço envolvido, para tomada de outras ações corretivas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Deslizamentos, afundamentos ou escorregamentos:** quando o talude é executado com inclinação além da recomendável ou a fundação movimenta-se podem ocorrer deslizamentos de terra ou pedras por instabilidade do maciço. Esses deslizamentos, se não forem controlados, podem obstruir a tomada d'água ou provocar a ruptura da barragem. Recomenda-se inicialmente avaliar a extensão dos deslizamentos, e monitorar o nível do reservatório se a estabilidade da barragem for comprometida até que outras ações corretivas sejam tomadas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Taludes íngremes e bancadas de escavação:** a própria variação de nível da água do reservatório ou ondas provocadas pela água armazenada podem provocar erosões a montante do barramento e consequente deslizamento do material, formando bancadas de escavação na barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Rip-rap (2) incompleto, destruído ou deslocado:** ocorre quando o rip-rap (2) degrada-se antes de alcançar sua vida útil pela qualidade do material, é deslocado pela correnteza ou torna-se incompleto por deslizamentos de pedras. A ausência de sua função deixa o talude desprotegido e possibilita a diminuição da largura do mesmo por ação das ondas. É

recomendável a recuperação da seção do talude comprometido e a substituição do rip-rap (2) (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Erosão por tráfego do rip-rap (2) mal graduado: quando há muitas pedras da mesma granulometria permitindo a passagem das ondas através das mesmas e assim, possibilitando a erosão dos materiais do próprio talude. Deve-se redimensionar a granulometria ideal das pedras para o rip-rap (2), restaurando a proteção do talude (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.2. Talude de jusante

Deslizamento (charco): Por infiltração de água através do maciço ou instabilidade da fundação pode ocorrer perda de resistência no talude gerando deslizamento do maciço através da crista ou talude de montante, reduzindo a borda livre. Deve-se atentar para situação de perigo uma vez que poderá ocorrer colapso estrutural da barragem ou transbordamento do reservatório. Recomenda-se mensurar a extensão do deslizamento, baixando o nível de água do reservatório se o mesmo permanecer em movimento, até que medidas corretivas específicas possam ser tomadas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Rachaduras transversais: podem ser provocadas por assentamento do diferencial entre o centro e as ombreiras do maciço. A situação deve ser classificada como de perigo, pois as rachaduras podem facilitar infiltrações da água do reservatório através do barramento, provocando ruptura. A recomendação é que seja realizada tentativa de tamponagem da rachadura no talude de montante para dificultar a passagem de água, até que medidas corretivas específicas possam ser tomadas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Desabamento: provocado por falta de compactação ideal, piping (3) através do maciço ou buracos internos ao maciço, podendo levar a erosão do mesmo. Inspeções nos buracos internos devem ser realizadas para consideração de reparos específicos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Rachaduras longitudinais: provocadas por ressecamento ou movimento de contração do material superficial do talude. Movimentos de acomodação do maciço a jusante também podem ser a causa. A anomalia pode ser interpretada como situação de perigo e futuro deslizamento. A água armazenada pode penetrar através das rachaduras no maciço, provocando rupturas e a perda de estabilidade do barramento causada por deslizamentos ou recalques podem revocar sua ruína. Como recomendação, o Ministério da Integração (2002) orienta que se as fissuras forem oriundas de ressecamentos o ideal é que cubra-se a região

com material compactado, mantendo a superfície seca. Já se as fissuras forem extensivas é recomendável inspeção minuciosa por profissional qualificado (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Afundamentos (condição localizada):** os afundamentos são antecedidos por erosões regressivas em uma parte do talude, especialmente quando esta apresenta-se com inclinação elevada. Essas erosões podem tornar as zonas impermeáveis, como o filtro da barragem, expostas, facilitando a ocorrência de mais afundamentos. É recomendável o monitoramento das rupturas progressivas e do surgimento de infiltrações (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Erosão:** ocorre devido ao carreamento das partículas superficiais devido à percolação da água da chuva. Deve-se atentar para a evolução das erosões devido à sua capacidade de deterioração do maciço e posterior ruptura da barragem. Plantio regular de grama de proteção no talude e a instalação de rip-rap (2) são recomendados (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Ervas, arbustos:** o crescimento de espécies naturais locais no talude podem criar caminhos de percolação da água no interior do barramento de montante a jusante devido às raízes. O Ministério da Integração (2002) afirma que a presença de arbustos pode abrigar animais roedores, além de dificultar a inspeção visual. As raízes das espécies vegetais maiores devem ser removidas, a fim de controlar o crescimento de vegetação no talude (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Buracos de animal:** quando há presença de roedores, tãneis e cavernas são comuns nos taludes. Algumas espécies vegetais são propícias para a habitação desses animais. Essa anomalia pode provocar o piping (3), tornando o caminho de percolação da água mais direto através da barragem e podendo provocar ruptura da mesma. O controle do surgimento de roedores é aconselhável, além da remoção desses animais do local e o fechamento dos buracos e tãneis criados por eles (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

**Área molhada em faixa horizontal:** a baixa qualidade no material utilizado na construção da barragem ou problemas de adequação do mesmo podem facilitar a infiltração da água através da barragem, desestabilizando as áreas molhadas abaixo dessa faixa horizontal de material. Além disso, o fluxo excessivo de água através desse material pode causar erosão acelerada levando à ruptura da barragem. A recomendação é que se determine a vazão de água que está infiltrando através da barragem, rebaixando o nível do reservatório se o valor for crescente até que o mesmo torne-se estável. O material responsável pela infiltração

deve ser identificado e a área envolvida deverá ser demarcada (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Vazamentos vindo das ombreiras: fissuras ou rachaduras localizadas nas ombreiras da barragem permitem a passagem de água do reservatório para a jusante do barramento, podendo provocar rápida erosão nas ombreiras, esvaziamento do reservatório e deslizamentos a jusante da barragem. O fluxo de água e tipo de material carreado deve ser inspecionado, além de medidas corretivas específicas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Tráfego de gados ou animais domésticos: o tráfego excessivo de animais sobre o maciço cria áreas com baixa proteção contra a erosão e permite que a água da chuva acumule-se sobre elas. Ao ressecarem pela evaporação da água por incidência solar, ocorrem rachaduras nessas regiões, facilitando infiltrações da água armazenada a montante. Por isso, recomenda-se que as áreas do entorno do barramento sejam cercadas e as erosões reparadas por rip-rap (2) ou grama (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.3. Crista

Rachadura longitudinal: essa anomalia pode ser causada por acomodações diferentes entre seções ou zonas adjacentes, falhas na fundação ou deslizamentos em estágios iniciais. Deve-se atentar para situação de perigo uma vez que o evento gera instabilidade no interior do maciço devido baixa resistência, podendo ser um aviso para deformação, movimento estrutural ou ruptura. As rachaduras na crista permitem a entrada da água da chuva percolada para o interior do maciço, possibilitando saturação do meio com chances de ruptura localizada. É recomendável o monitoramento da evolução da rachadura e suas características, além de fechamento da rachadura para impedir entrada de água da chuva por infiltração pela superfície (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Deslocamento vertical: o movimento vertical entre duas seções adjacentes ou a deformação causada por instabilidade da fundação podem gerar o deslocamento vertical. Essa anomalia gera situação de perigo, uma vez que cria área de instabilidade local e permite entrada da água superficial, podendo levar a ruptura, além de reduzir a seção transversal da barragem. A recomendação é que haja o monitoramento da evolução do deslocamento e suas características, se escave o local até que seja atingido o fundo do deslocamento, preenchendo a área escavada com material competente e técnicas adequadas. O monitoramento da região afetada deve prosseguir para controle de indícios de novos deslocamentos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Desabamento na crista: podem ser causados por tocas de animais roedores, piping (3) ou erosão interna devido infiltração ou furos no conduto da tomada d'água. Esses desabamentos podem causar instabilidade, deslizamento, redução da seção transversal ou áreas vulneráveis a entrada de água. É recomendável inspeção da anomalia bem como de suas características, determinando a causa. Os lados da área desabada devem ser escavados e preenchidos posteriormente com material competente e técnicas adequadas. O monitoramento da região afetada deve prosseguir para controle de indícios de novos desabamentos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Rachaduras transversais: podem ser causadas por movimentos diferentes das áreas adjacentes da estrutura ou deformações por instabilidade. As rachaduras transversais podem criar um caminho de infiltração através da seção da barragem, além de gerar baixa resistência local no interior do maciço permitindo possível ruptura. A evolução da anomalia deve ser monitorada e seus limites demarcados. É recomendável a identificação do foco do problema e escavar a crista ao longo da rachadura, preenchendo o local com material competente e técnicas adequadas. O monitoramento da região afetada deve prosseguir para controle de indícios de novas rachaduras (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Crista desalinhada: pode ser causada por movimentos diferentes entre partes adjacentes da estrutura ou deformação ou ruptura próximas à área do desalinhamento. Essa anomalia é normalmente acompanhada de depressões na crista que reduzem sua cota de segurança, e ainda pode produzir regiões de baixa resistência que podem levar a ruptura. A recomendação sugerida é de que marcos transversais sejam fixados para caracterização do desalinhamento, bem como seu monitoramento para possível evolução da anomalia (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Depressões na crista da barragem: o assentamento excessivo do maciço, ou a localização da fundação diretamente abaixo da depressão na crista podem provocar ou acentuar a anomalia. Erosões internas, pelo vento ou terraplenagem inadequada também podem colaborar para a ocorrência das depressões. As depressões na crista podem reduzir a cota de segurança do nível de água no vertedouro. É recomendável que sejam definidos marcos transversais sobre a crista para dimensionar e caracterizar a depressão em questão. A cota de coroamento da crista deve ser reestabelecida preenchendo as depressões com material competente e técnicas adequadas. Após a recuperação, novos marcos devem ser fixados para monitoramento de possibilidade de novas depressões (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).



Vegetação excessiva: o descaso e ausência de manutenção regular na barragem permite o crescimento de vegetação sobre os taludes, o que pode provocar erosões ou caminhos de infiltração de água através do barramento (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Buracos de animal: quando há presença de roedores, buracos, toneis e cavernas são comuns nos taludes. Algumas espécies vegetais são propícias para a habitação desses animais. O controle do surgimento de roedores é aconselhável, além da remoção desses animais do local e o fechamento dos buracos e toneis criados por eles (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Vóvoro na crista: ocorre quando o material possui graduação ruim ou a drenagem na crista é inadequada. O mau dimensionamento do canal de fuga também pode provocar transbordamento da barragem e, conseqüentemente, a anomalia (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Trilhas ao longo da crista: o tráfego de veículos pesados ou de veículos leves constantemente pode causar as trilhas sobre a crista, propiciando acúmulo de água da chuva e possíveis infiltrações. A manutenção regular é recomendada (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.4. Zonas a jusante da barragem

Zonas encharcadas a jusante da barragem: quando o fluxo de água de montante para jusante do barramento é alto através do próprio maciço ou da fundação, poderá ocorrer uma erosão rápida no sistema de fundação da estrutura e, possivelmente, uma ruptura da barragem. É recomendável a inspeção da zona, medindo o fluxo de água e o transporte de sólidos nessa água (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.5. Talude de jusante de concreto

Face de concreto rachada ou deteriorada: o intemperismo ou o deslocamento das juntas podem deteriorar o concreto. Uma vez que a face esteja danificada, o solo por trás da face possivelmente já sofreu erosão, podendo haver buracos ou cavernas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Rachaduras devido ao ressecamento: devido ao fato do solo perder naturalmente a umidade, há variações de volume por contração térmica nos taludes onde há maior incidência solar (crista e talude de jusante). Essas variações volumétricas causam rachaduras por

ressecamento do maciço que podem ser preenchidas por água da chuva causando movimentos em pequenas partes do maciço. O monitoramento dessas rachaduras deve ser realizado a fim que reparos específicos sejam tomados (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.6. Sangradouro

Vegetação excessiva ou detritos no canal: o acúmulo de sedimentos e árvores mortas, bem como o crescimento excessivo de espécies vegetais contribui para a redução da capacidade de descarga, inundações do canal de fuga ou transbordamento da barragem, podendo levar a ruptura da mesma. É recomendável que limpezas periódicas sejam realizadas, controle do crescimento de espécies vegetais e a instalação de rede de proteção na entrada do sangradouro (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Canais erodidos: o escoamento superficial das chuvas carrega materiais oriundos dos taludes para o interior do canal, o que aumenta a seção do canal resultando em depressões contínuas. O tráfego de animais também contribui com as erosões. Quando não combatidas, as erosões podem provocar desabamentos reduzindo a capacidade do canal, podendo resultar no rompimento da barragem. As áreas danificadas devem ser reparadas com material compactado e protegidas através de rip-rap (2) ou vegetação (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Erosão excessiva ou deslizamento de terra causando uma concentração do fluxo: quando episódios de erosão nas margens do canal, uma parte da seção do mesmo pode ficar obstruída, aumentando a vazão em pontos localizados por diminuição da área de seção em outro ponto, ou seja, ocorre um "afunilamento" da seção. Outro fator que colabora com esse "afunilamento" é a velocidade muito elevada na descarga, materiais laterais soltos ou taludes muito íngremes. Como consequência, o distúrbio no fluxo, perda de material, acúmulo de sedimentos a jusante ou ruptura do sangradouro podendo levar a severa erosão do mesmo e esvaziamento do reservatório, podem ocorrer. É recomendado que se diminua a velocidade de projeto de descarga, use-se material competente e suavize-se os taludes laterais. O crescimento de grama no solo superficial próximos as laterais deve ser providenciado e a proteção das laterais com sistema rip-rap (2), asfalto ou concreto é indicada (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Problemas embaixo do final da calha sangradouro: a configuração não ideal da bacia de dissipação, a utilização de materiais muito erosivos e a ausência de cortina de vedação no fim da calha, podem ser causas para essa anomalia. A situação deve ser classificada como de

perigo pois poder@ provocar dano estrutural no sangradouro, com alto custo de reparo. Recomenda-se a pes como: enxugar rea atingida, remoo de material erodido e preenchimento com material competente, instalao de rip-rap (2) e cortina de vedao (MINISTÉRIO DA INTEGRAO, 2002).

Parede deslocada: devido erros executivos na construo da estrutura ou pressão exercida pelo aterro contido pela parede ou pela gua, pode haver deslocamento na parede do sangradouro. Esses deslocamentos podem propiciar a formao de turbulência da gua que passa no canal, causando erosões no solo contido. Quando em grande escala, essa anomalia pode provocar rachaduras grotescas e possibilidade de ruptura da estrutura.  recomendável que a reconstruo do elemento deslocado seja refeita, além da utilizao de calhas drenantes para aliviar a pressão da gua nas paredes. É indicado também que as paredes sejam ancoradas para a preveno de futuros deslocamentos (MINISTÉRIO DA INTEGRAO, 2002).

Rachaduras grandes: devido erros executivos na construo da estrutura, esforço concentrado na mesma ou deteriorao do material. Podem ocorrer também quando há falhas na fundao ou pressão externa excessiva. Essas rachaduras de grande dimensão podem provocar turbulências na gua e conseqüente erosão na fundao ou no solo de aterro contido pela estrutura. A recomendao  para que sejam executados remendos com prévia limpeza da rea no entorno da rachadura. A instalao de calhas drenantes também são indicadas pois aliviam a pressão que a gua possa estar exercendo sobre a estrutura (MINISTÉRIO DA INTEGRAO, 2002).

Juntas abertas ou deslocadas: o recalque total ou diferencial da estrutura, bem como erros executivos ou deteriorao do selante podem provocar a abertura ou deslocamento das juntas. Como conseqüência, a pressão da gua através das juntas pode deslocar a laje ou parede e levar a ruptura da estrutura. Recomenda-se a vedao das juntas com material flexível posteriormente  sua limpeza e raspagem do selante antigo. A fundao deve ser drenada e preparada devidamente (MINISTÉRIO DA INTEGRAO, 2002).

Perda ou quebra do rip-rap (2): as causas da perda de funo do sistema rip-rap (2) pode ser a alta inclinao do talude, mgradao do material utilizado, ruptura do subleito, alta velocidade de escoamento carregando o material do sistema de proteo ou do subleito, ou erro executivo na construo do sistema. A ausência dessa proteo pode facilitar a erosão no fundo do canal ou no aterro ou até a ruptura do sangradouro. O dimensionamento de talude estável e a correta execuo do sistema de proteo são recomendaes de recuperao de danos (MINISTÉRIO DA INTEGRAO, 2002).

Deteriora o de material - desintegra o de rip-rap (2), concreto e outros: a utiliza o de materiais de baixa qualidade associada a padrão baixo de qualidade de execu o e manuten o insuficiente podem acelerar a deteriora o do material. Com a rápida degrada o dos materiais a estrutura como um todo terá sua vida útil diminuída e poderá ocorrer uma ruptura prematura. A recomenda o   que seja evitado o uso de arenito para o sistema de rip-rap (2). Para o concreto, a qualidade dos agregados   relevante, bem como o cobrimento do mesmo nas armaduras e sua cura (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Canaletas trincadas: a ausência ou erro executivo no sistema de drenagem ou falta de manuten o no sistema já existente pode propiciar o trincamento das canaletas. Ocorrendo o trincamento, a água que antes era drenada e conduzida pelas canaletas, infiltra no aterro podendo causar diminui o na resistência do solo ou aumento de pressão nas paredes do sangradouro. A constru o de valas de drenagem nas paredes do sangradouro ou a manuten o das que já estão construídas   recomendável (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Erosão, abrasão e fraturas no concreto: quando a velocidade do escoamento de água   muito alta, ocorre rolamento de pedras nos taludes do sangradouro ou h a presença de cavidades sob as lajes de concreto da estrutura, o solapamento da funda o pode ocorrer provocando a ruptura da estrutura. As pedras soltas sobre o talude devem ser removidas e a superfície de concreto deve estar plana e de boa qualidade construtiva para que essas anomalias possam ser minimizadas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Vazamento dentro e ao redor do sangradouro: a infiltra o para dentro do sangradouro ocorre pois h a permissão de entrada de água através de juntas ou rachaduras da estrutura, ou até mesmo através da camada de areia ou pedra do mesmo. Essa ocorrência pode permitir perda significativa de água armazenada, chegando a possibilidade de uma ruptura caso a velocidade desse vazamento seja alta causando erosão de materiais. Nesse caso, a análise do material que sai junto com a água através do vazamento   recomendada para estudo da origem do problema. O fluxo do vazamento deve ser medido e caso ocorra aumento considerável do mesmo recomenda-se o rebaixamento do nível do reservatório (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Infiltra o em uma junta construída ou rachaduras numa estrutura de concreto: a entrada de água através da estrutura devido insuficiência do sistema de drenagem pode ser caracterizada como a anomalia em questão. Pode propiciar a queda das paredes ou rápida deteriora o dos elementos. Para sangradouros dentro do maciço, uma rápida erosão pode

levar a ruptura da barragem. As áreas afetadas devem ser verificadas e o sistema de drenagem corrigido (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

#### 2.2.4.7. Entradas de água, saídas de água e drenos

Dano na tubulação da saída de água (rachadura): pode ser provocada por recalque diferencial ou ocorrência de impacto, podendo provocar infiltrações excessivas ou erosão interna. É recomendável verificar estado do vazamento na tubulação, identificar causa e reparar dano (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Dano na tubulação da saída de água (buraco): pode ser causada por ferrugem, erosão ou cavitação. Determina situação de perigo, uma vez que pode provocar infiltração excessiva e possibilidade de erosão interna. É recomendável verificar estado do vazamento na tubulação, identificar causa e reparar dano. Batidas leves na tubulação podem ajudar na identificação do local do buraco, avisando com som "oco" (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Dano na tubulação da saída de água (juntas desiguais): pode ser causada por recalques diferenciais ou erros executivos de construção. Determina situação de perigo, uma vez que permite a passagem de água para dentro e para fora da tubulação podendo provocar infiltração excessiva e possibilidade de erosão interna. É recomendável verificar estado do vazamento na tubulação, identificar causa e reparar dano (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Aumento de fluxo ou sedimento na saída do dreno: pode evidenciar pequena infiltração ao longo da tubulação ou aumento do nível de água armazenado. Determina situação de perigo, uma vez que pode provocar erosão no dreno e no maciço devido aumento na velocidade do fluxo de água, além de ruptura devido piping (3). É recomendável verificar estado do vazamento na tubulação, turbidez da água, identificar causa e reparar dano (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Dispositivos de controle danificados:

Segundo o Ministério da Integração (2002):

- V o bloco de suporte quebrado pode ser devido a deterioração do concreto ou esforço excessivo para abertura da comporta. Por estar danificado, o mesmo poderá impedir e causar o emperramento da haste de controle. Conseqüentemente, a comporta não abrirá totalmente tornando a saída de água inoperante.

V a haste de controle danificada pode ser devido ferrugem, esforço excessivo ou inadequa<sup>2</sup>o dos guias das hastes. O dano da haste tornar<sup>2</sup>a a sa<sup>2</sup>da de <sup>2</sup>gua inoperente.

V as guias das hastes danificadas podem ser devido ferrugem, lubrifica<sup>2</sup>o inadequada ou esforço excessivo no manuseio da v<sup>2</sup>lvula. Seu dano pode ausentar o suporte da haste de controle, fazendo a mesma quebrar ou entortar mesmo em eu uso normal.

Ruptura da estrutura de concreto da sa<sup>2</sup>da d<sup>2</sup>gua: as press<sup>2</sup>es laterais excessivas, aus<sup>2</sup>ncia de refor<sup>2</sup>o na estrutura ou baixa qualidade de concreto podem causar ruptura da estrutura. Determina situa<sup>2</sup>o de perigo, uma vez que a perda da estrutura de sa<sup>2</sup>da d<sup>2</sup>gua exp<sup>2</sup>o o maci<sup>2</sup>o <sup>2</sup>eros<sup>2</sup>o nessa sa<sup>2</sup>da. Recomenda-se verificar possibilidade de ruptura progressiva, monitorando a anomalia e reparar rachaduras e sistema de drenagem pr<sup>2</sup>ximo. A substitui<sup>2</sup>o dessa estrutura de sa<sup>2</sup>da d<sup>2</sup>gua pode ser necess<sup>2</sup>ria (MINIST<sup>2</sup>RIO DA INTEGRA<sup>2</sup>ú O, 2002).

Sa<sup>2</sup>da d<sup>2</sup>gua liberada erodindo o p<sup>2</sup> da barragem: quando a tubula<sup>2</sup>o de sa<sup>2</sup>da d<sup>2</sup>gua <sup>2</sup> muito pequena ou ocorre aus<sup>2</sup>ncia de bacia de dissipa<sup>2</sup>o na sa<sup>2</sup>da do conduto, pode ocorrer eros<sup>2</sup>o ao p<sup>2</sup> da barragem. Determina situa<sup>2</sup>o de perigo, uma vez que a eros<sup>2</sup>o ao p<sup>2</sup> do talude de jusante pode causar um charco progressivo. Recomenda-se que se estenda a tubula<sup>2</sup>o al<sup>2</sup>m do p<sup>2</sup>, protegendo o moci<sup>2</sup>o com rip-rap (2) sobre camada bem compactada (MINIST<sup>2</sup>RIO DA INTEGRA<sup>2</sup>ú O, 2002).

#### 2.2.4.8. Vazamento na v<sup>2</sup>lvula

Detritos presos embaixo da comporta: pode ocorrer quando a grade de prote<sup>2</sup>o est<sup>2</sup> danificada. Quando h<sup>2</sup>a presen<sup>2</sup>a de detritos, a comporta n<sup>2</sup>o opera seu fechamento completo e a v<sup>2</sup>lvula ou haste poder<sup>2</sup> danificar devido esfor<sup>2</sup>o de fechar a comporta. Para tal evento, recomenda-se aumentar e abaixar a comporta lentamente at<sup>2</sup> que os detritos soltem-se. Ao rebaixar o n<sup>2</sup>vel do reservat<sup>2</sup>rio, reparar ou substituir a grade de prote<sup>2</sup>o (MINIST<sup>2</sup>RIO DA INTEGRA<sup>2</sup>ú O, 2002).

Comporta rachada: podem ser causados por ferrugem, vibra<sup>2</sup>o ou tens<sup>2</sup>o excessiva em casos de fechamento for<sup>2</sup>ado da comporta. Pode haver o rompimento da comporta principal causando esvaziamento do reservat<sup>2</sup>rio. <sup>2</sup> recomend<sup>2</sup>vel o uso das v<sup>2</sup>lvulas em posi<sup>2</sup>es totalmente fechada ou aberta at<sup>2</sup> que o reparo total seja feito. Minimizar o uso das v<sup>2</sup>lvulas at<sup>2</sup> que o reparo total seja feito (MINIST<sup>2</sup>RIO DA INTEGRA<sup>2</sup>ú O, 2002).

Danos no apoio ou guias da comporta: podem ser causados por ferrugem, erosão, cavitação, vibração ou desgaste. Propiciam vazamento ou perda de suporte da comporta, tornando-a inoperante. É recomendável minimizar o uso das válvulas até que o reparo total seja feito. No caso de cavitação, verificar desobstrução do tubo de ventilação (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).

Água de infiltração saindo por um ponto adjacente à saída de água: pode ocorrer caso haja uma tubulação da tomada d'água quebrada ou houve a formação de caminho de percolação ao longo da tubulação de saída. Determina situação de perigo, uma vez que pode provocar erosão no maciço da barragem devido aumento na velocidade do fluxo de água, além de ruptura da mesma. É recomendável verificar estado do vazamento na tubulação, turbidez da água, identificar causa e reparar dano. Se houver aumento do fluxo de água infiltrada, deve-se prever rebaixamento do nível do reservatório (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).





### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1. DEFINIÇÕES

Conforme definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as unidades de geração energética podem ser classificadas de acordo com seu potencial hidráulico gerado, conforme descrito a seguir.

- V CGH - Central Geradora Hidrelétrica: unidade geradora de energia com potencial hidráulico igual ou inferior ou igual a 5 MW (cinco megawatts) de potência;
- V PCH - Pequena Central Hidrelétrica: enquadra-se como Usina de pequeno porte, cuja capacidade de potência gerada seja superior a 5 MW (cinco megawatts) e inferior ou igual a 30 MW (trinta megawatts). Para essa definição, a área do reservatório deve ser inferior ou igual a 3 km<sup>2</sup> (300 ha);
- V UHE - Usina Hidrelétrica de Energia: é toda Usina hidrelétrica cuja capacidade de potência gerada seja superior a 30 MW (trinta megawatts) e que possua reservatório com área superior a 3 km<sup>2</sup> (300 ha).

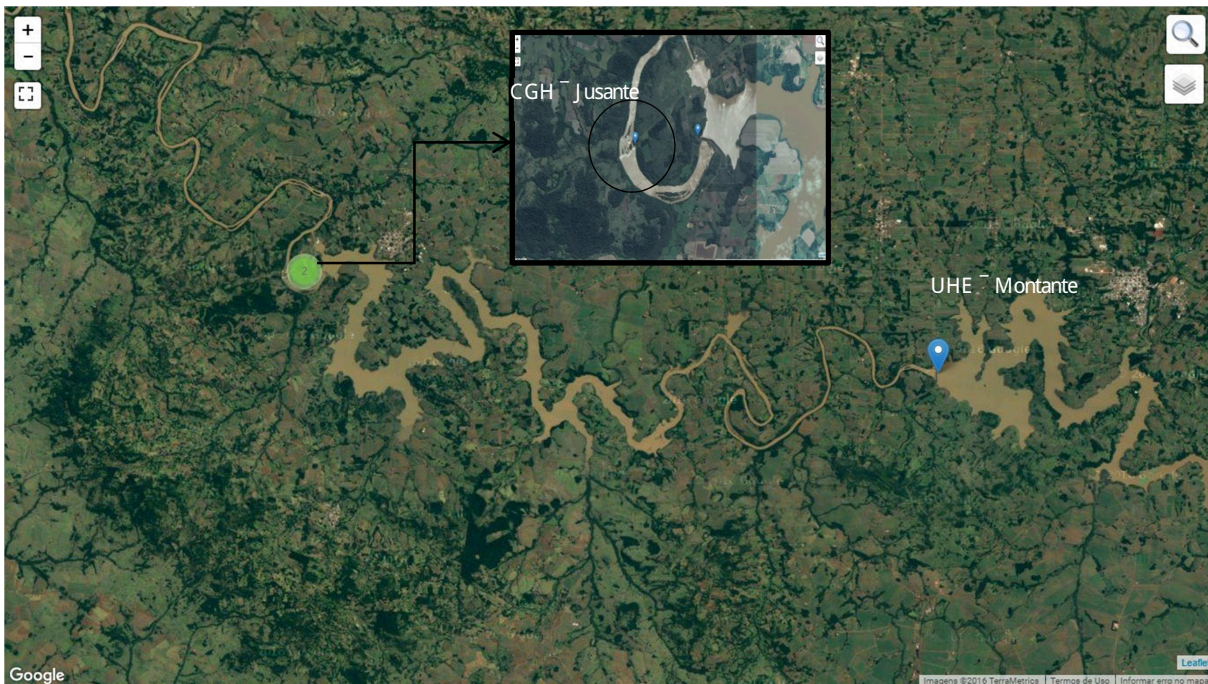
#### 3.2. SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO

##### 3.2.1. Identificação e Acessos

Neste trabalho, utilizou-se como estudo de caso, unidade geradora classificada como UHE. Para utilização dos dados desta Usina como estudo de caso neste trabalho, a empresa empreendedora solicitou a identificação da Usina em questão. Por esse motivo, a mesma será tratada como `estudo de caso\_ ou `UHE\_ no decorrer do desenvolvimento deste capítulo.

A UHE situa-se no Rio Ijuó, ao sul do Brasil. É sua montante opera UHE com potência geradora de 51MW (cinquenta e um megawatts) e sua jusante, CGH com potência geradora de 0,75MW (megawatts). A seguir, Figura 13 ilustra a implantação da Usina.

Figura 13 - Localização UHE de Estudo de Caso.



Fonte: CBDB (2014).

### 3.2.2. Características técnicas do empreendimento

As características técnicas da Usina aplicada como estudo de caso encontram-se resumidas no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Especificações Técnicas do Estudo de Caso (UHE).

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Potência Gerada	77MW
Enchimento Reservatório	Agosto de 2011
BARRAGEM	
Tipo	Margem Esquerda: Terra
	Margem Direita: CCR
Altura	21,00m

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Comprimento	Margem Esquerda: 522,00m
	Margem Direita: 54,00m
Cota de Coroamento	EL. 131,50m
VERTEDOIRO	
Tipo	Comportas
Comprimento	105,00m
Dimensões	6,00m x 13,00m x 19,20m
NA máximo maximum (TR=10.000 anos)	Montante: EL. 345,00m
	Jusante: EL. 320,47m
Vazão de Projeto	11.570,00 m <sup>3</sup> /s
DIQUES DA CASA DE FORÇA	
Dique Direita	Altura: 17,50m
	Extensão: 170,00m
Dique Esquerda	Altura: 12,50m
	Extensão: 250,00m
CASA DE FORÇA	
Dimensões	43,70m(L) x 31,10m(C) x 36,50m(A)
Turbinas	Tipo Kaplan
	2 unidades
	Eixo Vertical
	Cota do Eixo: EL. 94,81m

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
RESERVATÓRIO	
NA máximo normal	128,35m
NA máximo maximum	128,35m
Capacidade Total	102,40 x 106 m <sup>3</sup>
Área	2.060ha

Fonte: Empreendedor (2015).

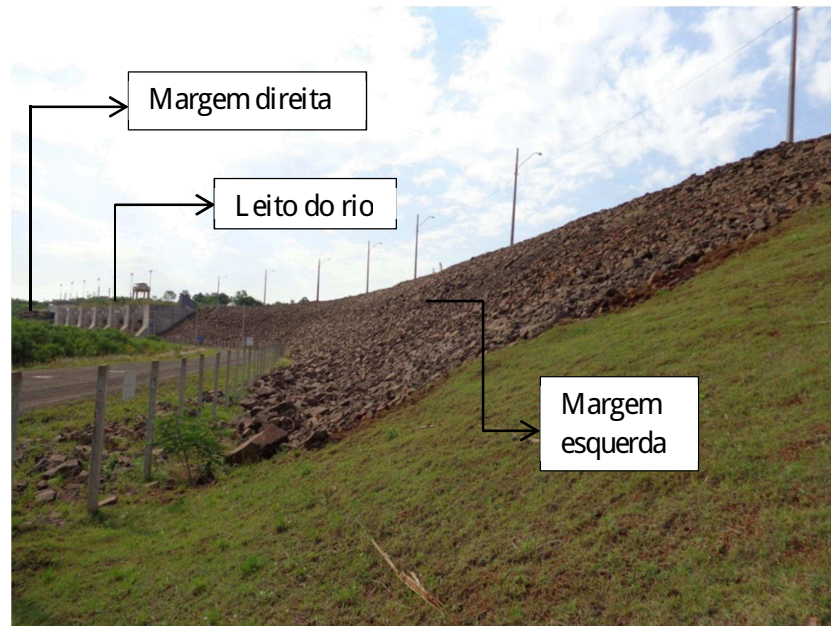
### 3.2.3. Descrição das Estruturas Civas

#### 3.2.3.1. Barragem

O barramento da Usina é apresentado em dois trechos: a margem direita com 54 m de comprimento constitui-se de concreto, enquanto a margem esquerda com 522 mestros, de terra homogênea e terra com face de enrocamento no trecho mais próximo ao vertedouro.

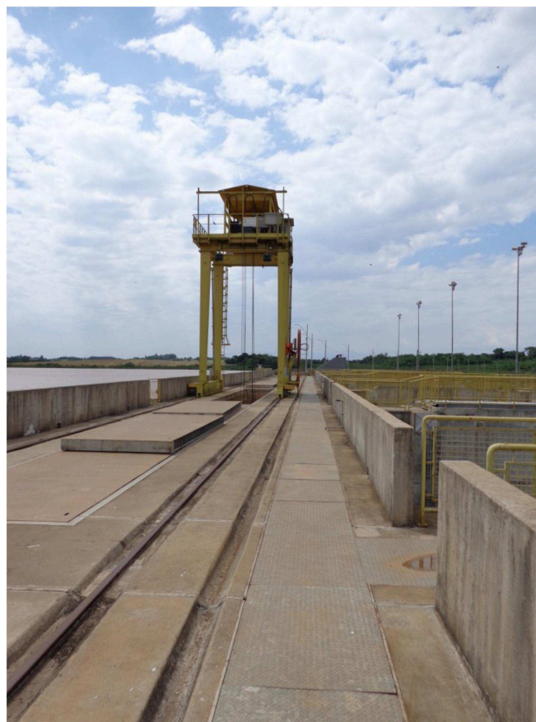
A altura da barragem chega, no máximo, a 21 m, onde sua cota de coroamento encontra-se na cota de elevação 131,50 m, formando uma borda livre de 3,15 m em relação ao NA que corresponde à cheia de projeto. A seguir, Figura 14 da margem direita e esquerda do barramento, registrada jusante do barramento e Figura 15 que aponta a crista do barramento, sobre a qual há uma estrada de acesso restrito à equipe técnica da Usina.

Figura 14 - Margem direita e esquerda da barragem da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Figura 15 - Crista da barragem da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).



### 3.2.3.2. Vertedouro

O vertedouro é do tipo com comportas e está situado no leito do rio. Ao todo são seis comportas metálicas de 13,00 m de largura e 19,20 m de altura. Juntas, possuem capacidade de escoamento de 11.570,00 m<sup>3</sup>/s. Ver Figura 16, com comporta metálica do vertedouro.

Figura 16 - Vista a montante - sistema de comportas afogada do vertedouro da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Essa estrutura possui comprimento total de 102,50 m, largura de 37,49 m e altura de 29,00 m. Sua soleira encontra-se na cota de elevação de 110,00 m. Abaixo, Figura 17 com vista da montante do vertedouro. Na Figura 17 é possível verificar a presença de elemento de aproximação do vertedouro para melhorar capacidade de descarga da primeira comporta. Na Figura 18, muro de aproximação em maior escala.

Figura 17 - Montante do vertedouro, com muro de aproximação ao fundo - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Figura 18 - Muro de aproximação do vertedouro da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

A jusante do vertedouro há uma estrada para trânsito entre as duas cidades das quais o rio é divisor. O acesso é liberado para o público como acordo para construção do eixo do barramento no local. Por esse motivo, as estruturas de vertedouro e barramento possuem cercas de proteção e indicação de área privativa, conforme Figura 19.



Figura 19 – Estrada de trânsito de veículos com grade de prote o para o vertedouro - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Ainda a jusante do vertedouro, há uma bacia de dissipa o com dimensões de 32,96 m de comprimento por 95,50 m de largura. Sua fun o   dissipar a energia da água vertida para evitar danos   base do barramento. Na Figura 20 está sinalizada a bacia de dissipa o. Na Figura 21 o canal de restitui o do vertedouro   identificado.

Figura 20 – Jusante do vertedouro, com destaque para a bacia de dissipa o - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).



Figura 21 - Canal de restituição da água vertida - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

### 3.2.3.3. Canal de adução e tomada d'água

Situado na margem direita do rio o canal de adução possui comprimento de, aproximadamente, 700 m. Tanto sua margem esquerda, quanto a direita são de terra homogênea com alguns trechos de terra com face de enrocamento. Sobre elas é possível a passagem de veículos de acesso restrito da equipe técnica da Usina. A Figura 22 ilustra a estrutura de tomada d'água e o fim do canal de adução. Na Figura 23, a crista do dique da tomada d'água pode ser visualizada.

Figura 22 - Tomada d'água e canal de adução da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Figura 23 - Crista da tomada d'água com partição para içamento das comportas de manutenção - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### 3.2.3.4. Casa de força e canal de fuga

A casa de força nesta Usina (Figura 24) é abrigada e acomoda duas unidades geradoras do tipo Kaplan de eixo vertical - baixa queda. A edificação que compõe a casa de força

possui 43,70 m de largura, 31,10 m de comprimento e 36,50 m de altura. Sua cota de proteção está na elevação 114,00 m e a cota para cheia máxima prevista na elevação 113,16 m.

Figura 24 - Vista externa da casa de forçás - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

O canal de fuga (Figura 25) possui largura de 150,00 m. Seu nível de água para operação normal encontra-se na elevação 99,30 m.

Figura 25 - Canal de fuga da UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).





## 4. MÉTODOS DE TRABALHO

O método deste trabalho consiste em duas etapas:

- V análise de dados visuais de campo através das inspees realizadas nos dias 14 e 15 de outubro de 2015 na UHE do estudo de caso descrito no capítulo 3;
- V análise dos dados do monitoramento das instrumentaes, realizado por equipe técnica da mesma Usina, dos três primeiros meses após a data de instalao dos equipamentos e do ano da inspeo abordada neste trabalho (ano de 2015).

Ao fim, os resultados serão expressos como situao e nível de periculosidade de cada estrutura civil da Usina através do check-list (lista de inspeo) do Ministério da Integrao (2002); e classificao de Dano Potencial Associado (DPA) e Categoria de Risco (CRI) da barragem da Usina através da Resoluo 696 (ANEEL, 2015), para barragens com fins energéticos. Métodos usuais sugeridos pelo CBDB serão complementados aos resultados já obtidos.

Para as classificaes mencionadas acima, se fez necessária a análise de dados de inspeo e monitoramento de todas estruturas civis da Usina e não somente da estrutura de barramento, a fim de proporcionar uma visão global sobre a real situao da UHE, com ou sem a interferência da barragem.

### 4.1. INSPEO TÉCNICA FORMAL

A análise da UHE se dará por meio de inspeo formal realizada em 14 e 15 de outubro de 2015 por empresa contratada pelo empreendedor para realizao das inspees regulares na Usina. Os registros fotográficos são de mesma data e tem por objetivo ilustrar problemas encontrados na inspeo visual da barragem e das outras estruturas pertencentes a Usina. O estudo ocorrerá de acordo com cada estrutura, onde serão apontados os problemas recorrentes, ilustrao através de foto e recomendao de recuperao de dano, quando necessário, conforme orientaes do Ministério da Integrao (2002) e informaes de campo descritas no Empreendedor (2015). Na Tabela 1 são apresentadas as condies da Usina nos dias da inspeo técnica.

Tabela 1 - Condições de operação da Usina nos dias da inspeção

14 de outubro de 2015		15 de outubro de 2015	
Condição climática	Sol	Condição climática	Sol
NA montante	127,94m	NA montante	127,95m
NA tomada d'água	127,68m	NA tomada d'água	127,65m
NA jusante	100,32m	NA jusante	99,42
Potência gerada (Unidade 1)	38,5MW (Pot. Máx.)	Potência gerada (Unidade 1)	37,0MW
Potência gerada (Unidade 2)	38,5MW (Pot. Máx.)	Potência gerada (Unidade 2)	38,7MW
Vertimento	461m <sup>3</sup> 儻	Vertimento	46,2 m <sup>3</sup> 儻

Fonte: Inspeção Civil (2015)

Para o mês de outubro de 2015, a FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental do estado do Rio Grande do Sul, estabelece vazão mínima sanitária de 46,2 m<sup>3</sup> 儻. Neste contexto, os vertimentos medidos nos dias de inspeção atendem o estabelecido pelo Artigo ambiental, uma vez que a vazão é controlada mecanicamente pela abertura das comportas. Ou seja, no dia 14 de outubro de 2015, as comportas foram controladas para verter grande quantidade de água (461 m<sup>3</sup> 儻), enquanto que no dia 15 de outubro de 2015 o vertimento era mínimo (somente a vazão sanitária era escoada).

As estruturas inspecionadas serão listadas, a seguir, por ordem temporal de inspeção.

#### 4.1.1. Área circunvizinha

A área circunvizinha abrange acessos - Usina, edifícios de controle e de serviços e proximidades.

#### 4.1.2. Acessos

Na inspeção observou-se correta sinalização e limitação das áreas restritas ao trânsito de pedestres e veículos, através de placas e cercas. A estrada de acesso - margem esquerda do rio do barramento apresenta alguns pontos danificados com consequente acúmulo de água da

chuva em seu pavimento. A Figura 26 confirma as observações realizadas, com os aspectos positivos sinalizados na cor preta e as observações de danos em vermelho.

Figura 26 - Acesso - margem esquerda da barragem de terra - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

O acesso em frente aos edifícios operacionais e a casa de força não possui proteção na lateral do canal de fuga. A Figura 27 confirma as observações realizadas, com as observações de danos em vermelho.

Figura 27 - Canal de fuga sem prote o lateral - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recupera o do dano

Para o acesso adjacente   margem esquerda do barramento,   viável a recupera o das áreas danificadas do pavimento a fim de evitar incidentes com veículos que por ali transitam.

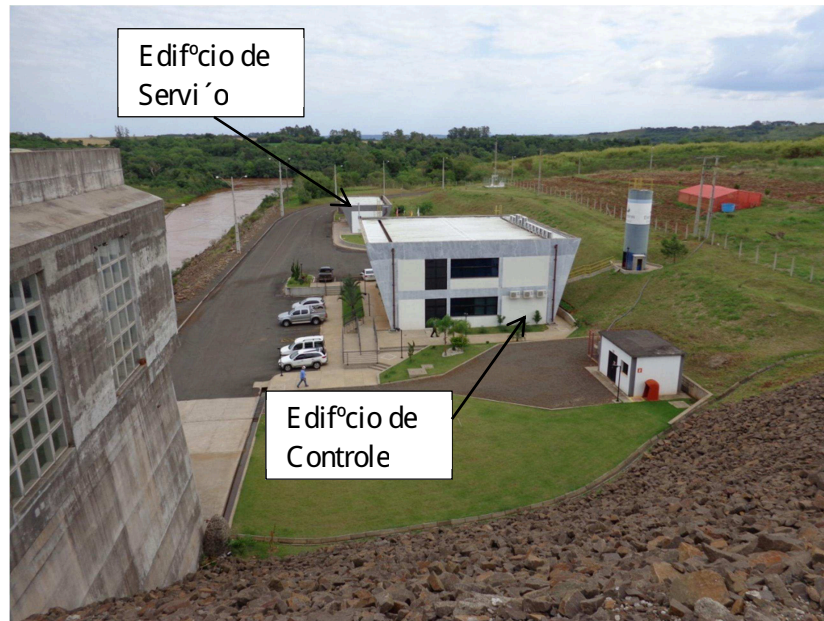
Já para o canal de fuga, a instala o de guarda-corpos em sua lateral, com devida sinaliza o de limite intransponível   recomendada para o local a fim de evitar acidentes futuros j que a área   de trânsito de veículos e pedestres.

#### 4.1.2.1. Edifícios de controle e serviços

O exterior e entorno dos edifícios apresentam-se em boas condi es de conserva o. Não foram observadas manifesta es patológicas externamente e seus acabamentos encontram-se, esteticamente, em bom estado. No interior do edifício de controle foram identificados pontos de infiltra o no teto, através do forro de isopor. A causa e origem da infiltra o devem ser identificadas para repara o e estanqueidade da estrutura. A Figura 28 mostra identifica os edifícios.



Figura 28 - Vista do edifício de serviços (ao fundo) e edifício de controle (à frente) - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### 4.1.3. Reservatório

O reservatório apresentou-se em boas condições de conservação na data da inspeção, bem como as boias sinalizadoras para alerta de pequenas embarcações no rio caso haja proximidade às estruturas da Usina.

No canal de adução, o sistema de log boom (1) encontra-se acima do nível de água do canal devido modificação da seção do fundo do rio por assoreamento, possibilitando o rompimento do sistema. Esse evento é destacado na Figura 29, com as observações de dano em vermelho.

Figura 29 - Canal de adução com log boom (1) elevado (trecho da esquerda) - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recuperação de dano

§ vi) a determinação da nova seção do rio através de batimetria, para que a altura do log boom (1) seja adaptada a profundidade desta seção. Dessa forma, evita-se o rompimento do equipamento.

#### 4.1.4. Subestação

A subestação, localizada a jusante da casa de força, foi identificada como em bom estado de conservação.

#### 4.1.5. Barragem

##### 4.1.5.1. Margem esquerda

Observou-se o crescimento de algumas espécies arbustivas sobre talude de jusante do trecho da barragem de terra. Essas espécies podem causar danos ao corpo do barramento, devido crescimento de suas raízes no interior do talude pela procura de água, através de

caminhos de infiltração da água de montante para jusante, além de processos erosivos. Esse evento é destacado na Figura 30, com a observação de dano em vermelho.

Figura 30 - Talude de jusante da margem esquerda da barragem de terra - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recuperação de dano

É recomendável a remoção das espécies em crescimento até sua raiz, a fim de evitar problemas futuros de erosões ou infiltrações.

#### 4.1.5.2. Margem direita

Os danos encontrados na margem direita serão tratados no item 4.1.6.

#### 4.1.6. Vertedouro

Foi observado bom funcionamento da estrutura e seus elementos, além de condições de operação e manutenção regulares no período de inspeção.

No canal de restituição, à jusante do vertedouro, foram identificados processos de erosão em suas margens direita e esquerda. Os locais erodidos estão ilustrados na Figura 31 e



Figura 32 para margem direita e esquerda, respectivamente, com a observação de dano em vermelho.

Figura 31 - Canal de restituição com margem direita erodida - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Figura 32 - Canal de restituição com margem esquerda erodida - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Na galeria do vertedouro foi possível observar danos ao sistema de iluminação devido a intensa umidade do local, conforme Figura 33.

Figura 33 - Galeria do vertedouro com intensa umidade - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recupera o de dano

Para o canal de restitui o   recomendavel a execu o de sistema de prote o por enrocamento rip-rap (2) com o objetivo de evitar evolu o nas erosões ao p do barramento. Se os processos erosivos fossem detectados de in cio, o revestimento da superfície erodida com vegeta o bastaria. Já para a galeria,   viavel a instala o de sistema elétrico próprio para o meio  mido.

#### 4.1.7. Diques da Casa de Força

##### 4.1.7.1. Margem direita

Observou-se a presença de vegeta o rasteira sobre o talude de montante da margem esquerda. A propaga o dessas esp cieis sobre o enrocamento pode provocar processos erosivos, rolamento das pedras e infiltra es. O dano está ilustrado na Figura 34, com sua observa o em vermelho.

Figura 34 - Vegetação rasteira sobre o enrocamento no talude de montante da margem direita - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recuperação de dano

Remover a vegetação rasteira até sua raiz para evitar danos futuros ao talude.

#### 4.1.7.2. Margem esquerda

Observou-se crescimento de espécies arbustivas em alguns trechos entre os taludes de jusante de terra e de enrocamento, conforme aponta a Figura 35. Essas espécies podem propiciar caminhos de infiltração da água através do talude devido fixação de suas raízes no interior do mesmo em busca da água montante. Os danos observados estão identificados na cor vermelha.



Figura 35 - Vegetação arbustiva entre taludes de terra e de enrocamento - jusante - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Em outros locais foram identificados pontos sem vegetação, o que facilita processos de erosão por escoamento superficial da água da chuva, conforme Figura 36.

Figura 36 - Ausência de vegetação ao pé do talude de jusante - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

## Recuperação de dano

É recomendável a remoção das espécies arbustivas presente sobre o talude at sua raiz. Para os pontos com ausência de vegetação, recomenda-se plantio (recuperação) da espécie gramínea no local.

### 4.1.8. Tomada d'água e canal de adução

Essas estruturas apresentaram-se em boas condições de conservação.

A galeria da tomada d'água apresenta alguns pontos de infiltração em seu interior, em especial em sua parede de montante com evolução da fissura ali presente ao longo do tempo, conforme é possível observar na Figura 37.

Figura 37 - Infiltração no interior da galeria da tomada d'água - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

## Recuperação de dano

A observação da evolução das fissuras e infiltração é extremamente relevante. Um estudo para técnica de vedação das infiltrações deve ser realizado.



#### 4.1.9. Casa de Força

##### 4.1.9.1. Área de montagem

As paredes de montante da área de montagem e do piso da turbina foram verificadas devido observações de infiltração na última inspeção formal. Na presente inspeção não foram identificados sinais dessa anomalia. A Figura 38 mostra as infiltrações que não ocorrem desde a última inspeção na parede da área de descarga.

Figura 38 - Parede de montante da área de descarga com antigas infiltrações. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Entre a casa de força e a área de montagem há uma junta de dilatação da estrutura que vem sendo observado desde o enchimento do reservatório. A intensidade de infiltração nessa junta varia conforme o índice pluviométrico e sazonalidade (período verão e inverno). A Figura 39 mostra a junta com carbonatação (4) indicada em vermelho.

Figura 39 – Junta de dilatação entre casa de força e área de montagem. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recuperação de dano

É importante o monitoramento do local para confirmação de que as infiltrações não retornem quando o índice pluviométrico for mais intenso.

Quanto à junta de dilatação, é importante o monitoramento contínuo da mesma para verificar possível evolução de infiltração. No período da inspeção a junta apresentou-se carbonatada.

#### 4.1.9.2. Piso do gerador e galeria elétrica superior

Apresentam-se em boas condições de conservação.

#### 4.1.9.3. Galeria elétrica inferior

Apresenta-se em boas condições de conservação.

#### 4.1.9.4. Galeria mecânica superior

Apresenta-se em boas condições de conservação.

#### 4.1.9.5. Galeria de drenagem

Foram observados alguns pontos de infiltração na galeria de drenagem da casa de forçã, que podem ser verificados em Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 - Infiltrações na galeria de drenagem da casa de forçã. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

Figura 41 - Infiltrações na galeria de drenagem da casa de forçã. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

## Recupera o de dano

A observa o da evolu o das fissuras e infiltra o   extremamente relevante. Um estudo para técnica de veda o das infiltra es deve ser realizado.

### 4.1.9.6. Galeria mecânica inferior

A apresenta-se em boas condi es de conserva o.

### 4.1.9.7. Galeria de suc o

Foi observado ponto de infiltra o na galeria de suc o da casa de força, que pode ser verificado na Figura 40.

Figura 42 - Infiltra o na galeria de suc o da casa de força. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

## Recupera o de dano

A observa o da evolu o das fissuras e infiltra o   extremamente relevante. Um estudo para técnica de veda o das infiltra es deve ser realizado.

#### 4.1.9.8. Piso das bombas

Foi observado ponto de infiltração na parede de jusante do piso, que pode ser verificado na Figura 43.

Figura 43 - Infiltração na parede de jusante do piso das bombas da casa de força. - UHE de estudo de caso.



Fonte: Empreendedor (2015).

#### Recuperação de dano

A observação da evolução das fissuras e infiltração é extremamente relevante. Um estudo para técnica de vedação das infiltrações deve ser realizado.

#### 4.2. MONITORAMENTO DAS INSTRUMENTAÇÕES

Serão compiladas as leituras dos dados de monitoramento das instrumentações realizadas na Usina e fornecidas pelo empreendedor, dos três primeiros meses desde a data de instalação do equipamento e das leituras de janeiro de 2015 até o período da inspeção considerada neste trabalho (14 e 15 de outubro de 2015). Segue-se dessa forma a fim de averiguar o comportamento das estruturas em parâmetro geral, considerando-se o período de enchimento do reservatório (idade inicial da barragem) o mais crítico para avaliação da Usina.

Dessa forma, também será possível a certificação do bom funcionamento dos instrumentos de medição. A seguir, a Tabela 2 expõe os tipos e quantidades de instrumentação para cada estrutura monitorada da Usina.

Tabela 2 - Relação de instrumentos de leitura instalados na Usina UHE estudo de caso.

Estrutura	Piezômetro de Tubo Aberto	Piezômetro Elétrico	Medidor Magnético de Recalque	Marco de Deslocamento Superficial	Medidor de Vazão	Extensômetro de Haste
Barragem (Leito do Rio)	07	02	02	10	0	0
Barragem (Margem Esquerda)	08	0	01	04	01	0
Vertedouro (Galeria)	20	0	0	0	01	08
Vertedouro (Bacia de Dissipação)	03	0	0	0	0	0
Dique (Margem Direita)	06	04	0	05	01	0
Dique (Margem Esquerda)	08	0	0	06	01	0
Tomada d'água	08	0	0	0	0	04
Casa de Força (Área de Montagem)	08	0	0	0	0	0

Fonte: Empresa Empreendedora, 2015.

Os dados de instrumentação que apresentarem alteração significativa serão ilustrados através de gráficos que analisam a evolução do monitoramento com relação ao nível de risco em condição normal, atenção e alerta, que estão definidos conforme cada instrumento.

Os instrumentos de medição que estiverem instalados junto a outros serão expostos no mesmo gráfico analítico.



#### 4.2.1. Piezômetro de Tubo Aberto Tipo Casagrande

Para os piezômetros de tubo aberto, as condições do nível de risco tomam por referência o nível de jusante do rio, sendo que para cada instrumento piezométrico a classificação varia conforme fórmulas específicas elaboradas junto ao estudo de dimensionamento da estrutura de acordo com fatores de segurança da Usina.

##### 4.2.1.1. Vertedouro

A Tabela 3 expõe os piezômetros instalados no vertedouro junto as suas respectivas situações de risco na data de inspeção. Os medidores para leitura dos instrumentos estão localizados na galeria da estrutura.

Tabela 3 - Piezômetro de tubo aberto - Vertedouro.

Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-11	NORMAL	PZ-33	NORMAL
PZ-13	NORMAL	PZ-41	NORMAL
PZ-21	NORMAL	PZ-43	NORMAL
PZ-23	NORMAL	PZ-51	NORMAL
PZ-31	NORMAL	PZ-53	NORMAL

Fonte: Dados de campo (empreendedor) 2015.

A bacia de dissipação é instrumentada pelos piezômetros descritos na Tabela 4, com seus medidores localizados também na galeria do vertedouro.

Tabela 4 - Piezômetro de tubo aberto - Bacia de Dissipação.

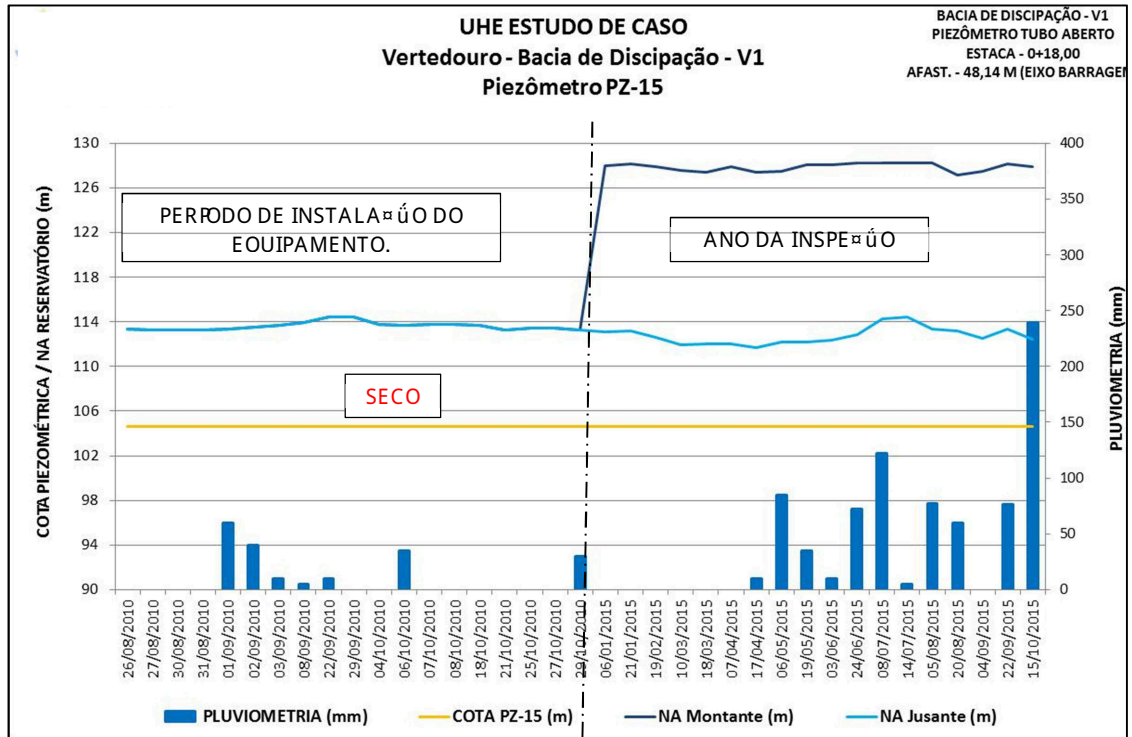
Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-15	SECO	PZ-55	ALERTA
PZ-35	SECO		

Fonte: Dados de campo (empreendedor) 2015.

Os piezômetros PZ-15 e PZ-35 apresentam-se `secos`, ou seja, sem leitura desde o período de instalação dos equipamentos, como podem ser visualizados, respectivamente, no Gráfico 1 e Gráfico 2.

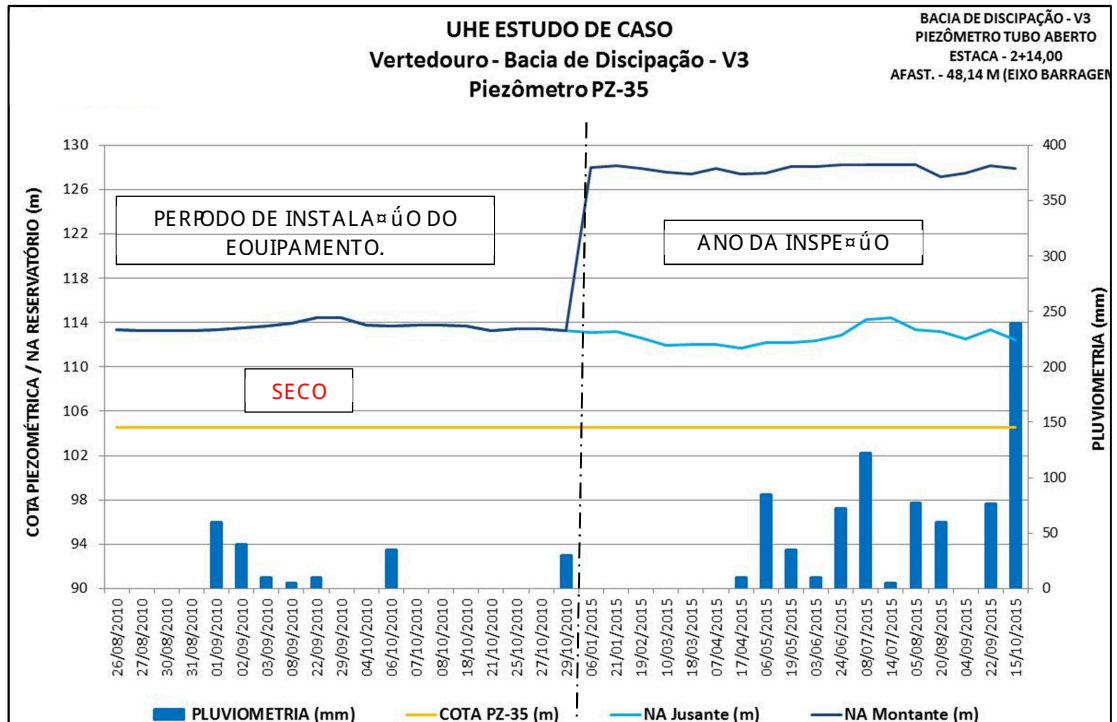


Gráfico 1 - PZ-15 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

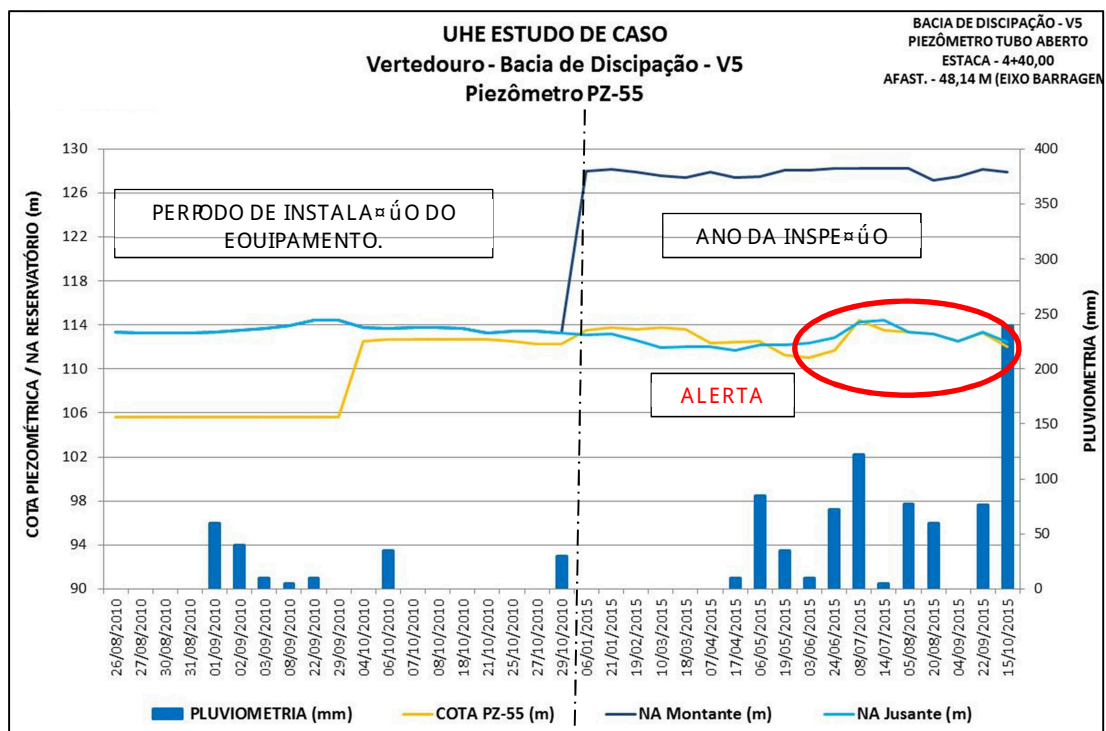
Gráfico 2 - PZ-35 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O piezômetro PZ-55 encontra-se em situação de alerta, portanto é considerável que este instrumento esteja atendendo pressões dos outros dois piezômetros da bacia de dissipação, PZ-15 e PZ-35 que estão secos. Deve-se atentar para situação de risco na estrutura da bacia de dissipação, uma vez que somente um piezômetro está liberando a pressão negativa da água sob a bacia, enquanto que originalmente três instrumentos deveriam estar exercendo essa função. Fissuras podem ocorrer na estrutura, levando ao seu colapso. É importante ressaltar que os piezômetros PZ-51 e PZ-53 encontram-se em condição normal de operação e estão localizados no mesmo alinhamento longitudinal do PZ-55, o que indica que a pressão excessiva está especialmente relacionada ao piezômetro da bacia de dissipação. Ou seja, outros instrumentos instalados no vertedouro não apresentam a indicação de alerta, deixando dúvidas se o PZ-55 está retratando a real situação da estrutura. A seguir, Gráfico 3 demonstra o comportamento do PZ-55.

Gráfico 3 - PZ-55 na bacia de dissipação - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

#### 4.2.1.2. Casa de fora (Área de montagem)

A Tabela 5 expõe os piezômetros instalados na Área de montagem da casa de fora junto as suas respectivas situaes de risco na data de inspeo. Os medidores para leitura dos instrumentos esto localizados na galeria da estrutura.

Tabela 5 - Piezmetro de tubo aberto - Casa de Fora (Área de montagem).

Código do Piezmetro	Situao	Código do Piezmetro	Situao
PZ-10	NORMAL	PZ-20	NORMAL
PZ-11	NORMAL	PZ-21	NORMAL
PZ-12	NORMAL	PZ-22	NORMAL
PZ-13	NORMAL	PZ-23	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

#### 4.2.1.3. Tomada dgua

A Tabela 6 expõe os piezômetros instalados na tomada dgua junto as suas respectivas situaes de risco na data de inspeo.

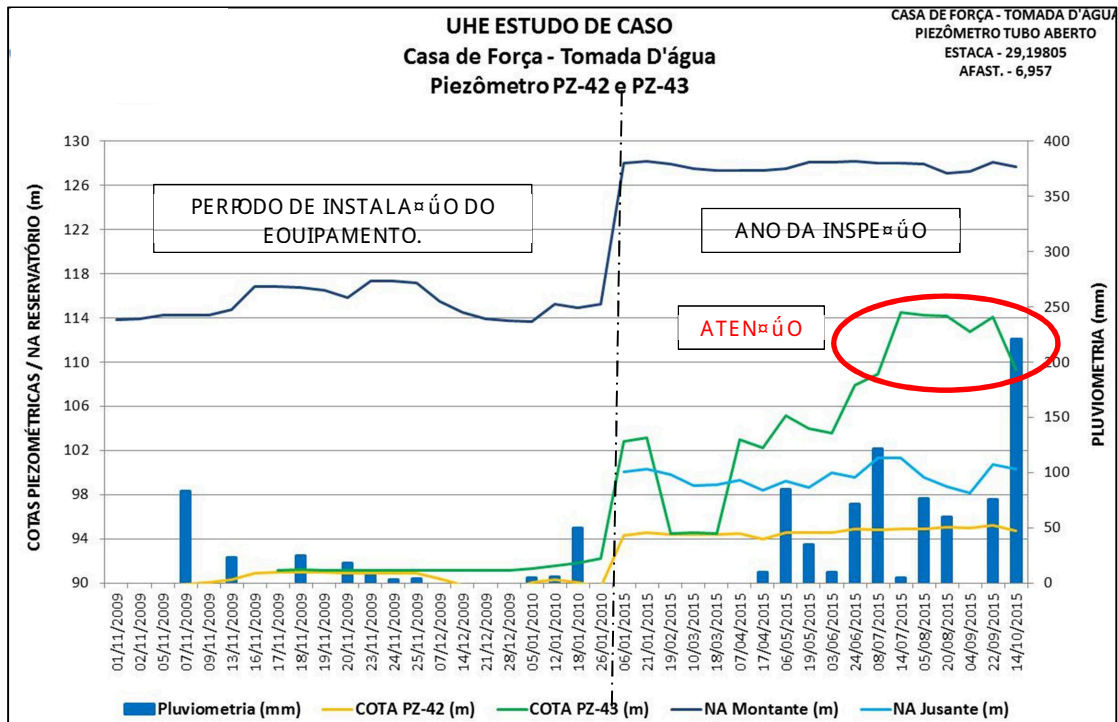
Tabela 6 - Piezmetro de tubo aberto - Tomada dgua.

Código do Piezmetro	Situao	Código do Piezmetro	Situao
PZ-30	NORMAL	PZ-40	NORMAL
PZ-31	NORMAL	PZ-41	NORMAL
PZ-32	NORMAL	PZ-42	NORMAL
PZ-33	NORMAL	PZ-43	ATENO

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

Na data da inspeo, somente o PZ-43 encontrava-se em situao de ateno. Como os piezômetros PZ-40 e PZ-41, que esto posicionados prximos ao PZ-43, esto normalizados, no caracterizou-se situao de risco. Portanto, o monitoramento contnuo do instrumento altamente recomendado. A seguir, possvel visualizar a situao do PZ-43 no Grfico 4.

Gráfico 4 - PZ-43 na tomada d'água - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

#### 4.2.1.4. Canal de adução (dique direito)

A Tabela 7 expõe os piezômetros instalados no dique direito do canal de adução junto as suas respectivas situações de risco na data de inspeção.

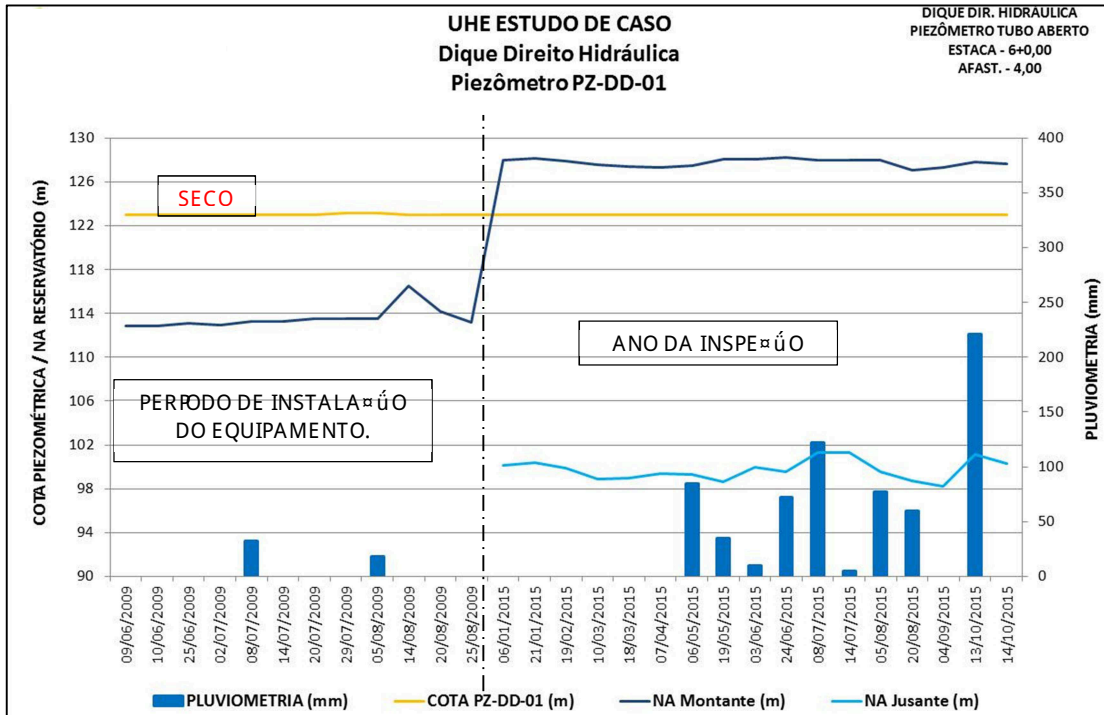
Tabela 7 - Piezômetro de tubo aberto - Dique Direito.

Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-DD-01	SECO	PZ-DD-04	NORMAL
PZ-DD-02	NORMAL	PZ-DD-05	NORMAL
PZ-DD-03	NORMAL	PZ-DD-06	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O piezômetro PZ-DD-01 apresenta-se 'seco', ou seja, sem leitura desde o período de instalação do equipamento, como pode ser visualizado no Gráfico 5. O instrumento pode ter sido obstruído no momento de sua instalação justificando a leitura desde então.

Gráfico 5 - PZ-DD-01 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

4.2.1.5. Canal de adução (dique esquerdo)

A Tabela 8 expõe os piezômetros instalados no dique direito do canal de adução junto as suas respectivas situações de risco na data de inspeção.

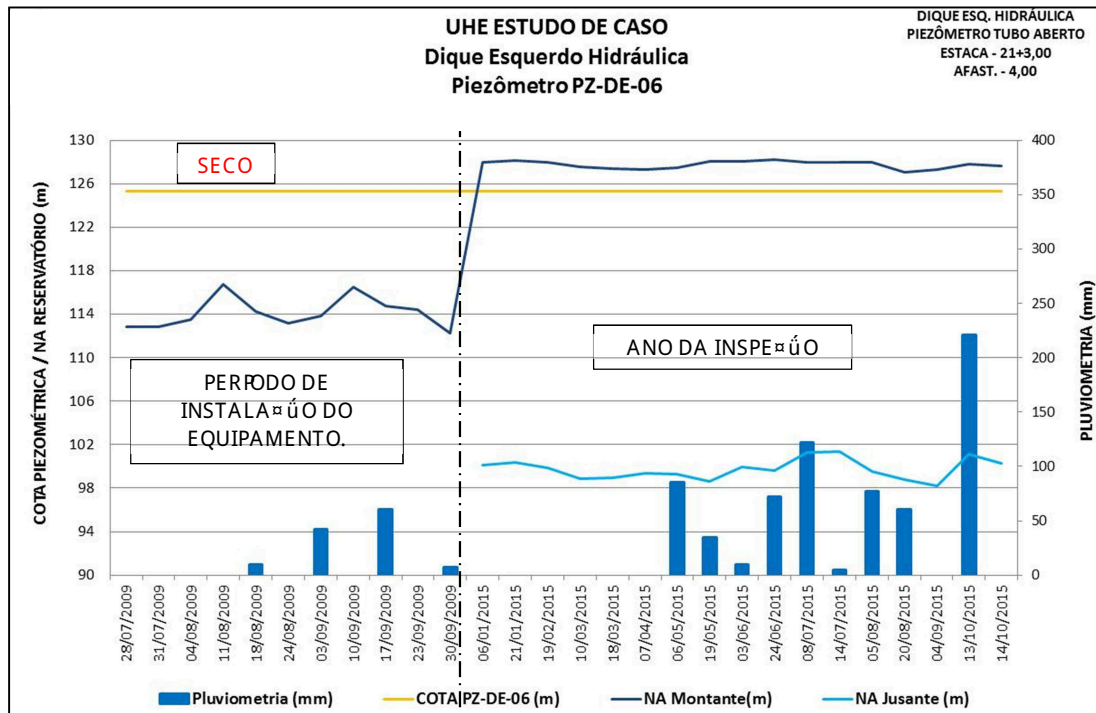
Tabela 8 - Piezômetro de tubo aberto - Dique Esquerdo.

Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-DE-01	NORMAL	PZ-DE-05	NORMAL
PZ-DE-02	NORMAL	PZ-DE-06	SECO
PZ-DE-03	NORMAL	PZ-DE-07	NORMAL
PZ-DE-04	NORMAL	PZ-DE-08	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O piezômetro PZ-DE-06 apresenta-se 'seco', ou seja, sem leitura desde o período de instalação do equipamento, como pode ser visualizado no Gráfico 6. O instrumento pode ter sido obstruído no momento de sua instalação justificando a leitura desde então.

Gráfico 6 - PZ-DE-06 no dique esquerdo do canal de adução UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

4.2.1.6. Barragem (margem esquerda)

A Tabela 9 expõe os piezômetros instalados na margem esquerda da barragem junto a suas respectivas situações de risco na data de inspeção.

Tabela 9 - Piezômetro de tubo aberto - Barragem (Margem Esquerda).

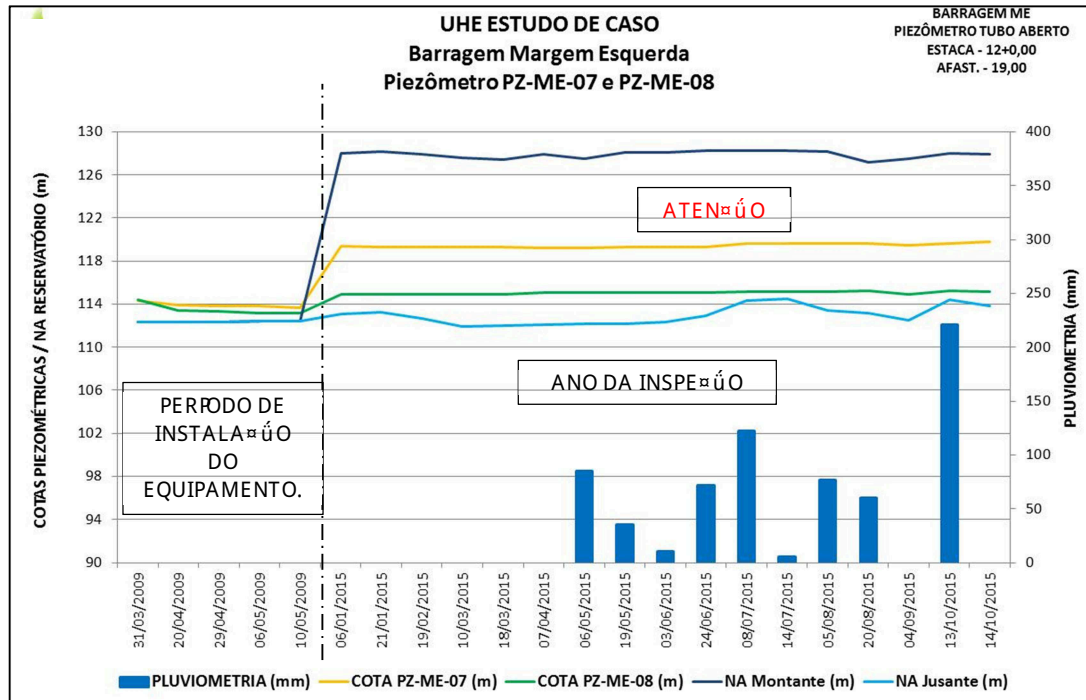
Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-ME-01	NORMAL	PZ-ME-05	NORMAL
PZ-ME-02	NORMAL	PZ-ME-06	NORMAL
PZ-ME-03	NORMAL	PZ-ME-07	ATENÇÃO
PZ-ME-04	NORMAL	PZ-ME-08	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O piezômetro PZ-ME-07 encontra-se em situação de 'atenção' desde o ano de 2013, segundo dados de monitoramento de campo da Usina. Porém, suas leituras apresentam-se estáveis desde o período de anormalidade dos registros do instrumento. Apesar da estabilidade dos dados, altamente recomendável o monitoramento contínuo do piezômetro em questão e

de seus vizinhos, que até o período de inspeção apresentavam-se normalizados, reforçando ser desnecessária a classificação como situação de risco. A seguir, Gráfico 7 ilustrando a situação do PZ-ME-07.

Gráfico 7 - PZ-ME-07 na margem esquerda do barramento - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

#### 4.2.1.7. Barragem (leito do rio)

A Tabela 10 expõe os piezômetros instalados na margem esquerda da barragem junto as suas respectivas situações de risco na data de inspeção.

Tabela 10 - Piezômetro de tubo aberto - Barragem (Leito do Rio).

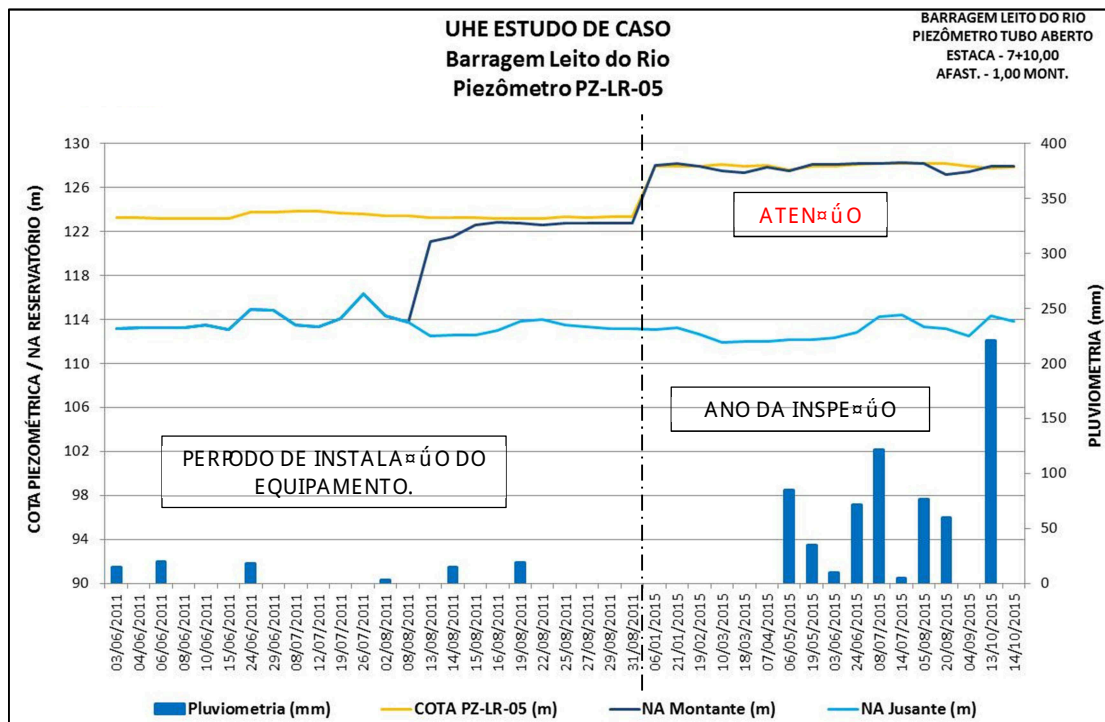
Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-01	NORMAL	PZ-07	NORMAL
PZ-02	NORMAL	PZ-08	NORMAL
PZ-03	NORMAL	PZ-M-01	NORMAL
PZ-05	ATENÇÃO	PZ-CR-03	NORMAL
PZ-06	ATENÇÃO	PZ-CR-04	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).



Os piezômetros PZ-05 e PZ-06 encontram-se em situação de 'atenção' desde o ano de 2011, segundo dados de monitoramento de campo da Usina. Portanto, suas leituras apresentam-se estáveis desde o período de anormalidade dos registros dos instrumentos. Apesar da estabilidade dos dados, é altamente recomendável o monitoramento contínuo dos piezômetros em questão e de seus vizinhos, que até o período de inspeção apresentavam-se normalizados, com exceção do PZ-07 que demonstra oscilações constantes entre situação 'normal' e 'atenção' em seus dados. Portanto, de acordo com as inspeções civis, a estrutura não apresenta fissuras ou pontos de surgência (6). A seguir, Gráfico 8 e Gráfico 9 ilustrando, respectivamente, a situação do PZ-05 e PZ-06.

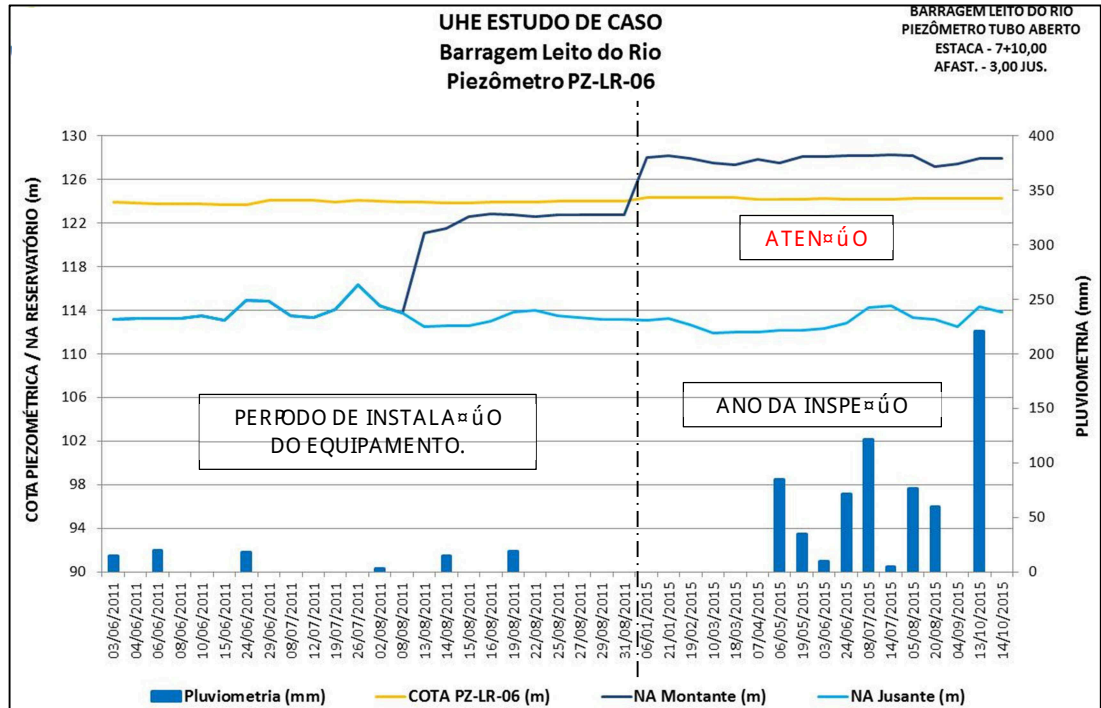
Gráfico 8 - PZ-05 no leito do rio - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).



Gráfico 9 - PZ-06 no leito do rio - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

4.2.1.8. Contato barragem vertedouro

A Tabela 11 expõe os piezômetros instalados no contato entre as estruturas barragem e vertedouro, junto as suas respectivas situações de risco na data de inspeção.

Tabela 11 - Piezômetro de tubo aberto - Contato Barragem Vertedouro.

Código do Piezômetro	Situação	Código do Piezômetro	Situação
PZ-CR-03	NORMAL	PZ - M-01	NORMAL
PZ-CR-04	NORMAL		

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

4.2.2. Outros Instrumentos

A fim de criar um panorama geral sobre a situação das diferentes instrumentações nas estruturas, apresenta-se o status de operação de cada instrumento em sua respectiva estrutura que compõe a Usina através do Quadro 5, Quadro 6, Quadro 7, Quadro 8, Quadro 9 e Quadro

10, na sequência. Os instrumentos cujos dados não estiverem em situação normalizada serão analisados através de gráficos, semelhante ao item 4.2.1.

Quadro 5 – Vertedouro (Galeria).

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Medidor de Vazão	MV-01	NORMAL
Extensômetro de Haste	EH-21	NORMAL
	EH-22	NORMAL
	EH-23	NORMAL
	EH-24	NORMAL
	EH-41	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-42	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-43	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-44	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

Os picos de leitura nos extensômetro de haste da estrutura são frequentes e, ao ocorrerem, são solicitadas repetidas leituras no ato do monitoramento, as quais vêm apresentando-se normalizadas. Logo, constata-se que o evento pode ser causado por erro humano de leitura em campo ou do próprio medidor. Caso a situação persista, o recomendável é que sejam realizadas novas calibrações nos medidores ou a inutilização dos mesmos, trocando-os por medidores novos.

Quadro 6 - Tomada d'água.

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Extensômetro de Haste	EH-01	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-02	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-03	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.
	EH-04	A apresenta picos isolados de leitura por possível erro de registro em campo.

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O evento de picos de leitura já foi mencionado anteriormente em texto do Quadro 5

Quadro 7 - Canal de Adução (Dique Direito).

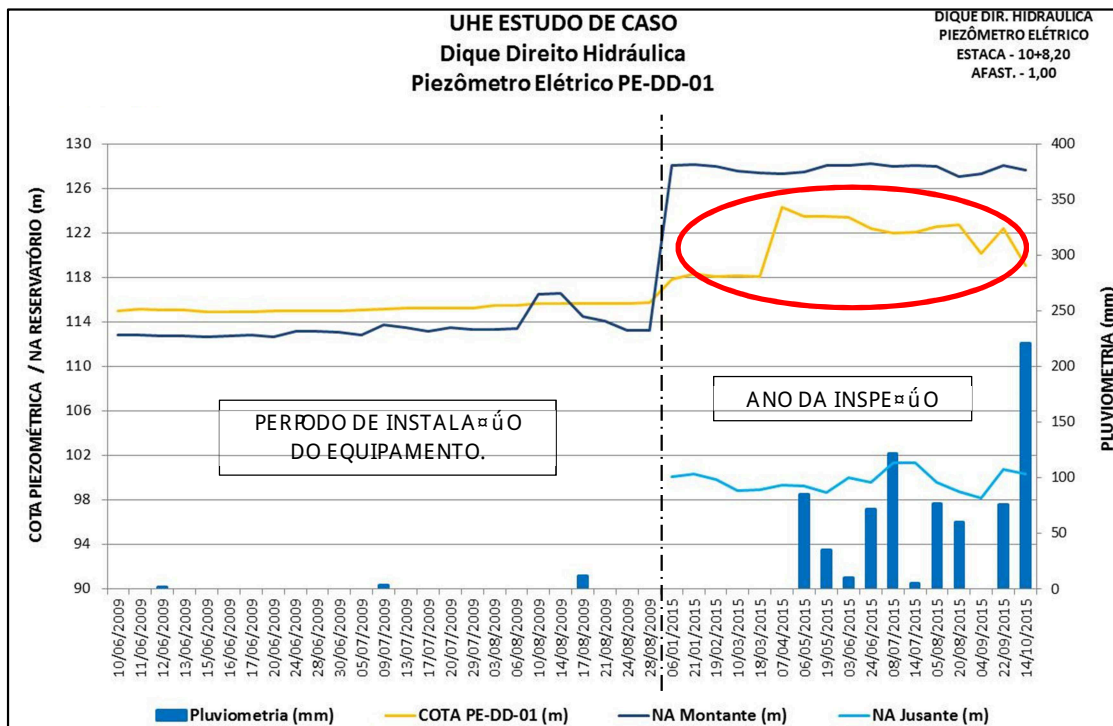
Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Medidor de Vazão	MV-02	NORMAL
Piezômetro Elétrico	PE-DD-01	A apresenta oscilações desde abril de 2015 com aumento do valor das leituras a partir de então. (Gráfico 10)
	PE-DD-02	NORMAL
	PE-DD-03	A apresenta oscilações desde 2015 com valores constantes desde então. (Gráfico 11)
	PE-DD-04	A apresenta oscilações desde 2015 com valores constantes desde então. (Gráfico 12)
Marco	MS-DD-01	NORMAL

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Superficial	MS-DD-02	NORMAL
	MS-DD-03	NORMAL
	MS-DD-04	NORMAL
	MS-DD-05	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

§ perceptível, no Gráfico 10, o aumento nos valores lidos a partir de abril de 2015, continuando crescentes desde então. Considera-se a hipótese de dano do equipamento, mas com constante monitoramento caso haja possibilidade de situação de alerta.

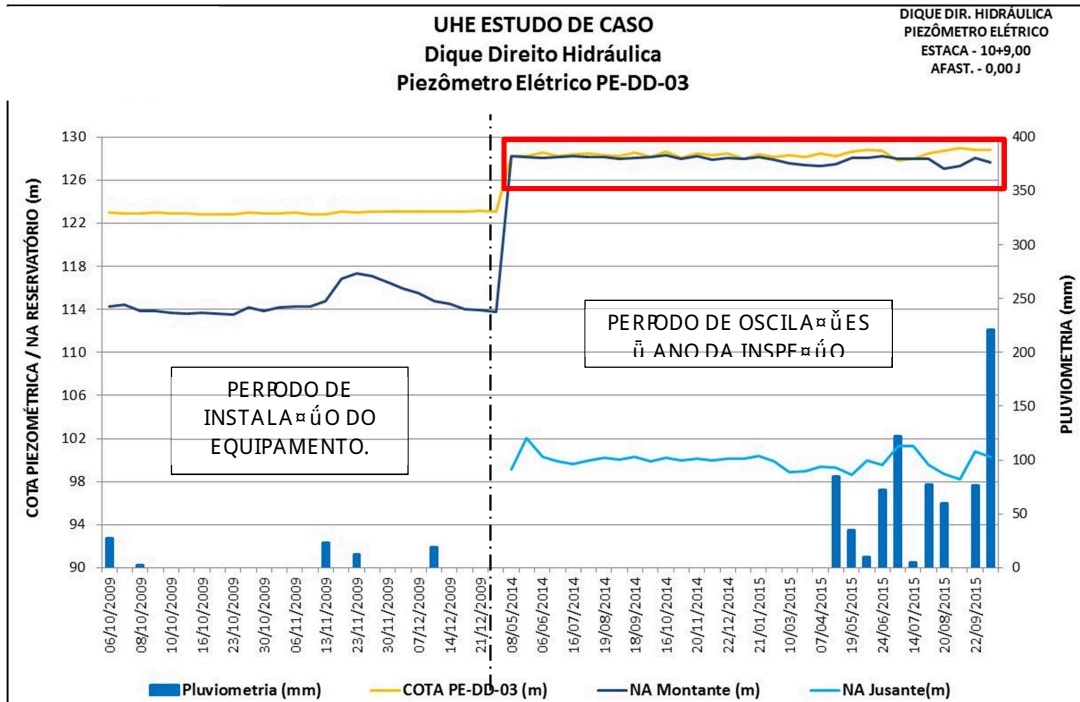
Gráfico 10 - PE-DD-01 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação Dados de campo (Empreendedor, 2015).

§ perceptível, no Gráfico 11, evento de oscilações nos valores lidos a partir de maio de 2014. Considera-se a hipótese de dano do equipamento, mas com constante monitoramento caso haja possibilidade de situação de alerta. De acordo com Silveira (2006), os piezômetros elétricos tendem a danificar mais que os piezômetros Casagrande, apresentando-se defeituosos, aproximadamente, cinco anos após sua instalação.

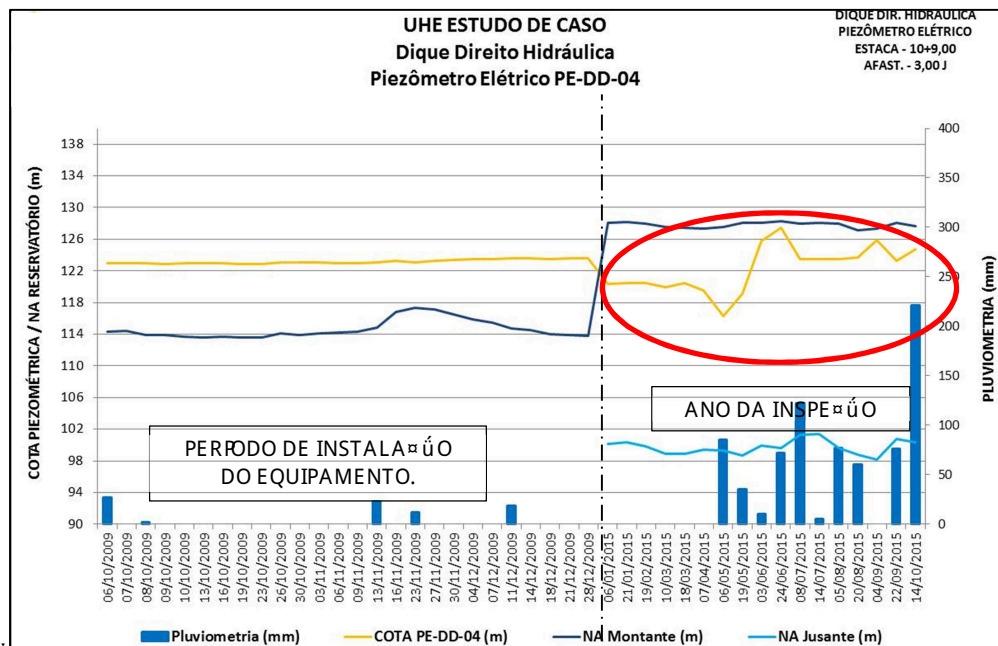
Gráfico 11 - PE-DD-03 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

É perceptível, no Gráfico 12, o aumento nos valores lidos a partir de abril de 2015, continuando crescentes desde então. Considera-se a hipótese de dano do equipamento, mas com constante monitoramento caso haja possibilidade de situação de alerta.

Gráfico 12 - PE-DD-04 no dique direito do canal de adução - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

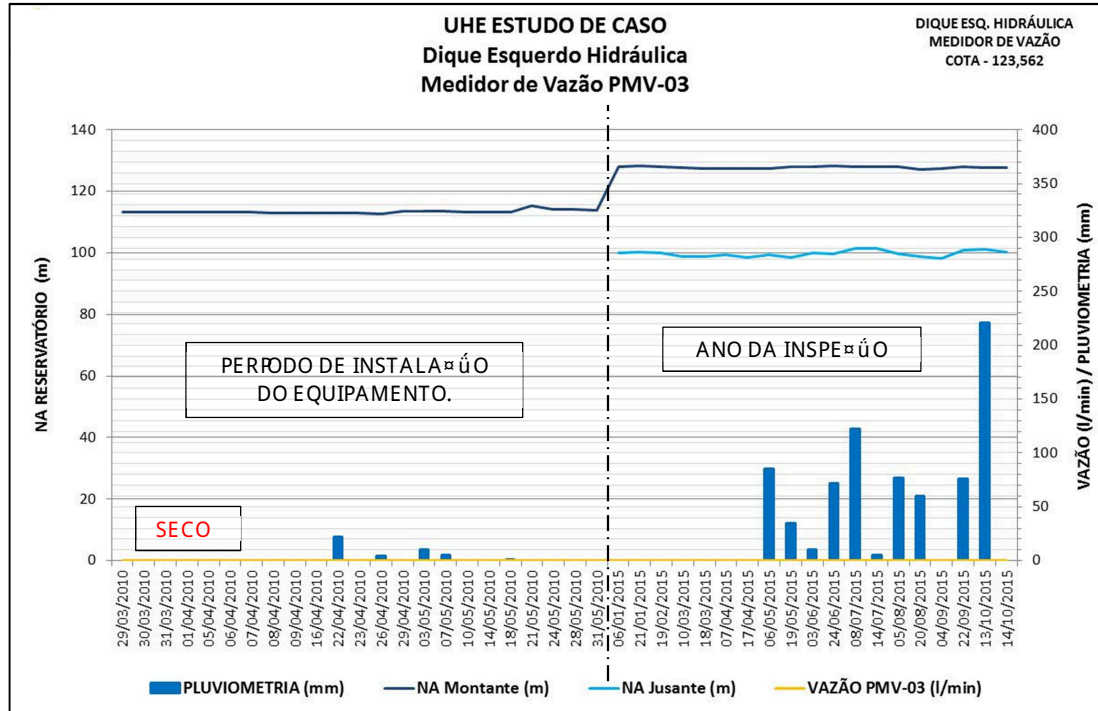
Quadro 8 - Canal de Adução (Dique Esquerdo).

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Medidor de Vazão	MV-03	SECO (O medidor de vazão dessa estrutura encontra-se seco desde o período de sua instalação, conforme Gráfico 13.  Gráfico 13)
Piezômetro Elétrico	PE	Instrumentos danificados.
Marco Superficial	MS-DD-01	NORMAL
	MS-DD-02	NORMAL
	MS-DD-03	NORMAL
	MS-DD-04	NORMAL
	MS-DD-05	NORMAL
	MS-DD-06	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O medidor de vazão dessa estrutura encontra-se seco desde o período de sua instalação, conforme Gráfico 13.

Gráfico 13 - MV-03 no dique esquerdo do canal de adução - UHE estudo de caso.



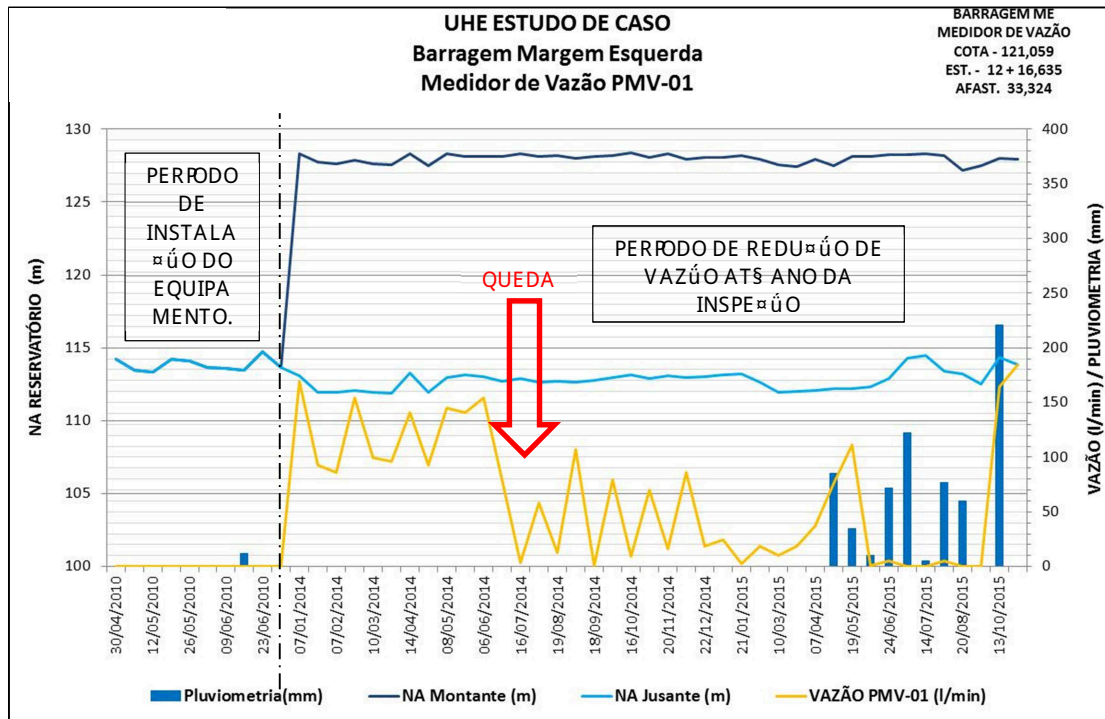
Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

Quadro 9 Barragem (Margem Esquerda).

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Medidor Magnético de Recalque	MM-ME-01	NORMAL
Medidor de Vazão	MV-01	Apresenta redução da vazão medida desde 2014. (Gráfico 14).
Marco Superficial	MS-DE-01	NORMAL
	MS-DE-02	NORMAL
	MS-DE-03	NORMAL
	MS-DE-04	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).

Gráfico 14 - MV-01 na margem esquerda do barramento - UHE estudo de caso.



Fonte: Instrumentação e Dados de campo (Empreendedor, 2015).

O Gráfico 14 mostra o medidor de vazão MV-01, presente na barragem esquerda do barramento, apresentando queda brusca em junho de 2014 e desde então com seus valores de vazão baixos. É recomendável a verificação da bacia de contenção com o intuito de verificar possíveis obstruções no medidor.

Quadro 10 - Barragem (Leito do Rio).

Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
Medidor Magnético de Recalque	MM-CR-01	NORMAL
	MM-CR-02	NORMAL
Piezômetro Elétrico	PZ-CR-05	NORMAL
	PZ-CR-06	NORMAL
Marco Superficial	MS-CR-01	NORMAL
	MS-CR-02	NORMAL
	MS-CR-03	NORMAL
	MS-CR-04	NORMAL



Tipo de Instrumento	Código do Instrumento	Situação
	MS-CR-05	NORMAL
	MS-CR-06	NORMAL
	MS-CR-07	NORMAL
	MS-CR-08	NORMAL
	MS-CR-09	NORMAL
	MS-CR-10	NORMAL

Fonte: Dados de campo (Empreendedor, 2015).



## 5. RESULTADOS

Os resultados desse trabalho serão apresentados da seguinte forma:

- V Preenchimento do check-list (lista de inspeção) sugerido pelo Ministério da Integração (2002), onde todas as estruturas civis da Usina do estudo de caso foram avaliadas;
- V Classificação da barragem da Usina segundo Matriz de Classificação proposta pela Resolução 696 (ANEEL, 2015), para barragens com fins energéticos.
- V Classificação da Consequência de Ruptura de Barragens, proposta por método do Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999);
- V Determinação do Índice para Avaliação do Nível de Auscultação (INA), segundo Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005);
- V Análise qualitativa entre os resultados obtidos.

### 5.1. CHECK-LIST (LISTA DE INSPEÇÃO) SEGUNDO MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002)

O check-list abordado a seguir é sugerido pelo Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, do Ministério da Integração Nacional (2002), como lista de inspeção para auxílio nas atividades de inspeções formais. Para este trabalho, foi utilizado o modelo do Ministério da Integração (2002) tomando por base a análise dos dados colhidos na inspeção realizada na Usina e monitoramento das instrumentações, apresentados no capítulo 4. Para o cumprimento do modelo apresentado pelo Ministério da Integração (2002) e verificação global da Usina, todas as estruturas civis foram avaliadas. Algumas informações de baixa relevância (como nomes dos envolvidos ou divulgação da localização exata da Usina) foram suprimidas devido acordo de sigilo com o empreendedor da Usina para a liberação do estudo de caso para o presente trabalho. A seguir, Quadro 11, Quadro 12 e Quadro 13 com a lista de inspeção preenchida. O modelo sugerido pelo Ministério da Integração (2002) pode ser consultado no anexo III ao fim deste trabalho.

Quadro 11 - Cabeçalho da Lista de Inspeção

Dados Gerais - Condição Atual
Barragem: UHE estudo de caso.
Região: Rio Grande do Sul (sul do Brasil).
Vistoriado por: empresa contratada pelo empreendedor para as inspeções regulares.
Data da Vistoria: 14 e 15 de outubro de 2015.
Enchimento do Reservatório: Agosto de 2011.
Estado Operacional da Vistoria
Superfície da água no reservatório: 2060 Ha
Armazenamento no reservatório: $102,40 \times 10^6 \text{ m}^3$
Nível máximo de operação - cota: 128,35m
Cota máxima da superfície da água no reservatório: 128,35m
Nível máximo histórico do reservatório: 345,00m (TR 10.000 anos)
Barramento
Tipo: terra e concreto (mista)
Altura: 21,00m
Comprimento da crista: 576,00m
Descargas
Vertedouro: $11570 \text{ m}^3 \text{ /s}$
Obras de restituição: nº possui
Canal: $332 \text{ m}^3 \text{ /s}$ (canal de adução Tomada D'água)
Descarregador de fundo: nº possui
Tomada d'água: $332 \text{ m}^3 \text{ /s}$ (Q turbinada máxima)

Fonte: Ministério da Integração (2002)

Quadro 12 - Legenda da Lista de Inspeção

Situação:	Nível de Perigo (NP):
NA - Não Aplicável	0 - Nenhum
NE - Não Existente	1 - Atenção
PV - Primeira Vez	2 - Alerta
DS - Desapareceu	3 - Emergência
DI - Diminuiu	
PC - Permaneceu Constante	
AU - Aumentou	
NI - Não Inspeccionado (justificar)	

Fonte: Ministério da Integração (2002)

O nível de perigo enumerado no Quadro 12, pode ser esclarecido a seguir, conforme Ministério da Integração (2002):

0 - Nenhum: anomalia que não compromete a segurança da barragem, mas que pode ser entendida como descaso e má conservação;

1 - Atenção: anomalia que não compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo;

2 - Alerta: anomalia com risco à segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema;

3 - Emergência: risco de ruptura iminente, situação fora de controle.

Quadro 13 - Lista de Inspeção

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>A. INFRAESTRUTURA OPERACIONAL</b>			
Falta de documentação sobre o afluente	NA	0	
Falta de material para manutenção	NE	0	
Falta de treinamento	NE	0	
Precariedade de acesso de veículos	NE	0	
Falta de energia elétrica	NE	0	
Falta de sistema de comunicação eficiente	NE	0	
Falta ou deficiência de cercas de proteção	PC	1	em orçamento
Falta ou deficiência nas placas de aviso	NE	0	
Falta de acompanhamento da gerência	NE	0	
Comentários: A ausência de proteção (guarda-corpo) na lateral do canal de fuga.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>B. BARRAGEM</b>			
<b>B.1 TALUDE DE MONTANTE</b>			
Erosões	NE	0	
Escorregamentos	NE	0	
Rachaduras / afundamento (laje de concreto)	NE	0	
Rip-rap (2) incompleto, destruído ou deslocado	NE	0	
A fundamentos ou buracos	NE	0	
Árvores e arbustos	NE	0	
Erosão nos encontros das ombreiras	NE	0	
Canaletas quebradas ou obstruídas	NE	0	

Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NE	0	
Sinais de movimento	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>B. BARRAGEM</b>			
<b>B.2 COROAMENTO</b>			
Erosões	NE	0	
Rachaduras	NE	0	
Falta de revestimento	NE	0	
A fundamentos ou buracos	NE	0	
Árvores e arbustos	NE	0	
Defeitos de drenagem	NE	0	
Defeitos no meio fio	NE	0	
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NE	0	
Sinais de movimento	NE	0	
Desalinhamento do meio-fio	NE	0	
Ameia de lavar barragem	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>B. BARRAGEM</b>			
<b>B.3 TALUDE DE JUSANTE</b>			
Erosões	NE	0	
Escorregamentos	NE	0	
Rachaduras / afundamentos (laje de concreto)	NE	0	
Falta de proteção granular	NE	0	
Falta ou defeitos no revestimento	NE	0	
A fundamentos ou buracos	NE	0	
Árvores e arbustos	PC	2	controle de crescimento
Erosão no encontro das ombreiras	NE	0	
Cavernas e buracos nas ombreiras	NE	0	
Canaletas quebradas ou obstruídas	NE	0	
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NE	0	
Sinais de movimento	NE	0	
Sinais de rev. ncia ou áreas úmidas	NE	0	
Comentários: Crescimento de espécies arbustivas na barragem que podem propiciar caminhos de infiltração ao longo do tempo.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
B. BARRAGEM			
B.4 REGIÃO AJUSANTE DA BARRAGEM			
Construções irregulares próximas ao leito do rio	NE	0	
Revisão	NE	0	
Ervas / arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	PC	2	nº podem ser removidos
Comentários: as espécies estão em área resguardada, nº podem ser removidas do local.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
B. BARRAGEM			
B.5 INSTRUMENTAÇÃO			
Acesso precário aos instrumentos	NE	0	
Piezômetro entupidos ou defeituosos	PC	1	instalação/ possível obstrução
Marcos de recalque defeituosos	NE	0	
Medidores de nível do reservatório defeituosos	NE	0	
Medidores de vazão de percolação defeituosos	PC	1	possível obstrução
Falta de instrumentação	NE	0	
Comentários: Ver item 4.2.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
C. SANGRADOURO			
C.1 CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO			
Ervores e arbustos	NE	0	
Obstrução ou entulhos	NE	0	
Desalinhamento dos taludes e muros laterais	NE	0	
Rachaduras no concreto	NE	0	
Ferrugem do concreto exposta	NE	0	
Erosões ou escorregamentos nos taludes	NE	0	
Erosão na base dos canais escavados	AU	2	turbulência na água devido a vertedouro e propriedades geotécnicas do solo
Erosão na área jusante (erosão regressiva)	NE	0	
Construções irregulares (aterro/estrada, casa, cerca)	NE	0	
Comentários: Margens direita e esquerda do canal de restituição com erosão devido a grandes vertimentos e solo de "bota-fora". Portanto, o local está sendo monitorado.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
C. SANGRADOURO			
C.2 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DA COTA DA SOLEIRA			
Rachaduras ou trincas no concreto	NE	0	
Ferrugem do concreto exposta	NE	0	
Descalçamento da estrutura	NE	0	
Juntas danificadas	NE	0	
Sinais de descolamento das estruturas	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
C. SANGRADOURO			
C.3 BACIA AMORTECEDORA			
Defeitos no concreto	NE	0	
Erosões ou escorregamentos	NE	0	
Obstruções	NE	0	
Comentários: Piezômetros que monitoram a bacia permanecem danificados desde sua instalação. Outros instrumentos monitoram a estrutura.			



LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
C. SANGRADOURO			
C.4 MUROS LATERAIS			
Rachaduras	NE	0	
Erosão nos contatos	NE	0	
Erosão na fundação	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
D. RESERVATÓRIO			
Régua danificadas ou faltando	NE	0	
Construções em áreas de proteção	NE	0	
Poluição por esgoto, lixo, entulho, pesticidas, etc.	NE	0	
Erosões	PC	1	variação do NA e propriedades geotécnicas do solo
Assoreamento	PC	1	erosão
Desmoronamento das margens	PC	1	erosão
Existência de vegetação aquática excessiva	NE	0	
Desmatamentos na área de proteção	NE	0	
Presença de animais e peixes mortos	NE	0	
Pesca predatória	NE	0	
Gado pastando	NE	0	
Comentários: No canal de adução houve desmoronamento de partes da margem próxima ao log boom (1) devido variação de fluxo de água e solo de "bota-fora". O log boom (1) encontra-se desnivelado e com risco de rompimento devido assoreamento do fundo do canal provocado pelas erosões. O assoreamento foi verificado através de batimetria.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
E. TORRE DA TOMADA D'ÁGUA			
E.1 ENTRADA			
Assoreamento	NE	0	
Obstrução e entulhos	NE	0	
Tubulação danificada	NE	0	
Registros defeituosos	NE	0	
Falta de grade de proteção	NE	0	
Defeitos na grade	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
E. TORRE DA TOMADA D'EGUA			
E.2 AÇIONAMENTO			
Hastes (retida no mancal, corrosão e empenamento)	NE	0	
Base nos mancais (corrosão, falta de chumbadores)	NE	0	
Falta de mancais	NE	0	
Corrosão nos mancais	NE	0	
Pedestal: chumbadores, lubrificação e pintura	NE	0	
Falta de indicador de abertura	NE	0	
Falta de volante	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
E. TORRE DA TOMADA D'EGUA			
E.3 COMPORTAS			
Peças fixas (corrosão, amassamento da guia, pintura)	NE	0	
Estrutura (corrosão, amassamento, pintura)	NE	0	
Defeito das vedações (vazamento)	NE	0	
Defeito das rodas (comporta vagão, se aplicável)	NE	0	
Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores	NE	0	
Defeito no ponto de içamento	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
E. TORRE DA TOMADA D'ÁGUA			
E.4 ESTRUTURA			
Ferragem exposta na estrutura da torre	NE	0	
Falta de guarda corpo na escada de acesso	NE	0	
Deterioração do guarda corpo na escada de acesso	NE	0	
Ferragem exposta na plataforma (passadiço)	NE	0	
Falta de guarda corpo no passadiço	NE	0	
Deterioração do guarda corpo no passadiço	NE	0	
Deterioração do portão de abrigo de manobra	NE	0	
Deterioração da tubulação de ar e by-pass	NE	0	
Deterioração da instalação de controle	NE	0	
Comentários:			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
F. CAIXA DE MONTANTE (SUBMERSIVEL)	NE		
F.1 BOCA DE ENTRADA E STOP-LOG			
Assoreamento			
Obstrução e entulhos			
Ferragem exposta na estrutura de concreto			
;deterioração no concreto			
Falta de grade de proteção			
Defeitos na grade			
Peças fixas (corrosão, amassamento da guia, pintura)			
Estrutura do stop-log (corrosão, amassamento, pintura)			
Defeito de acionamento do stop-log			
Defeito no ponto de içamento			
Comentários: Elemento nº 0 existente.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>G. GALERIA</b>			
Corrosão e vazamento na tubulação	NE	0	
Sinais de abrasão ou cavitação	NE	0	
Sinais de fadiga ou perda de resistência	NE	0	
Defeitos nas juntas	PC	1	junta construtiva
Deformação do conduto	NE	0	
Desalinhamento do conduto	NE	0	
Surgência (6)s de água junto à galeria	PC	2	trincas no concreto
Falta de manutenção	NE	0	
Presença de pedras, lixo dentro da galeria	NE	0	
Trincas no concreto	AU	2	falha de execução
Comentários: Na tomada d'água houve evolução de algumas infiltrações, já na casa de força as infiltrações sofreram carbonatação (4) e não houve surgência (6) de água. A junta de dilatação entre casa de força e área de montagem permanece estável e em observação.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>H. ESTRUTURA DE SAPATA</b>			
Corrosão e vazamentos na tubulação	NE	0	
Sinais de abrasão ou cavitação	NE	0	
Sinais de fadiga ou perda de resistência	NE	0	
Ruídos estranhos	NE	0	
Defeito nos dispositivos de controle	NE	0	
Falta ou deficiência nas instruções de operação	NE	0	
Surgência (6)s de água no concreto	PC	2	trincas no concreto
Precariedade de acessos (árvores e arbustos)	NE	0	
Vazamentos nos dispositivos de controle	NE	0	
Falta de manutenção	NE	0	
Construções irregulares	NE	0	
Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas	NE	0	
Defeitos no concreto	NE	0	
Defeitos na cerca de proteção	PC	0	
Comentários: Surgência (6) de água devido trincas no concreto nas paredes da área de montagem da casa de força.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>I. MEDIDOR DE VAZÃO</b>			
Ausência da placa medidora de vazão	NE	0	
Corrosão da placa	NE	0	
Defeitos no concreto	NE	0	
Falta de escala de leitura de vazão	NE	0	
Assoreamento da câmara de medição	NE	0	
Comentários: Medidor de vazão do dique direito do canal de adução apresenta-se seco.			

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO	NP	CAUSA
<b>J. ESTRADAS DE ACESSO</b>			
Estado do pavimento	PV	0	uso contínuo
Pontes	NA	0	
Comentários: buracos em alguns pontos do acesso à barragem devido ao desgaste natural por uso contínuo.			

<b>K. OUTROS PROBLEMAS EXISTENTES</b>			
Comentários: Ausência de vegetação de proteção e crescimento de vegetação arbustiva no dique esquerdo da casa de força. Há crescimento de vegetação rasteira também no dique direito da casa de força entre o enrocamento.			

<b>L. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES</b>			
Comentários:			

Fonte: Ministério da Integração (2002) e dados de campo (Inspeção).

A avaliação das estruturas através da lista de inspeção foi realizada conforme situação e nível de periculosidade para cada elemento componente ou anomalia da respectiva estrutura. Fica evidente que a classificação é qualitativa e utiliza como meios as inspeções visuais. No entanto, por ser fragmentada, a avaliação dificulta a identificação da situação e NP globais da UHE como um todo, impossibilitando uma categorização de risco e segurança gerais da Usina. Em contraponto, a avaliação fragmentada das estruturas possibilita a tomada de decisões de manutenção e recuperação em trechos específicos da UHE, uma vez que os danos estão identificados e localizados individualmente.

## 5.2. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM, SEGUNDO RESOLUÇÃO 696, ANEEL (2015)

A Resolução 696 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), tem por objetivo a classificação da barragem para fins energéticos conforme quesitos de segurança estabelecidos pela Lei 12.334 (Planalto, 2010). Para este item, somente a estrutura de barramento será avaliada, com o intuito de verificar possibilidade de ruptura da barragem.

### 5.2.1. Aplicação da Resolução

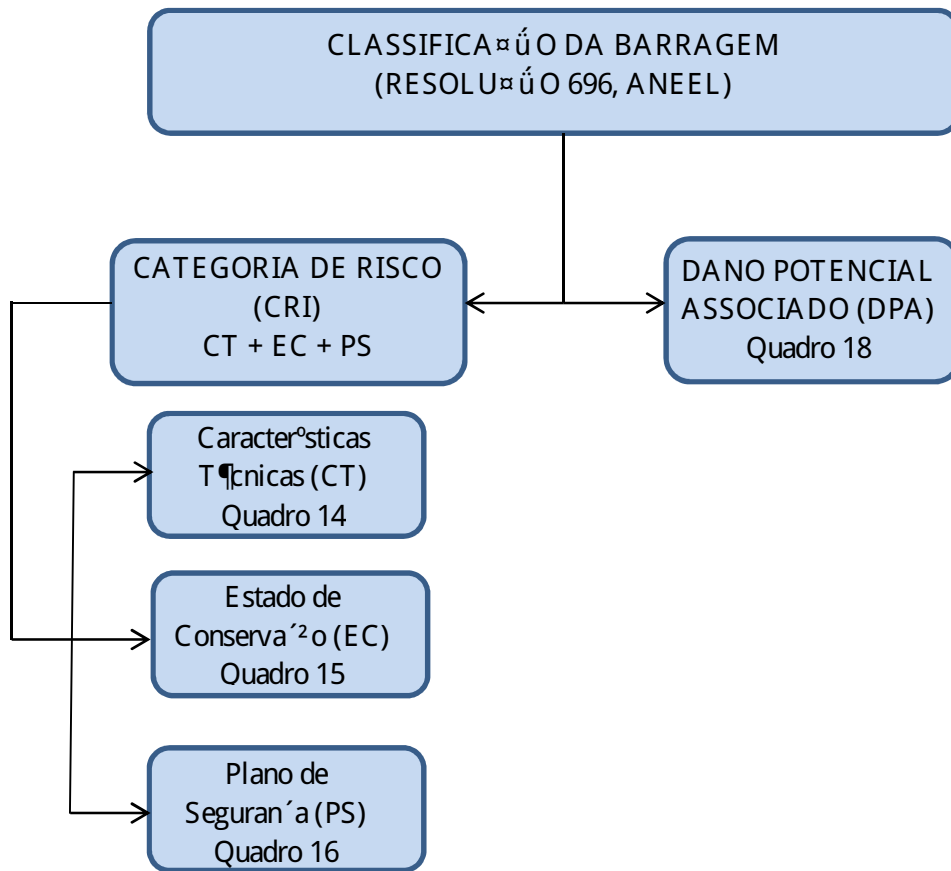
A UHE do estudo de caso atende aos seguintes requisitos para que possa ser contemplada pela Resolução:

- V Altura do maciço igual ou superior a 15,00 m (21,00 m);
- V Capacidade do reservatório igual ou superior a 3.000.000 m<sup>3</sup> (102.400.000 m<sup>3</sup>);
- V Classificação de dano potencial médio ou alto, conforme item 5.2.2.

### 5.2.2. Critério para classificação da barragem

A Resolução 696 (ANEEL, 2015), junto à Lei 12.334 (Planalto, 2010), classifica barragens para fins energéticos conforme duas pontuações: Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA). A seguir, fluxograma para melhor compreensão.

Figura 44 - Fluxograma para Classificação da Barragem.



Fonte: da autora (2016).

#### 5.2.2.1. Categoria de risco (CRI)

A seguir, estima-se a categoria de risco através da Matriz de Classificação de Barragem proposta pela Resolução 696 (ANEEL, 2015), identificando os parâmetros expostos no fluxograma (Figura 44) através dos quadros a seguir (Quadro 14, Quadro 15 e Quadro 16). As informações para pontuação dos quadros encontram-se no item 3.2.2 sobre as características técnicas do estudo de caso e também podem ser consultadas no Quadro 11 da lista de inspeção. Demais informações foram verificadas junto à empresa executora das inspeções regulares.

Quadro 14 - Matriz de Características Técnicas (CT) - Barragem de Terra.

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura $\leq$ 15m (0)	comprimento $\leq$ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem Casa de Força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Avenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc. (2)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (2)	-	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada -sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

Fonte: ANEEL (2015).



Quadro 15 - Matriz de Estado de Conservação (EC) - Barragem de Terra.

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (h)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (i)	Percolação (j)	Deformações e Recalques (k)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (l)	Eclusa (*) (m)
Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrônicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos à estrutura vertical. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertical. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

Fonte: ANEEL (2015).

Quadro 16 - Matriz de Plano de Segurança de Barragem (PS) - Barragem de Terra.

Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-

Fonte: ANEEL (2015).

Logo,

$$CT = 01 + 03 + 03 + 01 + 04 + 03 + 00$$

CT = 15 pontos;

$$EC = 00 + 00 + 00 + 00 + 01 + 00$$

EC = 01 pontos;

$$PS = 00 + 00 + 00 + 00 + 00$$

PS = 0 pontos.

Como  $CRI = CT + EC + PS$ ,

$$CRI = 16 \text{ pontos.}$$

É importante ressaltar que para o cálculo do CRI, a barragem classificada foi a barragem de terra, por ser o trecho de maior extensão e o mais crítico e propenso a falhas. Dessa forma, a classificação foi realizada a favor da segurança do barramento, uma vez que a barragem da Usina é mista, apresentando-se de concreto CCR em sua margem direita e de terra homogênea na margem esquerda.

Portanto, com base na faixa de classificação da Resolução 696, Quadro 17, é possível categorizar o risco como alto, médio ou baixo segundo pontuação contabilizada pelo CRI.

Quadro 17 - Faixa de Classificação de Categoria de Risco.

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	$\geq 62$ ou $EC \geq 8$ (*)
	MÉDIO	35 a 62
	BAIXO	$\leq 35$

Fonte: ANEEL (2015)

#### 5.2.2.2. Dano potencial associado (DPA)

Para a determinação do DPA, a Resolução 696 (ANEEL, 2015) prevê que sejam consideradas as estruturas de barramento jusante da barragem avaliada, com relação ao amortecimento da cheia associada ao rompimento. Neste caso, há a presença de uma CGH com geração de 0,75MW de potência. A seguir, estima-se o dano potencial associado através da matriz de classificação proposta pela Resolução 696, identificando-o através do Quadro 18.

Quadro 18 - Matriz de Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado (DPA).

Volume Total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

Fonte: ANEEL (2015)

Logo,

$$DPA = 03 + 12 + 03 + 04$$

DPA = 22 pontos.

Portanto, com base na faixa de classifica o da Resolu o 696, Quadro 19,   possível categorizar o dano potencial associado como alto, médio ou baixo segundo pontua o coontabilizada pelo DPA.

Quadro 19 - Faixa de Classifica o de Dano Potencial Associado.

FAIXAS DE CLASSIFICA�O	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		DPA
		ALTO	$\geq 18$
		MÉDIO	$10 < DPA < 18$
		BAIXO	$\leq 10$

Fonte: ANEEL (2015).

Como o dano potencial associado da barragem da Usina do estudo de caso   classificado como `Alto\_,   possível afirmar que a Resolu o 696 da ANEEL aplica-se   esse estudo, conforme critérios de aplica o da mesma exposta em 5.2.1.

As informa es para pontua o do quadro DPA encontram-se no item 3.2.2 sobre as características técnicas do estudo de caso e também podem ser consultadas no Quadro 11 da lista de inspe o. Demais informa es foram verificadas junto   empresa executora das inspe es regulares.

### 5.2.3. Matriz de Classifica o de Barragens

Com a determina o da categoria de risco e do dano potencial associado, a Resolu o 696 (ANEEL, 2015) classifica as barragens em categoria A, B ou C, através da matriz abaixo (Quadro 20).

Quadro 20 - Matriz de Classifica o de Barragens.

Categoria de Risco	Dano potencial associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: ANEEL.

Portanto, está definida a classificação da barragem da Usina do estudo de caso como `classe B\_', segundo a ANEEL.

Para barragens classificadas como `A\_' ou `B\_', a Resolução 696 prevê a elaboração do estudo de rompimento e de propagação da cheia associada, sendo esta Usina, enquadrada nas exigências da Resolução.

Também é especificada a periodicidade com que as inspeções de segurança regulares deverão ser realizadas, conforme classificação da barragem. Para a `classe B\_' a Usina do estudo de caso deverá manter inspeções regulares a cada um ano. Ainda assim, o empreendedor realiza as inspeções de segurança regulares em períodos de seis meses, ou seja, semestralmente todas as estruturas da Usina são inspecionadas.

A Resolução ainda estabelece que para barragens classificadas como `A\_' ou `B\_', deverá ser elaborado o Plano de Ação Emergencial (PAE), posteriormente disposto no próprio empreendimento e nas prefeituras envolvidas, além de ter uma cópia encaminhada ao órgão local de defesa civil.

Com relação a Revisão Periódica de Segurança, para `classe B\_' a periodicidade dessa revisão deverá ser de sete anos, conforme Resolução 696 (ANEEL, 2015).

### 5.3. CLASSIFICAÇÃO DA CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA DA BARRAGEM, SEGUNDO GUIA BÁSICO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (CBGB, 1999)

O Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999), traz um método usual para verificação das consequências de ruptura da barragem. Neste contexto, as mesmas informações, pertinentes à Usina do estudo de caso, aplicadas aos métodos anteriores foram consideradas para este método. A seguir, Quadro 21 classifica o Potencial de Consequência da Ruptura da barragem através dos dados de `perda de vidas\_' e `econômico, social e danos ambientais\_'.



Quadro 21 - Potencial da Consequência de Ruptura de Barragens.

CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA	PERDA DE VIDAS	ECONÔMICO, SOCIAL E DANOS AMBIENTAIS
Muito alta	Significativa	Dano excessivo <sup>(a)</sup>
<b>Alta</b>	<b>Alguma</b>	Dano substancial
Baixa	Nenhuma	<b>Dano moderado</b>
Muito baixa	Nenhuma	Dano mínimo

Fonte: Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999).

Primeiramente, considerou-se o item `perda de vidas\_ como `alguma\_ pois há a presença de poucas residências unifamiliares a jusante do barramento, na extensão do rio.

Num segundo momento, para o item `econômico, social e danos ambientais\_, o dano foi classificado como `moderado\_, uma vez que não há áreas de preservação ambiental na região atingida por possível ruptura da barragem, nem presença de indústrias. Porém, existe atividade comercial e turística em pequena escala a jusante do barramento.

Dessa forma, o item com classificação de maior agravante (no caso, o item `perda de vidas\_ classificado como `alguma\_) comanda a classificação da `consequência de ruptura\_, sendo, portanto, a barragem da Usina de estudo de caso classificado como Consequência de Ruptura `Alta\_.

Com essa classificação é possível definir a periodicidade das avaliações de segurança de barragem - Usina, conforme Quadro 22.

Quadro 22 - Frequência de Reavaliações da Segurança de Barragens.

CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA	PERÍODO ENTRE REAVALIAÇÕES
Muito Alta	5 anos
<b>Alta</b>	<b>7 anos</b>
Baixa	10 anos
Muito baixa	10 anos

Fonte: Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999).

Pela classificação da Consequência de Ruptura `Alta\_ é possível determinar o período indicado pelo método de 7 anos entre reavaliações de segurança.

O Guia (CBDB, 2002) somente exclui a elaboração de PAE para barragens cuja classificação seja `Muito baixa\_ ou `Baixa\_. Portanto, neste caso, a Usina deverá ter um PAE elaborado.

#### 5.4. ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE AUSCULTAÇÃO (INA)

A fim de avaliar a qualidade das condições de instrumentação e das inspeções na Usina, utilizou-se o método INA proposto por Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005) e apresentado no XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, do CBDB. O método atribui pontos de 0 a 100, de acordo com a situação na qual encontra-se cada item solicitado. O Índice é dividido em cinco grupos de atividades de auscultação. São eles:

- V organização e disponibilidade dos dados básicos da barragem (Tabela 12);
- V inspeções visuais (Tabela 13);
- V equipes de auscultação (Tabela 14);
- V instrumentação (Tabela 15);
- V análise e interpretação (Tabela 16).

Para cada grupo listado anteriormente existem requisitos que são analisados separadamente e notas máximas tabeladas para cada um desses requisitos. Na última coluna de cada grupo serão descritas as notas atribuídas para esses requisitos, limitadas pela nota máxima tabelada.

Ao fim de cada grupo, realiza-se uma soma de todos os requisitos do grupo analisado que não deve ultrapassar a nota 100 (nota máxima).

Tabela 12 - Organização e Disponibilidade dos Dados Básicos da Barragem.

Atividade	Nota Tabelada	Nota Atribuída
1. Relatório final de projeto	30	30
2. Relatório e desenhos as built	30	30
3. Fichas de instrumentação	30	30
4. Gestão computadorizada dos dados	10	10

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).



Logo,

organiza o e disponibilidade dos dados básicos da barragem:

$$30 + 30 + 30 + 10 = 100.$$

Tabela 13 - Inspe es Visuais.

Atividade	Nota Tabela	Nota Atribuída
1.Inspe�o rotineira com registro	15	15
2.Inspe�o periódica		
2.1.anual ou mais frequente	30	30
2.2.frequência de 1 a 2 anos	20	
2.3.frequência de 2 a 4 anos	10	
3.Inspe�o dos consultores independentes		
3.1.a cada 4 anos ou mais frequente	20	20
3.2.frequência de 4 a 6 anos	10	
3.3.frequência de 6 a 10 anos	5	
4.Utiliza�o de lista de verifica�o	20	10
5.Documenta�o fotográfica	15	15

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).

Logo,

inspe es visuais:

$$15 + 30 + 20 + 10 + 15 = 90.$$

Tabela 14 - Equipes de Auscultação.

Atividade	Nota Tabelaada	Nota Atribuída
1. Interação entre equipes	30	30
2. Supervisão externa e independente		
2.1. a cada 4 anos ou mais frequente	40	40
2.2. frequência de 4 a 6 anos	30	
2.3. frequência de 6 a 10 anos	10	
3. Cursos de atualização da equipe de auscultação		
3.1. a cada 2 anos	30	30
3.2. frequência de 2 a 4 anos	15	

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).

Logo,

equipes de auscultação:

$$30 + 40 + 30 = 100.$$

Tabela 15 - Instrumentação de Monitoramento.

Atividade	Nota Tabelaada	Nota Atribuída
1. Frequência de leituras		
1.1. 80% dos instrumentos de acordo com a ICOLD	30	30
1.2. 50% dos instrumentos de acordo com a ICOLD	20	
2. Verificação do funcionamento	30	30
3. Manutenção da instrumentação	30	30
4. Avaliação periódica da instrumentação existente		
4.1. a cada 5 anos ou menos	10	10
4.2. frequência de 5 a 10 anos	5	

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).

Logo,

instrumentação de monitoramento:

$$30 + 30 + 30 + 10 = 100.$$

Tabela 16 - Análise e Interpretação dos Resultados.

Atividade	Nota Tabelada	Nota Atribuída
1. Validade das leituras	10	10
2. Planejamento dos resultados imediata	20	20
3. Relatório de interpretação		
3.1. anual ou mais frequente	20	20
3.2. frequência de 1 a 2 anos	10	
4. Relatório histórico	5	5
5. Existência de valores de comparação	20	20
6. Reavaliação dos valores de comparação	10	5
7. Gestão computadorizada dos resultados	15	15

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).

Logo,

análise e interpretação dos resultados:

$$10 + 20 + 20 + 05 + 20 + 05 + 15 = 95.$$

Para o cálculo do Índice (INA) o autor estabelece a seguinte fórmula:

$$INA = 0,1 \times org + 0,4 \times insp + 0,2 \times equip + 0,1 \times instr + 0,2 \times análise \quad (2)$$

$$INA = 0,1 \times 100 + 0,4 \times 90 + 0,2 \times 100 + 0,1 \times 100 + 0,2 \times 95 = 95,0$$

Portanto, o INA obtido é 95,0.

Com base no método de Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005), os valores de INA devem ser classificados conforme Quadro 23.

Quadro 23 - Classificação do Nível de Auscultação.

Valor do INA	Classificação	
	Barragens importantes com potencial de risco alto	Barragens de menor importância com potencial de risco baixo
De 100 a 80	Excelente	Excelente
De 79 a 60	Bom	Muito bom
De 59 a 50	Suficiente	Bom
De 49 a 40	Insuficiente	Suficiente
Abaixo de 40	Ruim	Insuficiente

Fonte: Rosso, J. A. e Piasentin, C. (2005).

Logo, o nível de auscultação pode ser classificado como "excelente" para barragem importante com potencial de risco alto determinado pelos métodos anteriores aplicados neste trabalho.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados colhidos no capítulo 4 e em todos os resultados obtidos no capítulo 5, apresenta-se Quadro 24 resumo para análise comparativa e panorama geral das classificações atribuídas à Usina.

Quadro 24 - Quadro-resumo da Usina do estudo de caso.

5.1 LISTA DE INSPEÇÃO DO MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002).	Danos diagnosticados nas estruturas não atingem classificação alta de perigo, além de serem monitorados pelas inspeções e passarem por campanhas de manutenção.	
5.2 CLASSIFICAÇÃO BARRAGEM DA RESOLUÇÃO 696 (ANEEL, 2015).	CLASSIFICAÇÕES	
	Categoria de Risco	BAIXO
	Dano Potencial Associado	ALTO
	Barragem	CLASSE B
	EXIGÊNCIAS	
	Elaboração PAE	
	Inspeção Regular ANUAL	
	Estudo de DAM BREAK (5)	
	Revisão Periódica de Segurança a cada 7 ANOS	
5.3 CLASSIFICAÇÃO CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA DO GUIA BÁSICO DE	CLASSIFICAÇÕES	
	Perda de vida	ALGUMA
	Econômico, social e danos ambientais	DANO MODERADO
Barragem	CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA ALTA	

SEGURANÇA DE BARRAGENS	EXIGÊNCIAS
(CBGB, 1999).	Elaboração PAE
5.4 ÍNDICE DO NÍVEL DE AUSCULTAÇÃO (ROSSO, J.A. E PIASENTIN, C, 2005).	Período entre Reavaliações de 7 ANOS  O INA foi classificado como `excelente_ para a barragem com o potencial de risco definido como `alto_.

Fonte: da autora (2016).

Através dos resultados obtidos e da síntese realizada no Quadro 24, pode-se verificar que o check-list proposto pelo Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (Ministério da Integração, 2002) não identifica anomalias nas estruturas da Usina que possuam Nível de Periculosidade (NP) superior a 1. Na inspeção ocorrida em 2015, observou-se que, periodicamente, são realizadas campanhas de manutenção, tanto nos instrumentos quanto nas anomalias verificadas visualmente nas estruturas, e que todos os danos são apontados em relatórios mensais elaborados pela equipe técnica da própria Usina, utilizando como ferramenta comparativa registros fotográficos de todas as anomalias identificadas. Portanto, é importante ressaltar que para as anomalias classificadas pelo check-list com NP = 1 (máximo NP encontrado), o acompanhamento de possíveis evoluções dessas anomalias é realizado rigidamente pela equipe técnica local.

A classificação da barragem como `Classe B\_, segundo a Resolução 696 (ANEEL, 2015) exige que a Usina possua Plano de Segurança de Barragens (PSB), Plano de Ação Emergencial (PAE), Inspeção Regular anual e Periodicidade de Revisão de Segurança a cada 7 anos. É importante observar que a Usina analisada realiza suas Inspeções Regulares semestralmente, estando dentro do exigido pela ANEEL. A Revisão Periódica possui o objetivo de analisar as atualizações das técnicas adotadas na Usina e o acompanhamento da Usina com relação às novas tecnologias disponíveis no mercado.

Quanto a classificação de consequência de ruptura `Alta\_, o Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999) também exige a elaboração de PAE e a Revisão Periódica de Segurança a cada 7 anos, coincidindo com as exigências da Classificação anterior.

Por fim, o Índice de Nível de Auscultação (INA) classifica o nível da Usina em `Excelente\_, o que apresenta-se com coerência pois, apesar da classificação da Usina como

Barragem Classe B e Consequência de Ruptura Alta, o monitoramento é realizado com rigidez, especialmente nas proximidades de instrumentos que apresentaram-se como defeituosos. As medições nos equipamentos são realizadas quinzenalmente e os instrumentos defeituosos, mapeados e listados para solicitação de manutenção ou troca.

Cabe afirmar, então, que a Usina utilizada como estudo de caso mantém os procedimentos de segurança adequados e encontra-se em boas condições de manutenção e conservação de suas estruturas.

É possível prever que o zelo por métodos eficientes e detalhados de inspeção e monitoramento podem reduzir drasticamente as chances de preocupações excessivas com manutenções remediadoras e possibilidades de ruptura, elevando o fator de segurança dos projetos de barragens existentes ou em estudo para a população local e evitando grandes perdas financeiras, sociais e ambientais. Porém, a utilização de métodos complementares (Lei 12.334 (Planalto, 2010) e Resolução 696 (ANEEL, 2015) para barragens com fins energéticos como no caso abordado neste trabalho), para verificação de segurança de barragem no Brasil ainda apresenta uma abordagem muito ampla, generalizando a classificação da barragem sem levar em conta sua dimensão e materiais que a compõe, como no caso da Classificação proposta pelo Guia Básico de Segurança de Barragens (CBGB, 1999). O parâmetro que avalia a periodicidade da Revisão de Segurança e que a classifica, neste caso, para ser realizada a cada 7 anos, também precisa ser atualizado, uma vez que as técnicas e equipamentos de monitoramento, além dos métodos construtivos e alterações nos padrões climáticos que podem interferir no comportamento das estruturas da Usina, encontram-se em constante mudança. Ao ver da autora, a Revisão Periódica não deveria ser realizada com grandes intervalos e todas as classificações realizadas no trabalho deveriam analisar as características de cada barramento individualmente, não apenas por potência gerada mas por dimensões das estruturas.

O presente trabalho foi de extrema importância para o desenvolvimento de conhecimentos técnicos da autora, uma vez que proporcionou uma abordagem detalhada do tema pelo qual a mesma tem grande interesse em se especializar e com o qual já teve contato prático em período acadêmico. A associação de dados de campo do estudo de caso, parte presenciada pela própria autora, com embasamento bibliográfico contribui para que a visão, no início de aprendizado, seja agora também crítica, permitindo selecionar erros, acertos e suas consequências.





## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para próximos trabalhos seguem sugestões para melhor abordagem do tema e complementação e comparação dos dados que foram desenvolvidos neste trabalho.

- V Análise dos métodos de inspeção e monitoramento de instrumentação realizados em outros países e seus respectivos métodos para classificação de segurança de barragem, comparando-os com os métodos utilizados no Brasil e confrontando seus resultados com os obtidos neste trabalho;
- V abordagem mais completa de casos históricos de rompimento de barragens no mundo e os impactos que causaram;
- V referência aos últimos casos de rompimento no Brasil, especialmente da Barragem Fundão, de Mariana - MG, ocorrido em 2015, com suas consequências e causas investigadas;
- V estudo mais aprofundado do Plano de Ação Emergencial, sua estrutura, diretrizes e exigências.



## GLOSSE R IO

1 - Log boom: sistema de bloqueio de materiais flutuantes, como vegetais de grande porte ou animais mortos, através de grades que vão até o fundo da seção do rio fixadas as bordas na superfície do rio. Esse bloqueio tem como intuito impedir o entupimento das grades da tomada d'água ou danificação de outras estruturas.

2 - Rip-rap (2): técnica de proteção superficial de taludes com rochas de granulometrias específicas que exercem a estabilidade através de seu peso próprio.

3 - Piping (3) (3): erosão interna que provoca remoção de partículas do interior do solo formando vazios dentro do maciço que podem ocasionar escorregamentos superficiais ou colapsos.

4 - Carbonatação (4): consiste no carreamento de minerais do cimento presente no concreto para a superfície da estrutura através da passagem de água que atravessa a mesma.

5 - Dam-break (5): estudo de rompimento da barragem e de propagação da onda da cheia caso ocorra a ruptura.

6 - Surgência (6): brotamento de água evidente na superfície da estrutura; infiltração.

7 - Galgamento (7) (7) (7): transporte de massa de água sobre a cota de coroamento da barragem ou estrutura.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 696, 15 de Dezembro de 2015.
- ALMEIDA, A. B. de. Segurança e Risco nos Vales a Jusante de Barragens, IV Congresso da Engenharia. Lisboa, 1998.
- ALVES, Henrique R. O rompimento de barragens no Brasil e no Mundo: desastres mistos ou tecnológicos. Belo Horizonte, 2015.
- BUREAU OF RECLAMATION. Design of small dams. A water Resources Technical Publication. 1977.
- CARVALHO, David de. Barragens - Uma Introdução para Graduandos. Campinas - SP. 2011.
- CIRILO, J. A.; COELHO, M. M. L. P.; MASCARENHAS, F. C. B. (Org). Hidráulica Aplicada. 2. ed.. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens. A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI : cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens [coordenador, supervisor, MELLO, Flavio M. ; editor, PIASENTIN, C.]. Rio de Janeiro, 2011. 524 p.
- CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens. Cadastro Nacional de Barragens, 2014. Disponível em: [www.cbdb.org.br](http://www.cbdb.org.br). Acesso em: setembro, 2016.
- CBGB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Barragens de Terra UHE Marimbondo. 1982.
- CBGB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Guia Básico de Segurança de Barragens. São Paulo, 1999.
- CBGB - Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens. Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Publicação 01/96. Sdile Editora. São Paulo, 1996.
- CPRH - Agência Estadual do Meio Ambiente de Pernambuco. Norma Técnica: Medição de Vazão de Efluentes Líquidos - Escoamento Livre. Pernambuco, 2000.
- CRUZ, P. T. 100 Barragens Brasileiras: Casos históricos, materiais de construção e projeto. Oficina de Textos, São Paulo, 1996. 648p.
- ELEKTROBRÁS. Avaliação da Segurança de Barragens Existentes. Brasil, 1987.
- ELEKTROBRÁS. Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas. Brasil, 2003.

EMPREENDEDOR da Usina. Dados de Inspeção Civil. Florianópolis, 2015.

EMPREENDEDOR da Usina. Relatório de Inspeção Regular. Florianópolis, 2015.

FONSECA, Alessandra da R. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica - estudo de caso das barragens da UHE São Simão. Ouro Preto, 2003.

ICOLD - International Commission on Large Dams. Deterioration of Dams and Reservoirs. Canadá, 1983.

ICOLD - International Commission on Large Dams. Register of Dams, 2013. Disponível em: [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net). Acesso em: setembro, 2016.

JANSEN, Robert B. Dams from the beginning. Dams and Public Safety (Part 1), 1980 p. 1-57.

MENESCAL, Rogério. A segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. 2ª edição, Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO e Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília, 2002.

NUGEO. Área de concentração: Geotecnia de barragem. Ouro Preto, 2008

OLIVEIRA, Jader R. de C. Contribuição para verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra. 2008. 148f.

OLIVEIRA, JOSÉ C. de. Gestão Operacional das Barragens de Terra do Complexo Mineral das Minas de Ferro Carajás do Vale. Ouro Preto, 2014. 147p.

PASSARELLI. Andamento de Usina Hidrelétrica. Disponível em: [www.passarelli.com.br](http://www.passarelli.com.br). Acesso em: setembro, 2016.

PEREIRA, G. Magela. Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo. Oficina de Textos. 2015.

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. 3ª edição. Oficina de Textos, São Paulo, 2003, 355 p.

PLANALTO. Presidência da República. Lei 12.334, 20 de setembro de 2010.

ROSSO, J.A. e PIASENTIN, C. Critérios Usados nos Projetos de Auscultação da Barragem de Itaipu e a sua Reavaliação com Base no Desempenho da Instrumentação. CBGB - II Simpósio Sobre Instrumentação de Barragens, 2005. Volume 2, p. 33-42.

SERGIO, Ademar. Mini-curso: segurança de barragens. VI SPMCH. 2008.

SILVEIRA, J. F. A. Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento. Oficina de Textos, São Paulo, 2006, 415 p.

WORLD COMMISSION ON DAMS. Dams and Development: A New Framework For Decision-Making (The Report of the World Commission on Dams). London, UK: Earthscan Publications Ltd, 2000. p. 1-32.





## ANEXOS

ANEXO I - Lei 12.334, 2010.



ANEXO II - Resolução 696, 2015 (ANEEL)



ANEXO III - Lista de Inspeção (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2002)

## MODELO DE LISTA DE INSPEÇÃO

## DADOS GERAIS – CONDIÇÃO ATUAL

Barragem:	
Empreendimento:	
Região:	
Vistoriado por:	
Data da vistoria:	
Estado operacional da vistoria	
Superfície da água no reservatório	Ha
Armazenamento no reservatório	m <sup>3</sup>
Nível máximo de operação - cota	m
Cota máxima da superfície da água no reservatório	m
Nível máximo histórico do reservatório	m
Barramento	
Tipo	
Altura	m
Comprimento da Crista	m
Descargas	
Vertedouro	m <sup>3</sup> /s
Obras de restituição	m <sup>3</sup> /s
Canal	m <sup>3</sup> /s
Descarregador de Fundo	m <sup>3</sup> /s
Tomada D'Água	m <sup>3</sup> /s

## LISTA PARA INSPEÇÃO FORMAL DO ADE

Legenda:

SITUAÇÃO:
NA – Não Aplicável
NE – Não Existente
PV – Primeira Vez
DS – Desapareceu
DI – Diminuiu
PC – Permaneceu Constante
AU – Aumentou
NI – Não Inspeccionado (Justificar)

NÍVEL DE PERIGO: (NP) (*)
0 - Nenhum
1- Atenção
2- Alerta
3- Emergência

(\*) NÍVEL DE PERIGO:

- 0 - Nenhum: anomalia que não compromete a segurança da barragem, mas que pode ser entendida como descuido e manutenção;
- 1 - Atenção: anomalia que compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo;
- 2 - Alerta: anomalia com risco à segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema;
- 3 - Emergência: risco de ruptura iminente, situação fora de controle.

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>A. INFRAESTRUTURA OPERACIONAL</b>										
Falta de documentação sobre o açude	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de material para manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de treinamento do (indicar o órgão responsável)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Precariedade de acesso de veículos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de energia elétrica	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de sistema de comunicação eficiente	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta ou deficiência de cercas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta ou deficiência nas placas de aviso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de acompanhamento da gerência ou do (indicar o órgão responsável)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>B. BARRAGEM</b>										
<b>B.1 TALUDE DE MONTANTE</b>										
Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>B.2 COROAMENTO</b>										
Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Rachaduras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Desalinhamento do meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ameaça de lavar barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>B.3 TALUDE DE JUSANTE</b>										
Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de Proteção Granular	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta ou defeitos no revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de revência ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										



LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>B.4 REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM</b>										
Construções irregulares próximas ao leito do rio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Revências	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>B.5 INSTRUMENTAÇÃO</b>										
Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Marcos de recalque defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Medidores de nível do reservatório defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Medidores de vazão de percolação defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>C. SANGRADOURO</b>										
<b>C.1 CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO</b>										
Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Obstrução ou entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Desalinhamento dos Taludes e Muros Laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Rachaduras no Concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosões ou escorregamentos nos taludes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão na base dos canais escavados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão na área à jusante ( erosão regressiva)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Construções irregulares (aterro/ estrada, casa, cerca)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>C.2 ESTRUTURA FIXAÇÃO DA COTA DA SOLEIRA:</b>										
Rachaduras ou trincas no Concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Juntas danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>C.3 BACIA AMORTECEDORA</b>										
Defeitos no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosões ou escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Obstruções	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>C.4 MUROS LATERAIS</b>										
Rachaduras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão nos contatos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosão na fundação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>D. RESERVATÓRIO</b>										
Réguas danificadas ou faltando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Construções em áreas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Poluição por esgoto, lixo, entulho, pesticidas etc.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Desmoronamento das margens	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Existência de vegetação aquática excessiva	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Desmatamentos na área de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Presença de animais e peixes mortos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Pesca predatória	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Gado pastando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>E. TORRE DA TOMADA D'ÁGUA.</b>										
<b>E.1 ENTRADA</b>										
Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Obstrução e entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Tubulação danificada	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Registros defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de grade de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos na grade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>E.2 ACIONAMENTO</b>										
Hastes (retida no mancal, corrosão e empenamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Base dos mancais (corrosão, falta de chumbadores)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de mancais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Corrosão nos Mancais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Pedestal: chumbadores, lubrificação e pintura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de Indicador de abertura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de Volante	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>E.3 COMPORTAS</b>										
Peças fixas (corrosão, amassamento da guia, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Estrutura (corrosão, amassamento, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito das Vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito das Rodas (comporta vagão, se aplicável)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito no Ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>E.4 ESTRUTURA</b>										
Ferragem exposta na Estrutura da Torre	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de Guarda corpo na Escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração do Guarda corpo na Escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ferragem exposta na Plataforma (passadiço)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de Guarda corpo no Passadiço	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração do Guarda corpo no Passadiço	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração do Portão do Abrigo de manobra	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração da Tubulação de Aeração e By-Pass	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração da Instalação de Controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>F. CAIXA DE MONTANTE (SUBMERSÍVEL)</b>										
<b>F.1 BOCA DE ENTRADA E STOP-LOG</b>										
Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Obstrução e entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ferragem exposta na estrutura de concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deterioração no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de grade de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos na grade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Peças fixas (corrosão, amassamento da guia, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Estrutura do stop-log (corrosão, amassamento, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito no acionamento do stop-log	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito no Ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>G. GALERIA</b>										
Corrosão e vazamentos na tubulação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de abrasão ou cavitação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de fadiga ou perda de resistência	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos nas juntas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Deformação do conduto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Desalinhamento do conduto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Surgências de água no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Precariedade de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Vazamento nos Dispositivos de Controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Surgência de água junto à galeria	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Presença de pedras, lixo dentro da Galeria	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>H. ESTRUTURA DE SAÍDA</b>										
Corrosão e vazamentos na tubulação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de abrasão ou cavitação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Sinais de fadiga ou perda de resistência	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Ruídos estranhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeito nos Dispositivos de Controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta ou deficiência nas instruções de operação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Surgências de água no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Precariedade de acesso (árvores e arbustos)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Vazamento nos Dispositivos de Controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Construções irregulares	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Presença de pedras, lixo dentro da caixa de válvulas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos na cerca de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>I. MEDIDOR DE VAZÃO</b>										
Ausência da placa medidora de vazão	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Corrosão da placa	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Defeitos no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Falta de escala de leitura de vazão	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Assoreamento da câmara de medição	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										



LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								NP	CAUSA
<b>J. ESTRADAS DE ACESSO</b>										
Estado do Pavimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
Pontes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI		
<b>Comentários:</b>										

<b>K. OUTROS PROBLEMAS EXISTENTES</b>
<b>Comentários:</b>

<b>L. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES</b>
<b>Comentários:</b>

**OBSERVAÇÕES:**

A ser efetuada por pessoal devidamente treinado. Sugerir o de periodicidade: semestral ou quando observados comportamentos anormais como surgências, erosões, elevação rápida do nível da água no reservatório etc.



**Presidência da República**  
**Casa Civil**  
**Subchefia para Assuntos Jurídicos**

**LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010.**

Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

**CAPÍTULO I**

**DISPOSIÇÕES GERAIS**

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Parágrafo único. Esta Lei 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;

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.

Art. 2º Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I - barragem: qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas;

II - reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos;

III - segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;

IV - empreendedor: agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

V - órgão fiscalizador: autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência;

VI - gestão de risco: ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos;

VII - dano potencial associado à barragem: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem.

## CAPÍTULO II

### DOS OBJETIVOS

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;

II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;

III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

## CAPÍTULO III

### DOS FUNDAMENTOS E DA FISCALIZAÇÃO

Art. 4º São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

II - a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;

III - o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la;

IV - a promoção de mecanismos de participação e controle social;

V - a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais.

Art. 5º A fiscalização da segurança de barragens caberá, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama):

I - à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico, quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;

II - à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;

III - à entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos;

IV - à entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.

## CAPÍTULO IV

### DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º São instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

II - o Plano de Segurança de Barragem;

III - o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

IV - o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);

V - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

VI - o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

VII - o Relatório de Segurança de Barragens.

#### Seção I

##### Da Classificação

Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano 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.

#### Seção II

##### Do Plano de Segurança da Barragem

Art. 8º O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

I - identificação do empreendedor;

II - dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III - estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV - manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI - indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;

VIII - relatórios das inspeções de segurança;

IX - revisões periódicas de segurança.

§ 1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.

§ 2º As exigências indicadas nas inspeções periódicas de segurança da barragem deverão ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança.

Art. 9º As inspeções de segurança regular e especial terão a sua periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 1º A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil.

§ 2º A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 3º Os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

Art. 10. Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de 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.

§ 1º A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 2º A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo

empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para tanto:

- I - o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;
- II - o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
- III - a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

Art. 11. O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigí-lo sempre para a barragem classificada como de dano potencial associado alto.

Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

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

Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

### Seção III

#### Do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

Art. 13. É instituído o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional.

Parágrafo único. O SNISB compreenderá um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas.

Art. 14. São princípios básicos para o funcionamento do SNISB:

- I - descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- II - coordenação unificada do sistema;
- III - acesso a dados e informações garantido a toda a sociedade.

### Seção IV

#### Da Educação e da Comunicação

Art. 15. A PNSB deverá estabelecer programa de educação e de comunicação sobre segurança de barragem, com o objetivo de conscientizar a sociedade da importância da segurança de barragens, o qual contemplará as seguintes medidas:

I - apoio e promoção de ações descentralizadas para conscientização e desenvolvimento de conhecimento sobre segurança de barragens;

II - elaboração de material didático;

III - manutenção de sistema de divulgação sobre a segurança das barragens sob sua jurisdição;

IV - promoção de parcerias com instituições de ensino, pesquisa e associações técnicas relacionadas à engenharia de barragens e áreas afins;

V - disponibilização anual do Relatório de Segurança de Barragens.

## CAPÍTULO V

### DAS COMPETÊNCIAS

Art. 16. O órgão fiscalizador, no âmbito de suas atribuições legais, é obrigado a:

I - manter cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB;

II - exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica, por profissional habilitado pelo Sistema Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Confea) / Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Crea), dos estudos, planos, projetos, construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei;

III - exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;

IV - articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica;

V - exigir do empreendedor o cadastramento e a atualização das informações relativas à barragem no SNISB.

§ 1º O órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Sistema Nacional de Defesa Civil (Sindec) qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

§ 2º O órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens a que alude o inciso I no prazo máximo de 2 (dois) anos, a partir da data de publicação desta Lei.

Art. 17. O empreendedor da barragem obriga-se a:

I - prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;

II - providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;

III - organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;

IV - informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;

V - manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de

## Segurança da Barragem;

VI - permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sindec ao local da barragem e à sua documentação de segurança;

VII - providenciar a elaboração e a atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;

VIII - realizar as inspeções de segurança previstas no art. 9º desta Lei;

IX - elaborar as revisões periódicas de segurança;

X - elaborar o PAE, quando exigido;

XI - manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XII - manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XIII - cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.

Parágrafo único. Para reservatórios de aproveitamento hidrelétrico, a alteração de que trata o inciso IV também deverá ser informada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

## CAPÍTULO VI

### DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 18. A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.

§ 1º A recuperação ou a desativação da barragem deverá ser objeto de projeto específico.

§ 2º Na eventualidade de omissão ou inação do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar medidas com vistas à minimização de riscos e de danos potenciais associados à segurança da barragem, devendo os custos dessa ação ser ressarcidos pelo empreendedor.

Art. 19. Os empreendedores de barragens enquadradas no parágrafo único do art. 1º terão prazo de 2 (dois) anos, contado a partir da publicação desta Lei, para submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores o relatório especificando as ações e o cronograma para a implantação do Plano de Segurança da Barragem.

Parágrafo único. Após o recebimento do relatório de que trata o **caput**, os órgãos fiscalizadores terão prazo de até 1 (um) ano para se pronunciarem.

Art. 20. O art. 35 da [Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997](#), passa a vigorar acrescido dos seguintes incisos XI, XII e XIII:

“Art. 35. ....

.....

**XI** - zelar pela implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens



(PNSB);

XII - estabelecer diretrizes para implementação da PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

XIII - apreciar o Relatório de Segurança de Barragens, fazendo, se necessário, recomendações para melhoria da segurança das obras, bem como encaminhá-lo ao Congresso Nacional.” (NR)

Art. 21. O **caput** do art. 4º da [Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000](#), passa a vigorar acrescido dos seguintes incisos XX, XXI e XXII:

“Art. 4º .....

.....

[XX](#) - organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

XXI - promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens;

XXII - coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens e encaminhá-lo, anualmente, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de forma consolidada.

.....” (NR)

Art. 22. O descumprimento dos dispositivos desta Lei sujeita os infratores às penalidades estabelecidas na legislação pertinente.

Art. 23. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 20 de setembro de 2010; 189º da Independência e 122º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

*Mauro Barbosa da Silva*

*Márcio Pereira Zimmermann*

*José Machado*

*João Reis Santana Filho*

**Este texto não substitui o publicado no DOU de 21.9.2010**



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 696, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2015

Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

Voto

Anexos

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com a deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto nos Art. 7º, 8º, 9º, 10 e 12 da Lei nº. 12.334, de 20 de setembro de 2010, e o que consta do Processo nº 48500.002920/2015-42, resolve:

CAPÍTULO I  
DO OBJETIVO E DAS DEFINIÇÕES

Art. 1º Estabelecer critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL, de acordo com o que determina a Lei nº. 12.334, de 20 de setembro de 2010.

Parágrafo único. Esta Resolução aplica-se a barragens fiscalizadas pela ANEEL que apresentem qualquer uma destas características:

I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 metros;

II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup>; e

III – categoria de dano potencial médio ou alto, conforme definição do art. 3º.

Art. 2º Para os fins desta Resolução, definem-se:

I – barragem: obstrução artificial de curso d'água que vise à exploração de potencial de energia hidráulica, compreendendo-se do barramento e demais estruturas associadas;

II – barragens fiscalizadas pela ANEEL: barragens objeto de outorga para exploração de potencial de energia hidráulica;

III – usinas novas: usinas hidrelétricas cuja operação comercial da primeira unidade geradora ocorrer após a publicação desta Resolução;

IV – usinas existentes: usinas hidrelétricas cuja operação comercial da primeira unidade geradora ocorrer em data anterior a de publicação desta Resolução;

V – reservatório: acúmulo artificial de água decorrente da construção da barragem;

VI – anomalia: deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa a vir a afetar a segurança da barragem;

VII – empreendedor: concessionário ou autorizado de uso de bem público responsável pela implantação e exploração das instalações de geração de energia hidráulica de que trata o respectivo ato de outorga, ou detentor de registro para fins de exploração de potencial de energia hidráulica; e

VIII – responsável técnico: engenheiro ou equipe multidisciplinar com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA e atribuições profissionais compatíveis com as de projeto, construção, operação ou manutenção de barragens, segundo critérios definidos pelo Conselho Federal de Engenharia e Agronomia – CONFEA.

## CAPÍTULO II DA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

Art. 3º As barragens fiscalizadas pela ANEEL serão classificadas em classes, segundo categoria de risco, dano potencial associado e volume do correspondente reservatório, em acordo com a matriz de classificação disposta no Anexo I.

§ 1º Os critérios que subsidiarão a classificação da barragem na respectiva classe são os dispostos no Anexo II.

§ 2º Quando houver mais de uma estrutura de barramento em um mesmo empreendimento, os critérios considerados para a barragem de maior pontuação deverão ser estendidos às demais estruturas.

§ 3º A área de abrangência para avaliação do Dano Potencial Associado (Anexo II.2) deverá compreender as barragens de jusante que disponham de capacidade para amortecimento da cheia associada ao rompimento.

Art. 4º Para usinas existentes, o empreendedor deve encaminhar classificação das barragens sob sua responsabilidade em até seis meses contados a partir da publicação desta Resolução.

Parágrafo único. Para usinas novas, a classificação a que se refere o *caput* deve ser encaminhada até o início da operação comercial da primeira unidade geradora.

Art. 5º A ANEEL publicará relatório de classificação das barragens fiscalizadas em até seis meses contados a partir do término de cada ciclo de classificação.

§ 1º O ciclo de classificação tem periodicidade anual e iniciar-se-á no primeiro dia útil do mês de novembro.

§ 2º O empreendedor poderá solicitar revisão da classificação a que se refere o *caput*, devendo, para tanto, apresentar estudo comprobatório.

§ 3º Caso o empreendedor não apresente informações sobre determinado critério especificado no Anexo II, a ANEEL aplicar-lhe-á a pontuação máxima.

### CAPÍTULO III DO PLANO DE SEGURANÇA

#### SEÇÃO I DA ESTRUTURA E DOS PRAZOS

Art. 6º A elaboração do Plano de Segurança compete ao empreendedor, devendo ser conduzida pelo responsável técnico e conter minimamente as informações dispostas no art. 8º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

§ 1º A extensão e detalhamento do Plano de Segurança deverão ser proporcionais à complexidade da barragem e suficientes para garantir as condições adequadas de segurança.

§ 2º Para barragens classificadas como A ou B, deverá ser elaborado estudo de rompimento e de propagação da cheia associada.

§ 3º A área de abrangência dos estudos de que trata o §2º deverá compreender as barragens de jusante que disponham de capacidade para amortecimento da cheia associada.

§ 3º Para atendimento ao disposto nos §§ 2º e 3º, os empreendedores poderão articular-se visando à elaboração de estudo comum.

Art. 7º Para usinas existentes, a elaboração do Plano de Segurança deve observar os limites final e intermediário dispostos na tabela a seguir, contados da data de publicação desta Resolução:

Número de usinas por empreendedor	Prazos para elaboração do Plano de Segurança de barragens	
	Prazos intermediários	Prazo limite
Até 5		até 2 anos
De 6 a 15	7 barragens em até 2 anos	até 3 anos
Mais do que 15	10 barragens em até 3 anos	até 4 anos

§ 1º A ordem de elaboração de que trata o *caput* deve observar os critérios de classificação de barragens constante da matriz do Anexo I, segundo sequencia decrescente de dano potencial associado e categoria de risco.

§ 2º Barragens classificadas como “A” devem ter seus Planos de Segurança elaborados em até um ano, independentemente do número de usinas por empreendedor.

§ 3º Para usinas novas, a elaboração do Plano de Segurança deverá ser realizada até o início da operação comercial da primeira unidade geradora.

#### SEÇÃO II

## DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA

Art. 8º As inspeções de segurança serão classificadas em regular e especial, sendo que o Plano de Segurança deverá ser atualizado em decorrência de suas exigências e recomendações.

Parágrafo único. O empreendedor deverá cumprir as recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança.

### SUBSEÇÃO I DA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR

Art. 9º A inspeção de segurança regular será realizada por equipe de Segurança de Barragem, composta de profissionais treinados e capacitados e deverá abranger todas as estruturas de barramento do empreendimento e retratar suas condições de segurança, conservação e operação.

§ 1º É de responsabilidade do empreendedor adotar os procedimentos que julgar convenientes para a inspeção de segurança regular, observadas as particularidades, complexidade e características técnicas do empreendimento.

§ 2º Os relatórios de inspeção de segurança regular deverão conter minimamente estas informações:

I – identificação do representante legal do empreendedor;

II – identificação do responsável técnico;

III – avaliação da instrumentação disponível na barragem, indicando necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;

IV – avaliação de anomalias que acarretem em mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem;

V – comparativo com inspeção de segurança regular anterior;

VI – diagnóstico do nível de segurança da barragem, de acordo com estas categorias:

a) normal: quando não houver anomalias ou as que existirem não comprometerem a segurança da barragem, mas que devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;

b) atenção: quando as anomalias não comprometerem a segurança da barragem no curto prazo, mas exigirem monitoramento, controle ou reparo ao decurso do tempo;

c) alerta: quando as anomalias representem risco à segurança da barragem, exigindo providências para manutenção das condições de segurança; e

d) emergência: quando as anomalias representem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

VII – indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

§ 3º Caso a barragem não atenda aos requisitos de segurança deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar à ANEEL as providências a serem adotadas.

Art. 10. As inspeções de segurança regular deverão ser realizadas sempre que houver alteração do nível de segurança da barragem, observada a periodicidade limite disposta abaixo.

	Classe da Barragem		
	A	B	C
Periodicidade	6 meses	1 ano	2 anos

§ 1º A disposição contida no *caput* não exige o empreendedor de exercer monitoramento contínuo e sistemático da barragem.

§ 2º Para usinas existentes, a primeira inspeção de segurança regular deverá ser realizada segundo os limites final e intermediário dispostos no art. 7º.

§ 3º Para usinas novas, a primeira inspeção de segurança regular deverá ser realizada até o início da operação comercial da primeira unidade geradora.

## SUBSEÇÃO II DA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA ESPECIAL

Art. 11. A inspeção de segurança especial visa a manter ou restabelecer o nível de segurança da barragem à categoria normal e deverá ser realizada mediante constituição de equipe multidisciplinar de especialistas, substitutivamente à Inspeção de Segurança Regular, sempre que o nível de segurança do barramento estiver nas categorias definidas nas alíneas *c* ou *d* do inciso VI do art. 9º.

§ 1º A inspeção especial também deve ser realizada após ocorrência de evento excepcional (abalo sísmico, galgamento, cheia ou operação hidráulica do reservatório em condições excepcionais).

§ 2º A ANEEL poderá demandar realização de inspeção de segurança especial a partir de denúncia fundamentada, de resultado de fiscalização desempenhada em campo ou de recebimento de comunicado de ocorrência feito pelo próprio empreendedor.

Art. 12. O conteúdo mínimo da inspeção de segurança especial é o mesmo disposto no § 2º do art. 9º, tendo como referência o evento motivador.

## SEÇÃO III DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

Art. 13. O Plano de Ação de Emergência – PAE é parte integrante do Plano de Segurança e estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor, na hipótese do nível de segurança da barragem enquadrar-se na categoria prevista na alínea *d* do inciso VI do art. 9º.

§ 1º O PAE constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B segundo a matriz do Anexo I.

§ 2º A ANEEL poderá exigir do empreendedor elaboração do PAE sempre que considerá-lo necessário, independentemente da classificação da barragem, mediante fundamentação.

§ 3º A elaboração do PAE compete ao empreendedor, devendo ser conduzida pelo responsável técnico e contemplar, minimamente, os dispositivos previstos no art. 12 da Lei nº. 12.334, de 20 de setembro de 2010.

§ 4º Os prazos e critérios para a elaboração do PAE são os mesmos do art. 7º.

§ 5º O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado aos organismos de defesa civil.

#### SEÇÃO IV DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA

Art. 14. A Revisão Periódica de Segurança – RPS tem o objetivo de diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, levando-se em conta o avanço tecnológico, a atualização de informações hidrológicas na respectiva bacia hidrográfica, de critérios de projeto e de condições de uso e ocupação do solo a montante e a jusante do empreendimento.

Art. 15. A RPS deve indicar as medidas a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, além do conteúdo mínimo disposto no art. 8º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, os itens elencados no § 2º do art. 10 dessa mesma Lei.

Art. 16. A elaboração da RPS compete ao empreendedor e deverá ser conduzida pelo responsável técnico.

Art. 17. Para usinas existentes, a periodicidade de realização da RPS será definida de acordo com a classe da barragem, observado o interstício máximo disposto abaixo, contado a partir da publicação desta Resolução.

	Classe da Barragem		
	A	B	C
Periodicidade	5 anos	7 anos	10 anos

Parágrafo único. Para usinas novas, a RPS deverá ocorrer até o quinto ano desde o primeiro enchimento do reservatório, independentemente de sua classificação.

#### CAPÍTULO IV DAS DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 18. O empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la.

§1º O empreendedor obriga-se a prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem.



§2º As ações conduzidas pelo responsável técnico deverão ter recolhimento de anotação de responsabilidade técnica – ART específica ou de cargo e função.

Art. 19. O Plano de Segurança deverá ser atualizado em função dos resultados das inspeções regulares e especiais, da RPS, de alterações de características técnicas da barragem ou de observações decorrentes das atividades de operação, monitoramento e manutenção.

Art. 20. O empreendedor deve atualizar as informações relativas à barragem a cada ciclo de classificação promovido pela ANEEL.

Parágrafo único. Os documentos de que trata esta resolução devem estar disponíveis para fiscalização da ANEEL a qualquer tempo.

Art. 21. A ANEEL informará à Agência Nacional de Águas – ANA e ao Sistema Nacional de Defesa Civil – Sindec qualquer acidente ocorrido ou não conformidade que implique risco imediato à segurança de barragem.

Art. 22. Para usinas novas cujo prazo de entrada em operação da primeira unidade geradora seja inferior aos prazos constantes dos caputs dos artigos 4º, 7º e 10º, contados a partir da publicação desta Resolução, os empreendedores deverão atender aos prazos estabelecidos nos respectivos caputs.

Art. 23. A íntegra desta Resolução e seus Anexos constam dos autos e estarão disponíveis em [www.aneel.gov.br/biblioteca](http://www.aneel.gov.br/biblioteca).

Art. 24. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ROMEU DONIZETE RUFINO

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 22.12.2015, seção 1, p. 228, v. 152, n. 244 e o retificado no D.O. de 25.02.2016.

ANEXO I  
MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

	<b>Dano potencial associado</b>		
<b>Categoria de Risco</b>	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
<b>Alto</b>	A	B	B
<b>Médio</b>	B	C	C
<b>Baixo</b>	B	C	C

**ANEXO II**  
**CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS**

**MATRIZ PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA**

<b>NOME DA BARRAGEM</b>	
<b>NOME DO EMPREENDEDOR</b>	
<b>DATA:</b>	

<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>		<b>Pontos</b>
1	Características Técnicas (CT)	
2	Estado de Conservação (EC)	
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
	ALTO	> = 62 ou EC* > =8 (*)
	MÉDIO	35 a 62
	BAIXO	< = 35

(\*) Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		<b>Pontos</b>
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
	ALTO	> = 16
	MÉDIO	10 < DPA < 16
	BAIXO	< = 10

**RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:**

<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / Baixo
<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	Alto / Médio / Baixo

**II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

**1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT**

<b>Altura (a)</b>	<b>Comprimento (b)</b>	<b>Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)</b>	<b>Tipo de fundação (d)</b>	<b>Idade da Barragem (e)</b>	<b>Vazão de Projeto (f)</b>	<b>Casa de Força (g)</b>
Altura ≤ 15m (0)	comprimento ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem Casa de Força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada -sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

**CT = Σ (a até g):**

**II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

**2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC**

<b>Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (h)</b>	<b>Confiabilidade das Estruturas de Adução (i)</b>	<b>Percolação (j)</b>	<b>Deformações e Recalques (k)</b>	<b>Deterioração dos Taludes / Parâmetros (l)</b>	<b>Eclusa (*) (m)</b>
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

**EC = ∑ (h até m):**

--

**II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

**3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS**

<b>Existência de documentação de projeto (n)</b>	<b>Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)</b>	<b>Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)</b>	<b>Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)</b>	<b>Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)</b>
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-

**PS =  $\sum$  (o até s):**

**II.2 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Potencial de perdas de vidas humanas (b)</b>	<b>Impacto ambiental (c)</b>	<b>Impacto sócio-econômico (d)</b>
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE ( não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO ( existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

**DPA = ∑ (a até d):**