

CENTRO UNIVERSITARIO UNIFAAT
ENGENHARIA CIVIL

BRUNARA LOPES DE ALMEIDA
CAMILA BORGES ROSENDO
DANILO DE CARVALHO DANTAS
INGRID DA COSTA SOBRINHO
RODRIGO DURÃES CARLINI

ESTUDO DE CASO DE ROMPIMENTO E PLANO DE
AÇÃO EMERGÊNCIA PARA PCH EM ATIBAIA

ATIBAIA -SP
2019

BRUNARA LOPES DE ALMEIDA
CAMILA BORGES ROSENDO
DANILO DE CARVALHO DANTAS
INGRID DA COSTA SOBRINHO
RODRIGO DURÃES CARLINI

ESTUDO DE CASO DE ROMPIMENTO E PLANO DE AÇÃO EMERGÊNCIAL
PARA PCH EM ATIBAIA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Universitário
UNIFAAT, para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Adélia Mara Massulo

ATIBAIA - SP
2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela dádiva da vida e a oportunidade que nos deu de trilharmos nossos sonhos e finalizá-los com alegria e gratidão.

Aos nossos pais e familiares, que desde o início do curso nos encorajaram a não desistir, mesmo em meio as dificuldades nos impulsionaram a continuar, pois o final faria valer a pena.

A nossa querida orientadora, professora mestra Adélia Massulo, por todo empenho e dedicação e pela oportunidade de trabalhar com um tema de suma importância para a sociedade.

A Prefeitura da Estancia de Atibaia, em especial à Fernanda Fontes pela disposição para conversarmos e conhecermos mais sobre a PCH de Atibaia, contando-nos um pouco de sua história e administração.

A Defesa Civil de Atibaia, pelas explicações de muita valia do Engenheiro Sr.Thiago e pelo acompanhamento na visita da PCH, nos explicando a sua forma de funcionamento e o trabalho que eles desenvolvem para a sua manutenção.

A UNIFAAT, todos os professores, coordenadores e assistentes em geral, por todos os anos acadêmicos, pois sabemos que para chegarmos aqui, toda essa equipe trabalhou de forma justa para melhor nos atender, sempre nos dando o suporte devido e nos auxiliando em nossa jornada estudantil.

Aos nossos amigos de turma, por compartilharem conosco aprendizados e conquistas, pelo apoio e por proporcionarem uma jornada muito mais prazerosa.

Por fim a todos os integrantes do grupo, que trabalharam de forma integra, correta e esforçada, para que esse estudo pudesse alcançar a expectativa de todos e auxiliar todo corpo acadêmico e o município de Atibaia.

A todos, os nossos sinceros agradecimentos.

RESUMO

O potencial hídrico no Brasil tem sido por décadas o principal recurso natural fornecedor de energia, fonte base para as agriculturas e parques industriais. Por esse motivo, o homem viu a possibilidade de tornar esse potencial presente em várias áreas com o represamento de águas em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), mas o que não se esperava é que o desenvolvimento desse empreendimento pudesse trazer danos e riscos ao ambiente e a população civil. Logo, em 2010, criou-se a lei Federal N° 12.334, estabelecendo uma Política Nacional de Segurança de Barragens, determinando que a ANA (Agência Nacional de Águas) realize relatórios anuais sobre a segurança das barragens. Devido aos últimos acontecimentos de ruptura das barragens de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), este trabalho desenvolveu-se através do estudo e análise da PCH de Atibaia-SP quanto ao seu estado de conservação, plano de segurança da barragem e dano potencial que uma possível ruptura pode ocasionar, determinando assim sua categoria de risco. Realizado então o estudo análise da PCH de Atibaia-SP, desenvolveu-se um PAE, Plano de Ação Emergencial, o qual orienta e descreve as ações específicas a serem tomadas no caso de uma possível ruptura ou em situações emergenciais com potencial de ruptura, a fim de minimizar os danos sociais e ambientais e salvar as vidas dos residentes locais.

Palavras-Chave: PCH's, estudo de barragens, Plano emergencial de segurança, politica de barragens, segurança de barragens.

ABSTRACT

The water reserve in Brazil has been for decades the main natural resource power supplier, base source to the agriculture and industrial parks. Because of this, the man found the possibility to make real this reserve in many areas through the dam of water in Smalls Hydroelectric Plants (PCH's), but what wasn't expected is that the development of this enterprise could bring damages and dangers to the environment and civil population. So, in 2010, the Federal Law N° 12.334 was created, establishing a National Dam Safety Policy, determining ANA (Agência Nacional de Águas) to accomplish annual reports about the dam's safety. Because of the lasts happenings of the dams break in Mariana (2015) and Brumadinho (2019), this term paper was developed through the study and analysis of the Atibaia's PCH (in the state of São Paulo) as to its state of conservation, dam safety plan and potential damage that a possible break may cause, thus determining its risk category. Accomplished the study and analysis of the Atibaia's PCH, was developed an Emergency Action Plan (PAE), which guides and describes the specific actions to be done in case of a possible break or in an emergency situation with the potential of a break, in order to minimize the socials and environmental damages and save the local residents lives.

Keywords: PCH's, dam study, emergency safety plan, dam policy, dam safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Barragem Quatinah - Síria	15
Figura 2: Componentes Básicos de uma Barragem de Aterro Homogênea.....	16
Figura 3: Barragem de Enrocamento	17
Figura 4: Barragem de gravidade de Dona Francisca, no rio Jacuí - RS	18
Figura 5: Barragem de contrafortes de Valle Grande, no rio Atuel, San Rafael, Argentina.....	19
Figura 6: Barragem em arco de Funil sobre o Rio Paraíba	20
Figura 7: Barragens mistas	20
Figura 8: Barragem de Rejeitos	21
Figura 9: Método de alteamento à montante.....	23
Figura 10: Método construtivo à jusante.	23
Figura 11: Método de alteamento da linha de centro.	24
Figura 12: Barragem utilizada para irrigação	25
Figura 13: Açudes de criação de peixes	26
Figura 14: Componentes Básicos de um Reservatório	27
Figura 15: Casa de força e vertedouro da usina hidrelétrica de Tucuruí.....	28
Figura 16: Barragem de Apipucos, Recife - PE.....	29
Figura 17: Barragem de Cedros, Quixadá - CE	30
Figura 18: Local onde se localizava a Barragem de Sadd el-Kafara.....	31
Figura 19: Barragem de Saint Francis antes do rompimento	34
Figura 20: Barragem de Saint Francis após o rompimento	35
Figura 21: Reservatório Banqiao e Shimantan.....	36
Figura 22: Destroços após o rompimento da barragem de Mariana	36
Figura 23: Barragem de Orós Rompida	38
Figura 24: Vista parcial - Vale do Jaguaribe.....	39
Figura 25: Suprimentos para as vítimas de Orós	39
Figura 26: Embarque de Juscelino Kubitschek para Orós	40
Figura 27: Destroços em Mariana	41
Figura 28: Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica	43
Figura 29: Itaipu, a 2º maior hidrelétrica do mundo.....	46
Figura 30: Fluxograma de agentes responsáveis pela Segurança de Barragem.....	51

Figura 31: Esquema com competências de fiscalizadores e empreendedores.....	52
Figura 32: Competências da Segurança de Barragens	55
Figura 33: Fluxograma	57
Figura 34: Foto da barragem em meados da década de 1930.	61
Figura 35: Localização da Barragem.....	62
Figura 36: Estrutura de movimentação das comportas.....	63
Figura 37: Turbina danificada pela ação de vândalos.....	64
Figura 38: Detalhe do vazamento das comportas.....	64
Figura 39: Vista lateral do vazamento das comportas.....	65
Figura 40: Estrutura vertente da barragem.	65
Figura 41: Fluxograma das etapas de projeto.....	67
Figura 42: Interface do ArcMap 10.6.0 com o HEC-GeoRAS	68
Figura 43: Interface da extensão HEC-GeoRAS.....	68
Figura 44: Geometria inserida no Arcmap.....	69
Figura 45: Busca pelo MDE da área de interesse.....	70
Figura 46: Modelo digital de elevação.....	71
Figura 47: Interface do HEC-RAS 4.0.1	72
Figura 48: Geometria inserida no HEC-RAS.....	73
Figura 49: Valor resultante da vazão.....	79
Figura 50: Obtenção do valor de Normal Depth.....	80
Figura 51: Condições de contorno inseridas	80
Figura 52: Coeficientes de Manning para todas as seções.....	81
Figura 53: Tabela de seções com os coeficientes de Manning.....	82
Figura 54: Análise de fluxo.....	82
Figura 55: Mancha de inundação com elevação no HEC-RAS.....	83
Figura 56: Mancha de inundação sem elevação no HEC-RAS.....	84
Figura 57: Mancha de inundação	85
Figura 58: Principais estruturas da barragem	86
Figura 59: Organograma de emergência	96
Figura 60: Ordem de notificação do PAE	98
Figura 61: Zona de autossalvamento.....	99
Figura 62: Frente do panfleto de divulgação	101
Figura 63: Verso do panfleto de divulgação	102

Figura 64: Declaração de Início de Emergência	103
Figura 65: Declaração de Encerramento de Emergência.....	104
Figura 66: Mensagem de Notificação.....	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Quantidade média de rejeitos gerada nos processos de beneficiamento	22
Gráfico 2: Distribuição das barragens em relação ao uso principal.	24
Gráfico 3: Acidentes e Incidentes envolvendo barragens no Brasil	32
Gráfico 4: Evolução do número de acidentes e incidentes por RSB	33
Gráfico 5: Gráfico de custo de capital em função da potência	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela Classificação PCH.....	48
Tabela 2: Níveis de Resposta	57
Tabela 3: Ficha técnica da barragem.....	66
Tabela 4: Vazões máximas anuais para cada mês.....	75
Tabela 5: Vazões extremas anuais	76
Tabela 6: Vazões máximas anuais para cada mês.....	77
Tabela 7: Vazões extremas anuais	78
Tabela 8: Valores mínimos de período de retorno para projetos de barramentos ...	79
Tabela 9: Características técnicas da PCH.....	87
Tabela 10: Estado de conservação da PCH	88
Tabela 11: Plano de segurança de barragens	89
Tabela 12: Dano Potencial Associado.....	90
Tabela 13: Categoria de risco da PCH.....	91
Tabela 14: Classificação geral da PCH.....	92
Tabela 15: Providências em nível 3	94
Tabela 16: Situações Atípicas e Suas Respectivas Descrições.....	95
Tabela 17: Contatos de órgãos internos e externos.....	106
Tabela 18: Contatos úteis	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAPCH – Associação Brasileira de PCH's e CGH's
ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
APP – Área de Preservação Permanente
BBP – Brazilian Business Park
BNB – Banco do Nordeste
CBDB – Comissão Brasileira de Barragens
CCR – Concreto Compactado com Rolo
CERAN – Companhia Energética Rio das Antas
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens
CMADS – Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COE – Comitê Operativo de Emergência
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz
CRI – Categoria de Risco
DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DPA – Dano Potencial Associado
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MDE – Modelo Digital de Elevação
PAE – Plano de Ação Emergencial
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SNISB – Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

UTM – Universal Transversa de Mercator

ZAS – Zona de Autossalvamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo geral	14
1.2.1 Objetivos específicos.....	14
2. BARRAGENS.....	15
2.1 O que são barragens	15
2.1.1 Tipos de barragens	21
2.1.2 Histórico de barragens no Brasil e no mundo	28
2.1.3 Acidentes envolvendo barragens	31
2.1.3.1 O colapso da barragem de Orós	37
2.1.4 Danos causados por rompimentos.....	40
2.2 O uso de barragens para a geração de energia elétrica	42
2.2.1 Pequenas centrais hidrelétricas.....	46
2.2.2 Impactos causados pela implantação de PCH's.....	48
2.3 Política Nacional de Segurança de Barragens	51
2.3.1 Plano de ação emergencial nacional	54
2.4 Estudos de rompimentos de barragens.....	58
3. ESTUDO DE CASO PCH ATIBAIA	61
3.1 Mapa de inundação.....	66
3.2 Classificação da PCH Atibaia segundo a ANA	86
4. PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL	93
4.1 Empreendedor e responsáveis	93
4.1.1 Coordenador e equipe técnica	93
4.2 Identificação e análise de possíveis situações de emergência	94
4.3 Procedimento de identificação de possível ruptura	95
4.4 Prevenção em situações de emergência	96

4.5	Notificação, alerta e fluxograma	97
4.5.1	Fluxograma de notificação em caso de contingência.....	97
4.5.2	Zona de Autossalvamento	98
4.5.3	Sistema da Defesa Civil	99
4.6	Treinamento, divulgação e documentação.....	100
4.6.1	Formulários.....	103
4.6.2	Contatos	106
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
6.	REFERÊNCIAS.....	109
7.	ANEXOS	118
7.1	Anexo A – Autorização Thiago Franco (Engenheiro da Defesa Civil)	118
7.2	Anexo B – Autorização Fernanda Fontes (Assistente em serviços de fiscalização).....	120

1. INTRODUÇÃO

A expansão populacional e econômica que vem acontecendo no mundo nas últimas décadas tem contribuído para que o consumo e conseqüentemente a demanda de energia elétrica e outros itens essenciais para a sobrevivência do ser humano, como a água, por exemplo, sejam cada dia maiores. Por conta desse fato, os órgãos públicos e privados têm investido cada vez mais em empreendimentos para suprir essa necessidade, as barragens são um forte exemplo disso, apesar de já serem construídas há milhares de anos é possível observar que houve um grande crescimento de suas construções, hidrelétricas, barragens de armazenamento de água, barragens de rejeitos de minérios, entre outras, mas não apenas suas construções ficaram evidentes, como também o crescimento dos acidentes envolvendo as mesmas.

Juntamente com os rompimentos recentes de Mariana e Brumadinho (MG), vieram as preocupações da população, e o governo passou a estabelecer mais rigidez em relação à legislação de barragens, e até mesmo criar novas leis e emendas para que a fiscalização seja mais eficaz, pois somente assim será possível identificar alguma anomalia, prevenir e minimizar os danos em caso de acidentes, já que a tecnologia ainda não foi capaz de criar instrumentos que evitem de fato um rompimento.

Uma das maneiras estipuladas para minimizar danos em caso de rompimento é o Plano de Ação Emergencial, também conhecido como PAE. A lei n. 12334/10 trata do Plano de Segurança de Barragens em que o PAE está introduzido. O Plano deve ser elaborado de forma clara e objetiva e ainda divulgado corretamente para que a população envolvida em um possível rompimento esteja preparada.

O objeto principal deste estudo é a PCH de Atibaia, que está introduzida em uma área em que há uma quantidade considerável de residências, o que evidencia que é de suma importância a população estar preparada para um acidente que envolva a barragem da PCH.

Diante desse contexto o que se pode fazer em relação à PCH? O empreendedor responsável possui um plano de segurança de barragem? Quais medidas podem ser tomadas?

1.1 Justificativa

O presente trabalho tem por principal característica desenvolver um estudo de caso em uma possível situação de rompimento da barragem de água da Pequena Central Hidrelétrica de Atibaia. Por conta dos últimos acontecimentos envolvendo as barragens de rejeitos de minérios em Mariana e Brumadinho (MG), em que houve no total mais de 200 mortes confirmadas e centenas de pessoas desabrigadas, o assunto tornou-se mais evidente trazendo atenção em relação à segurança de todas as barragens do território nacional, seja ela de água ou minério.

Por mais que a precaução acerca das barragens esteja em alta, vários pequenos acidentes ou incidentes envolvendo um açude ou barragem acontecem. Na Bahia, em julho de 2019, após o rompimento de dois açudes menores, a barragem do Quati se rompeu, deixando cerca de 500 desalojados. Dessa forma pode-se pensar em quantos incidentes acontecem no país e até mesmo no mundo e que não ficamos sabendo por que a mídia não se noticia da forma que deveria.

Em fevereiro de 2019 a Agência Nacional de Águas (ANA) divulgou uma nota priorizando 52 barragens para vistorias in loco, incluindo a barragem da Usina em Atibaia, o que foi realizado no início de março. Nessa mesma nota, a ANA também divulgou uma pré-análise em que descreve que a barragem possui Categoria de Risco (CRI) médio, entretanto, em caso de rompimento há um Dano Potencial Associado (DPA) alto.

Levando em consideração o risco que a Pequena Central Hidrelétrica representa para a região, fez-se necessário ter o conhecimento sobre órgão responsável pela manutenção da barragem, que no caso é a Prefeitura da Estância de Atibaia, e pelo fato do atual empreendedor não apresentar nenhuma estratégia ou plano de emergência, justifica-se a elaboração de um Plano de Ação Emergencial (PAE), conforme o exigido pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Visando realizar um estudo em que a população seja menos prejudicada em um possível rompimento, será feita uma análise de toda a rota que a água percorreria desde a represa até seu desague no rio Atibaia, estudando a geografia local. Também considerando o tempo que todo esse processo levaria, para que seja possível a realização do PAE.

1.2 Objetivo geral

Estudar as possibilidades e os riscos de rompimento da barragem da Pequena Central Hidrelétrica localizada no município de Atibaia, com foco no plano de ação e impactos que podem causar o possível rompimento.

1.2.1 Objetivos específicos

A partir dos estudos feitos, iremos realizar pesquisas de campo para atingir os passos mais específicos, que são:

- Realizar pesquisas sobre PCH e suas características;
- Recolher dados e especificações técnicas da barragem em estudo com os órgãos competentes;
- Identificar os riscos de rompimento e sua influência em meio a população local e sociedade;
- Elaborar um Plano de Ação Emergencial dentro do exigido pela ANA.

2. BARRAGENS

2.1 O que são barragens

A milhares de anos atrás o homem já sabia que a água era necessária para a sobrevivência e crescimento, por isso as primeiras civilizações se alocaram em beiras de rios e lagos, mas com o passar dos anos a população foi aumentando e a demanda de água conseqüentemente também, foi então que surgiram os primeiros reservatórios artificiais para coletar e armazenar a água (CIGB, 2008). Segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens, através de descobertas arqueológicas, as primeiras barragens são datadas de até 2.300 a.C. e forneciam a população local água confiável para a sobrevivência e consumo. Uma das barragens mais antigas ainda em uso está localizada na Síria, conhecida como Barragem Quatinah como mostra a Figura 1, e segundo estudos, foi construída em 1.300 a.C. Existem também outras muitas barragens que estão localizadas no Sri Lanka, que foram construídas no século VI a.C.

Figura 1: Barragem Quatinah - Síria



Fonte: RÉMY (2016, p. 4)

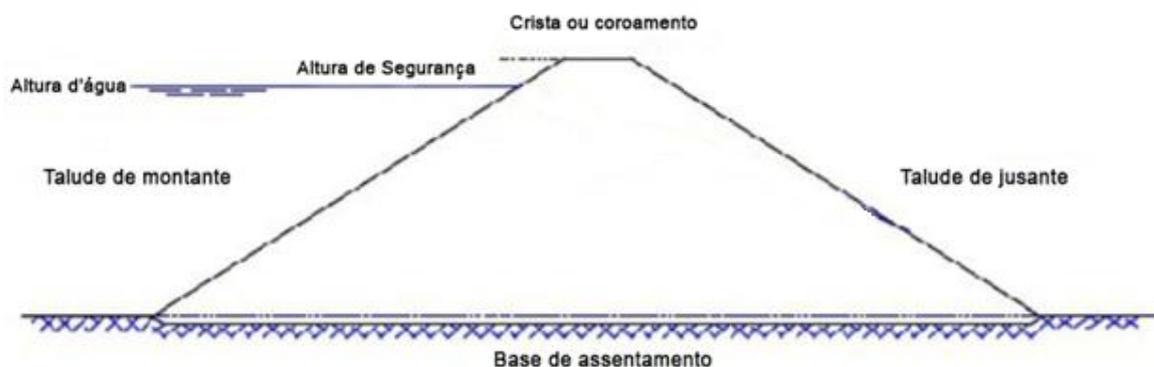
Segundo definição da Agência Nacional de Águas (ANA), as barragens, como o próprio nome já deixa a entender, são como barreiras, e consideram-se as estruturas físicas feitas artificialmente, e utilizadas para a retenção de um acúmulo de água, ou mesmo de outros materiais provenientes da mineração. Portanto qualquer estrutura que tenha como finalidade conter ou acumular substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos é considerada uma barragem.

Para que possam ter seu funcionamento adequado, as barragens necessitam de alguns elementos essenciais, como por exemplo, o reservatório, o vertedouro, estruturas de descarga e uma unidade de controle. No caso de centrais hidrelétricas também é necessário todo o aparato e instalação para gerar energia. (CIGB, 2008)

As barragens podem ser construídas de diversas maneiras, e de acordo com os seguintes autores, Marangon (2004), Costa (2012), Possan (2013) e Meirelles (2013) as mais convencionais na engenharia são:

Barragem de terra: São as mais comuns no Brasil, essas barragens são constituídas fundamentalmente de solo, como argila, areia, silte, entre outros. Prestam-se a vários tipos de fundação desde rochas mais compactas até materiais mais consolidados. Podem ser divididas em dois tipos. Homogêneas, em que é utilizado predominantemente apenas um tipo de solo. Ou zoneada, em que pode haver outros tipos de solo ou até mesmo o mesmo solo compactado em condições diferentes (MARANGON, 2004).

Figura 2: Componentes Básicos de uma Barragem de Aterro Homogênea



Fonte: Adaptado de MEIRELLES (2013, p. 11)

Barragem de enrocamento: É constituída em sua maioria por rochas compactadas que são dispostas em camadas, porém seu núcleo deve ser de material impermeável, as mais comuns são construídas com núcleo interno de argila e mais recentemente começaram-se a usar asfalto. Algumas também possuem face à montante impermeável ao invés do núcleo, podendo ser de asfalto, concreto ou até mesmo uma chapa de aço. Porém cerca de 50% é material permeável (MEIRELLES, 2013).

Figura 3: Barragem de Enrocamento



Fonte: PIASETIN (2013, p. 15)

Barragem de concreto: É o tipo mais resistente e o com menor custo de manutenção. São construídas totalmente em concreto simples, convencional ou compactado, ou podem ser realizadas em concreto armado (MARANGON, 2004). Existem algumas variações da barragem de concreto, são elas:

- Gravidade: Constituídas quase em sua totalidade por concreto maciço, com pouca armação. Podendo ser em crista ou em arco (COSTA, 2012).

Figura 4: Barragem de gravidade de Dona Francisca, no rio Jacuí - RS



Fonte: SCHNEIDER (2011, p. 17)

- Gravidade aliviada: Se assemelham as barragens de gravidade pela sua forma, que podem ser curvilíneas ou retilíneas, mas se diferem em relação à estrutura, que é um pouco mais leve, podendo utilizar 50% menos concreto, mas é necessária uma armação mais resistente (COSTA, 2012).
- Em contraforte: Tem uma estrutura ainda mais leve que a de gravidade aliviada, possui por característica principal concentrar seus esforços em uma pequena área da fundação, semelhantes a pilares, os contrafortes recebem todo o esforço e o descarregam na fundação (COSTA, 2012).

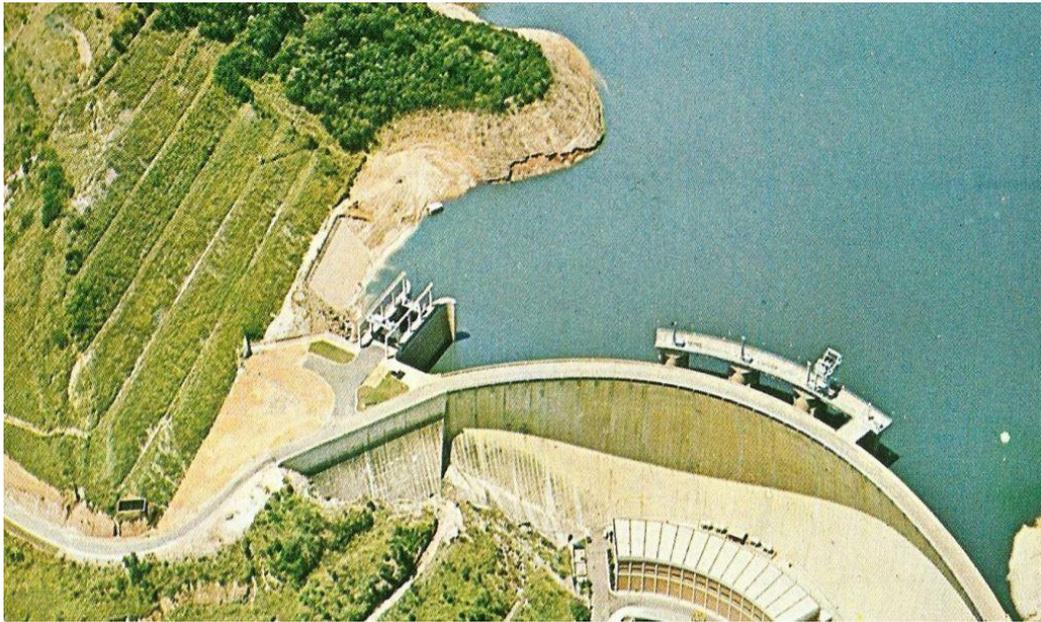
Figura 5: Barragem de contrafortes de Valle Grande, no rio Atuel, San Rafael, Argentina



Fonte: SCHNEIDER (2011, p. 18)

- Concreto compactado: Consideradas como barragens de gravidade, se diferem no fato de que o concreto utilizado é o CCR (Concreto Compactado com Rolo), que é uma mistura de concreto com níveis menores de água/cimento espalhados por trator de esteira e compactado a rolo. Porém a estanqueidade é garantida com o auxílio de uma camada de concreto convencional (COSTA, 2012).
- Abóboda: Também conhecidas por barragem em arco, podem ser construídas com concreto armado ou em massa, geralmente utilizada em vales em que o apoio do arco são mais rígidos e maciços, na maioria das vezes isso é possível em vales mais estreitos. Sua curvatura ocorre tanto na horizontal quanto na vertical (POSSAN, 2013).

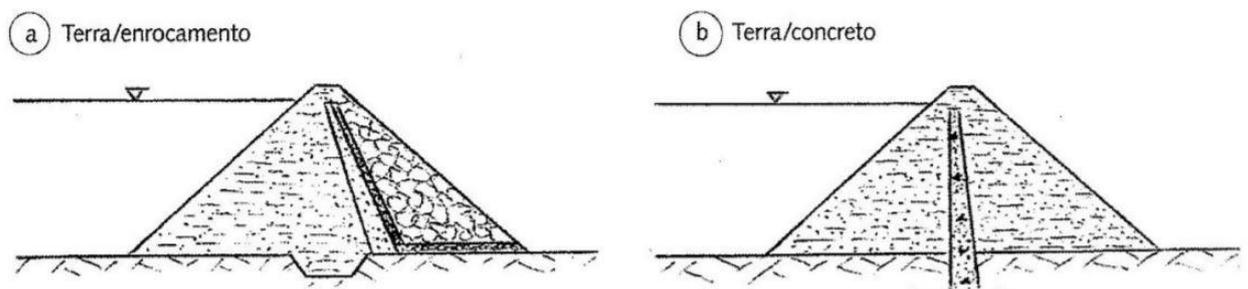
Figura 6: Barragem em arco de Funil sobre o Rio Paraíba



Fonte: PIASETIN (2013, p. 16)

Barragem mista: Como o próprio nome já deixa a entender, uma barragem mista é a mistura de dois métodos de construção, podendo ser constituída por terra/enrocamento, terra/concreto e enrocamento/ concreto. Porém não são consideradas mistas as barragens que possuem o corpo principal de terra ou enrocamento e o vertedouro de concreto, apenas as barragens com dois trechos de construção distintos (COSTA, 2012).

Figura 7: Barragens mistas



Fonte: COSTA (2012, p. 27)

2.1.1 Tipos de barragens

Existem atualmente alguns tipos de barragens, para diferentes finalidades conforme diz Piasetin (2013), sendo elas para a produção de energia elétrica, armazenamento de água, entre outros.

Com os acidentes envolvendo as barragens de rejeitos de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), o assunto voltou a ficar em evidência no Brasil e no mundo, não apenas com as barragens de rejeitos como todos os tipos de barragens existentes, e de como elas oferecem riscos a população.

Segundo dados da ANA (2017) o Brasil conta com cerca de 24 mil barragens cadastradas espalhadas pelo país, sendo 790 delas utilizadas para a contenção de rejeitos de minério.

Uma barragem de rejeitos segundo definição da Samarco é onde são depositados os materiais restantes do processo de mineração, quando se separa o minério da rocha se sobra uma mistura de água e sólidos do minério, semelhante a uma polpa. Conforme Soares (2010), essa polpa é composta por uma porcentagem de sólidos que variam de 15% a 55% e é muito abrasiva. Seu transporte geralmente é feito por meio de calhas que são dispostas de forma que a topografia do local seja utilizada para que o material seja levado por gravidade até a barragem.

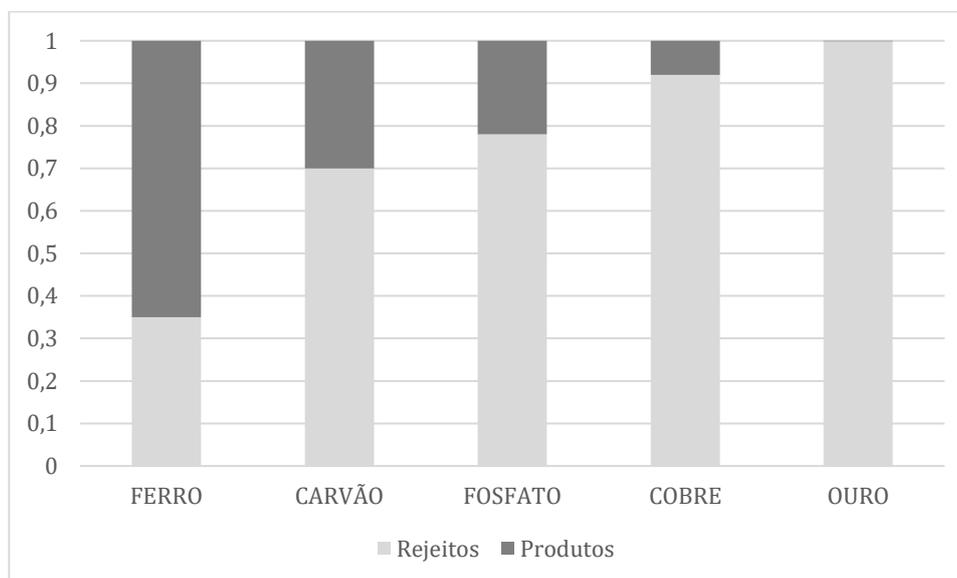
Figura 8: Barragem de Rejeitos



Fonte: Divulgação VALE

Qualquer que seja o processo de mineração, ele vai gerar rejeitos, porém alguns mais que outros. O rejeito não tem valor econômico, ele apenas é armazenado por conta das políticas ambientais (RAFAEL, 2012). Segundo Soares (2010) a porcentagem do aproveitamento do minério pode muitas vezes ser inferior aos rejeitos produzidos, como se observa no Gráfico 1, onde está ilustrada as quantidades médias de material e rejeitos que são gerados no processo de extração de alguns dos minérios mais comuns. No gráfico foi demonstrada, a cada tonelada de material extraído, a quantidade de minério e de rejeitos.

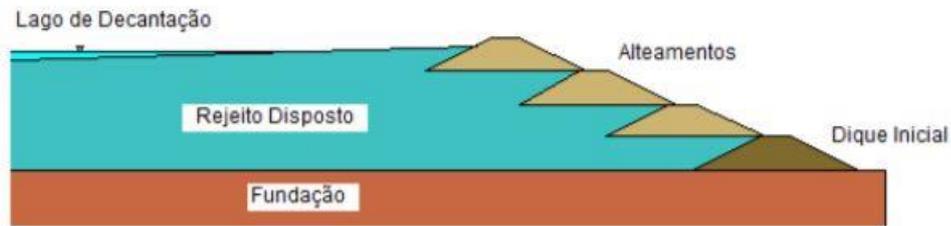
Gráfico 1: Quantidade média de rejeitos gerada nos processos de beneficiamento



Fonte: SOARES (2010, p. 831)

As características construtivas de uma barragem de rejeitos podem variar, segundo Soares (2010), do método à montante, à jusante e método da linha de centro. Geralmente são construídas com terra ou pelos próprios rejeitos. O método à montante consiste em um dique de partida localizado na base da barragem, e após isso os próximos diques são realizados com o próprio rejeito, onde são depositados na crista do dique anterior. Apesar do seu menor custo de construção a maioria dos acidentes envolvendo barragens de rejeitos são as construídas com esse método.

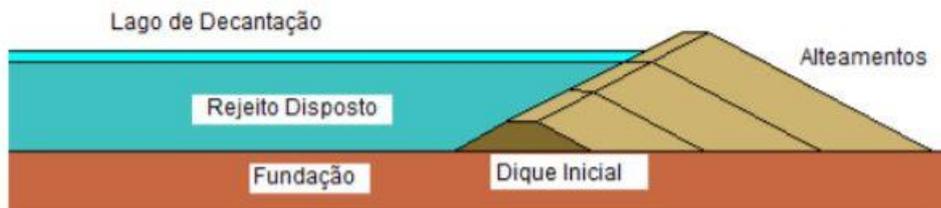
Figura 9: Método de alteamento à montante.



Fonte: RAFAEL (2012, p. 31)

Já o método à jusante se difere pelo fato de que cada dique é independente do dique anterior e são construídos à jusante do local onde os rejeitos são depositados, conforme exemplifica a figura 10. Também é necessário um dique inicial, porém este é feito com um material impermeável e com dispositivos de drenagem interna. O uso dos rejeitos na construção também ocorre, mas utilizam-se apenas os mais grossos (SOARES, 2010).

Figura 10: Método construtivo à jusante.



Fonte: RAFAEL (2012, p. 32)

Segundo Rafael (2012) pode-se dizer que o método linha de centro é uma forma intermediária entre os outros dois métodos citados anteriormente. Ele alia uma forma de construção que necessita de menos aterro que o método à jusante, mas ainda é mais estável que o método à montante. Há o dique inicial como nos outros, e a disposição dos próximos diques também é pela crista assim como no método à montante, porém o eixo de todos os diques permanece o mesmo. Como se vê na figura 11.

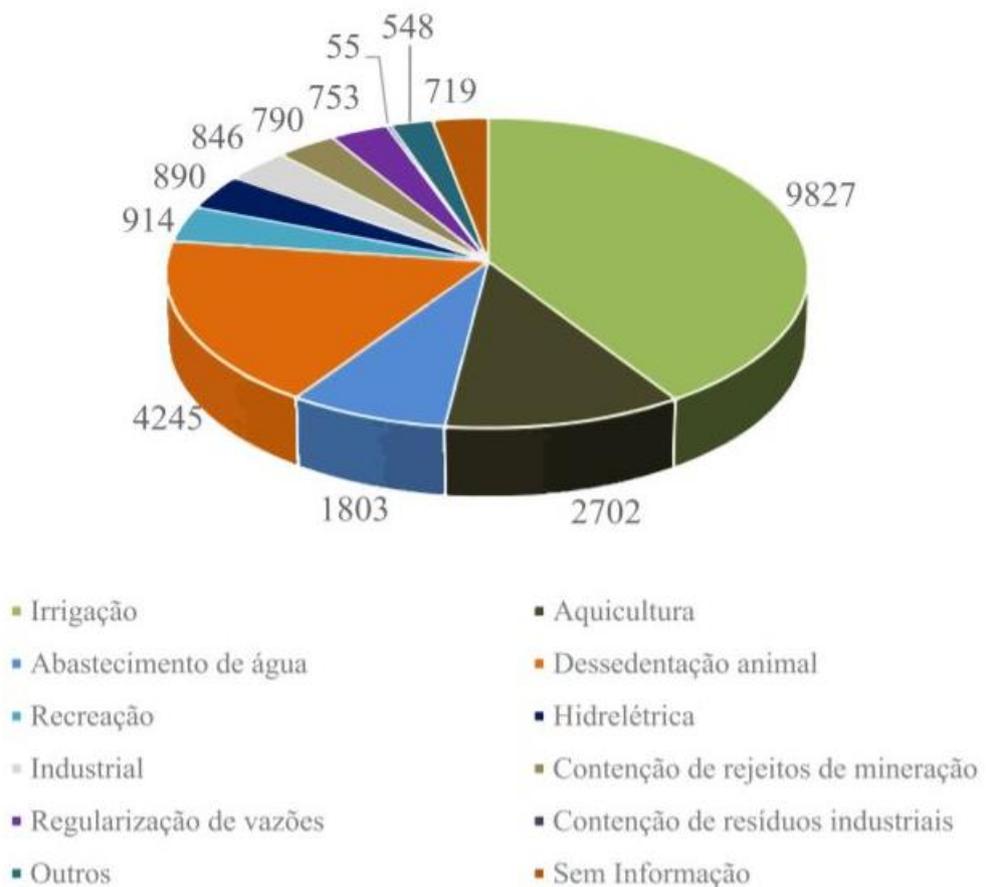
Figura 11: Método de alteamento da linha de centro.



Fonte: RAFAEL (2012, p. 32)

Das 24.092 barragens cadastradas na ANA até 2017 a maioria delas são de utilização para irrigação na agricultura, o Gráfico 2 mostra todas as barragens e suas funções.

Gráfico 2: Distribuição das barragens em relação ao uso principal.



Fonte: ANA, Relatório de Segurança de Barragens (2017, p. 22)

Nos últimos anos no Brasil a agricultura vem crescendo muito, segundo dados da Embrapa, entre os anos de 1975 e 2017 a produção de grãos que era de 38 milhões de toneladas subiu para 236 milhões, um aumento de cerca de 521%. Por conta de todo esse crescimento, as barragens de contenção de água para o uso da irrigação das plantações também acompanharam esse processo, sendo equivalentes a maioria das barragens cadastradas na ANA, conforme gráfico 2, apontado anteriormente.

Figura 12: Barragem utilizada para irrigação



Fonte: Divulgação CPT

Na maioria das vezes, conforme salienta Stephens (2011), os recursos financeiros disponíveis não são suficientes para que se possam construir barragens tecnológicas, por conta disso são construídas pequenas barragens de terra ou um açude simples.

Ainda com ênfase na agropecuária, existem as barragens de dessedentação animal, correspondente a segunda maior relação de uso principal de barragens no Brasil (ANA).

Consideradas pequenas barragens na maior parte das vezes, esse tipo de barragem necessita ter um estudo de qualidade da água, pois irá abastecer fazendas e sítios para que possam matar a sede do gado ou qualquer tipo de animal.

Segundo o CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), “a qualidade da água de dessedentação dos animais de produção devem ser tratadas de forma específica, com o estabelecimento de concentrações para este tipo de água”. Pois conforme Pereira (et al, 2009), o uso de água com qualidade não especificada pode interferir na saúde dos animais acarretando prejuízos financeiros e até mesmo de saúde pública.

Correspondentes também a grande parte das barragens brasileiras, os açudes de aquicultura nada mais são que construídos exclusivamente para o cultivo e criação de peixes. Segundo a cartilha de cultivo de peixes disponibilizada pela Embrapa, as barragens para essa função podem ser mantidas com volume de água captada pela precipitação ou pelos cursos d’água das redondezas, porém a primeira sofre com os períodos de seca em que tem seus níveis diminuídos. Geralmente a topografia do local é aproveitada e os açudes são mais profundos no centro e mais rasos nas laterais. Contam também com vertedouros para impedir o transbordamento e até o rompimento no período das cheias (EMBRAPA, Cultivo de peixes).

Figura 13: Açudes de criação de peixes



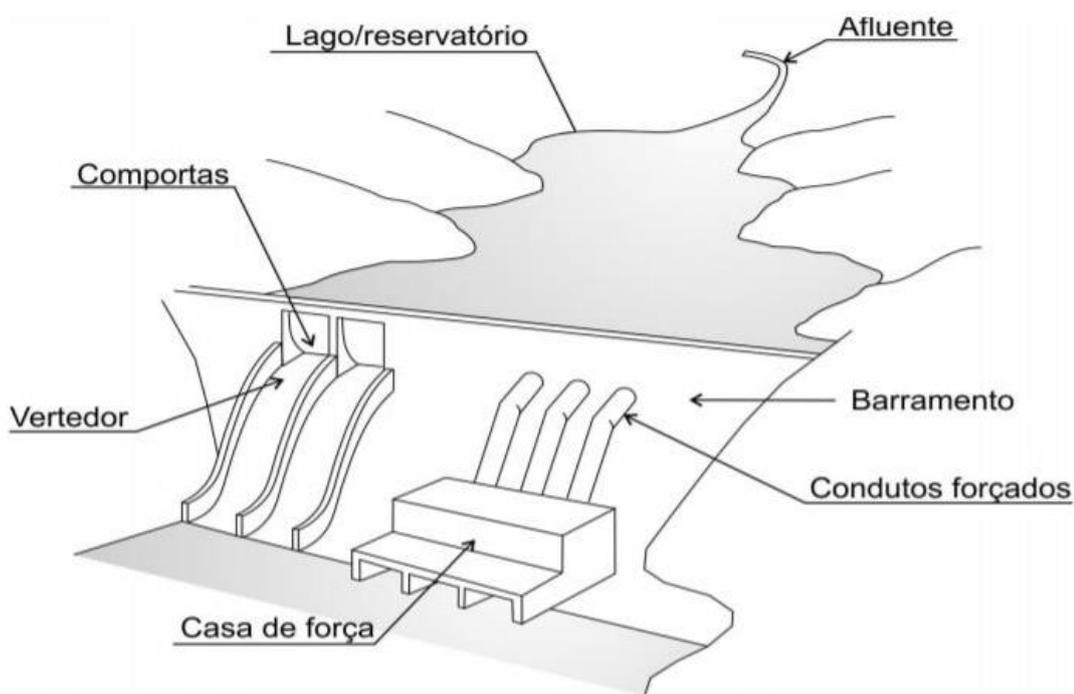
Fonte: Banco de imagens Embrapa (2013)

O Brasil é um país com grandes recursos hídricos, porém com uma densidade populacional muito alta nas metrópoles, que demanda um abastecimento de água muito grande também. Porém a maioria desses recursos estão localizados

nos interiores onde não há muitas cidades, e por conta da poluição nos centros urbanos, torna-se quase um desafio o abastecimento de água nesses locais (ANA).

Por conta disso são necessários em alguns locais a construção de reservatórios para a contenção de água. No estado de São Paulo, o responsável pelo abastecimento da maioria dos municípios é a SABESP, abastecendo cerca de 423 cidades das 645 que existem no estado (SABESP, 2019). Quase metade dos municípios do estado possuem captação para abastecimento exclusivamente de forma subterrânea, mas isso acontece em grande parte das cidades do interior que possuem menos de 50 mil habitantes. Já próximo a grande São Paulo e ao leste do estado existe um número maior de captação somente superficial, que provém das barragens de abastecimento ou de forma mista que engloba as duas maneiras já citadas (ANA – Atlas de Abastecimento Urbano de Água).

Figura 14: Componentes Básicos de um Reservatório



Fonte: MEES (2013?)

A água já era utilizada como fonte de energia desde a era romana, usadas para mover moinhos de milho, para a tecelagem entre outros. No século XIX foi desenvolvida a primeira turbina hidráulica e neste mesmo século já foi possível a utilização da água como fonte de energia elétrica (CIGB, 2008).

Como já dito anteriormente, o Brasil é um país rico em recursos hídricos, por conta desse fato, sua matriz energética é na maior parte composta por hidrelétricas. Segundo dados da ANEEL, de toda a potência fornecida no país, 60,85% provém de recursos hídricos.

Portanto a construção de barragens nesse quesito é muito importante. A estrutura de uma usina hidrelétrica é composta pela barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro (ANEEL, 2008).

Figura 15: Casa de força e vertedouro da usina hidrelétrica de Tucuruí



Fonte: CBDB (2011, p. 26)

2.1.2 Histórico de barragens no Brasil e no mundo

O Brasil possui grande extensão territorial, compreendendo cerca de $8,5 \times 10^6$ Km². Como sendo um país com uma superfície tão grande, há diferentes aspectos naturais: o ambiente em cada região se difere muito; o clima; a vegetação; o relevo, desde o planalto central, até as áreas alagadas do Pantanal e as montanhas localizadas próximo à costa, onde se encontra a Mata Atlântica (CBDB, 2011).

Na região Nordeste brasileira, o clima é considerado semiárido e a maioria dos rios são intermitentes, portanto é muito comum a construção de barragens para a contenção de água durante as cheias. As secas no Nordeste e a projeção do

desenvolvimento do país foram determinantes para a construção da maioria das barragens desde o final do século XIX (CBDB, 2011).

Conforme o livro publicado pela CBDB em 2011 em comemoração pelos cinquenta anos do comitê no Brasil, estudos do histórico brasileiro mostram que a barragem mais antiga de que se têm notícias da construção é a barragem atualmente conhecida como Açude Apipucos, localizada em Recife – PE, construída possivelmente no final do século XVI, antes até da invasão holandesa. Sua estrutura original teve de ser modificada, foi reforçada e alargada, para que pudesse ser construída uma passagem de acesso para o centro de Recife. A figura 16 mostra a Barragem de Apipucos indicada por uma seta vermelha para melhor visualização.

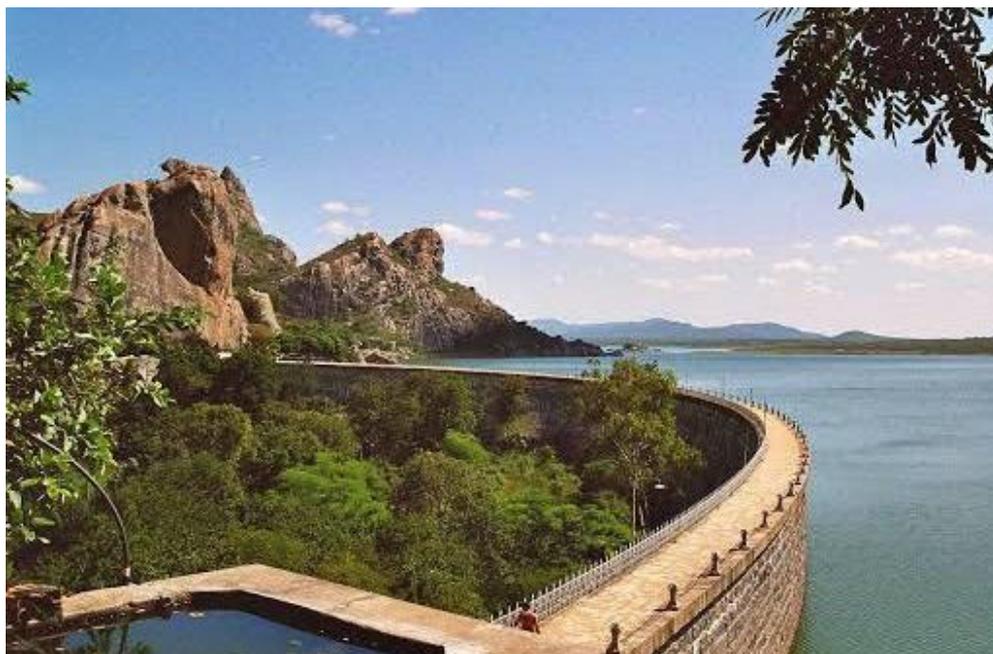
Figura 16: Barragem de Apipucos, Recife - PE



Fonte: CBDB (2011, p. 18)

Já as primeiras barragens para o combate à seca de que se têm dados foram por conta da grande seca que atingiu a região nordeste no ano de 1877 e se prolongou por cerca de três anos. Em 1880 o imperador D. Pedro II formou uma comissão para que o problema fosse resolvido e as principais medidas foram a construção de estradas para a população chegar até a costa do país e a construção de barragens. A primeira foi a barragem de Cedros localizada no Ceará e inaugurada em 1906 (CBDB, 2011).

Figura 17: Barragem de Cedros, Quixadá - CE



Fonte: CBDB (2011, p. 19)

Nas regiões sul e sudeste, as primeiras barragens foram construídas com o intuito de gerar energia, diferentemente de como aconteceu no Nordeste. Conhecida como barragem de Ribeirão do Inferno, essa foi a primeira no Brasil construída com fins de produzir energia elétrica, localizada em Minas Gerais na cidade de Diamantina ela foi construída em 1883, possuía uma queda de 5 m de altura e uma casa de força com duas máquinas de 8 CV com 1.500 rpm, tinha também a rede de transmissão mais longa do mundo na época, com 2 km de extensão (CBDB, 2011).

Já a barragem mais antiga de que se tem conhecimento no mundo é a Sadd el-Kafara, localizada no Egito e construída em meados de 2.600 a.C. sobre o rio Nilo para controlar as cheias, constituída por rochas e solo, tinha uma altura de aproximadamente 11 m. Mas após o período da primeira cheia logo após a conclusão, se rompeu por conta de um galgamento, que é quando o vertedouro não suporta a vazão da água que acaba vertendo sobre a crista da barragem (SMITH, 1971). No caso da barragem Sadd el-Kafara, ela não possuía sistema vertente e por isso aconteceu o rompimento tão rapidamente (AGUIAR, 2014).

Figura 18: Local onde se localizava a Barragem de Sadd el-Kafara



Fonte: Akubulut

Segundo o Atlas da Energia Elétrica disponibilizado pela ANEEL, a primeira hidrelétrica construída no mundo no final do século XIX, localizada nas quedas das Cataratas do Niágara, na divisa entre Estados Unidos e Canadá.

2.1.3 Acidentes envolvendo barragens

Ao longo da história, diversos acidentes envolvendo barragens foram registrados no Brasil e no mundo. As causas são diversas, sendo por vazamentos de galerias, escorregamentos, transbordamento, ruptura, entre outros. As edificações do tipo contenção, como as barragens, são obras de vida longa e carecem de projeto e execução muito bem realizados, bem como acompanhamento e manutenção constantes para garantir sua conservação e segurança (SILVEIRA, 2006).

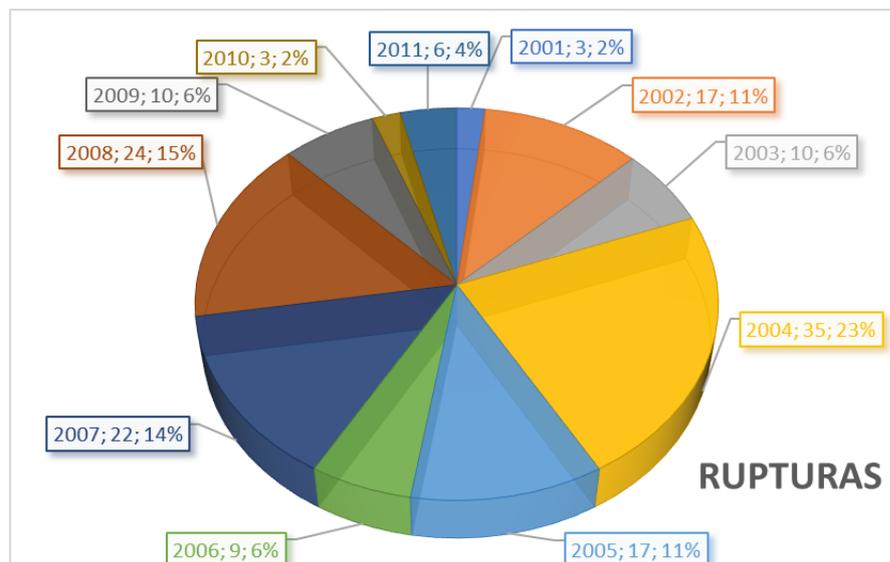
Ainda segundo João Francisco Alves Silveira (2006), ao final do século XIX surgiram os piezômetros (instrumentos responsáveis pela observação medindo o

nível freático ou a altura piezométrica) e que as primeiras medições topográficas ocorreram numa barragem localizada na França, em 1853. Conforme o passar dos anos, a instrumentação e práticas de barragens passaram por adaptações e modificações, e apenas por volta de 1950 o tema foi abordado e praticado com mais intensidade no Brasil.

Grande parte das causas dos acidentes envolvendo barragens está relacionada com a falta de estudos geotécnicos aprofundados, que deveriam ser realizados anteriormente ao projeto e a execução da obra em ocasião. Tal situação geralmente ocorre por conta de prazos de execução muito curtos, afetando também o momento da execução, sem que se tome a devida atenção no que se diz respeito ao tratamento da fundação. Além disso, planos de instrumentação ultrapassados ou deficientes impedem uma adequada supervisão do comportamento da barragem e de suas fundações durante o enchimento do reservatório e sua operação. (SILVEIRA, 2006)

De acordo com MENESCAL (2015), os números envolvendo acidentes e incidentes com barragens no Brasil são alarmantes. O Gráfico 3 mostra uma lista envolvendo apenas os casos citados por Rogério em sua obra “Breves Considerações Sobre a Segurança de Barragens no Brasil”:

Gráfico 3: Acidentes e Incidentes envolvendo barragens no Brasil



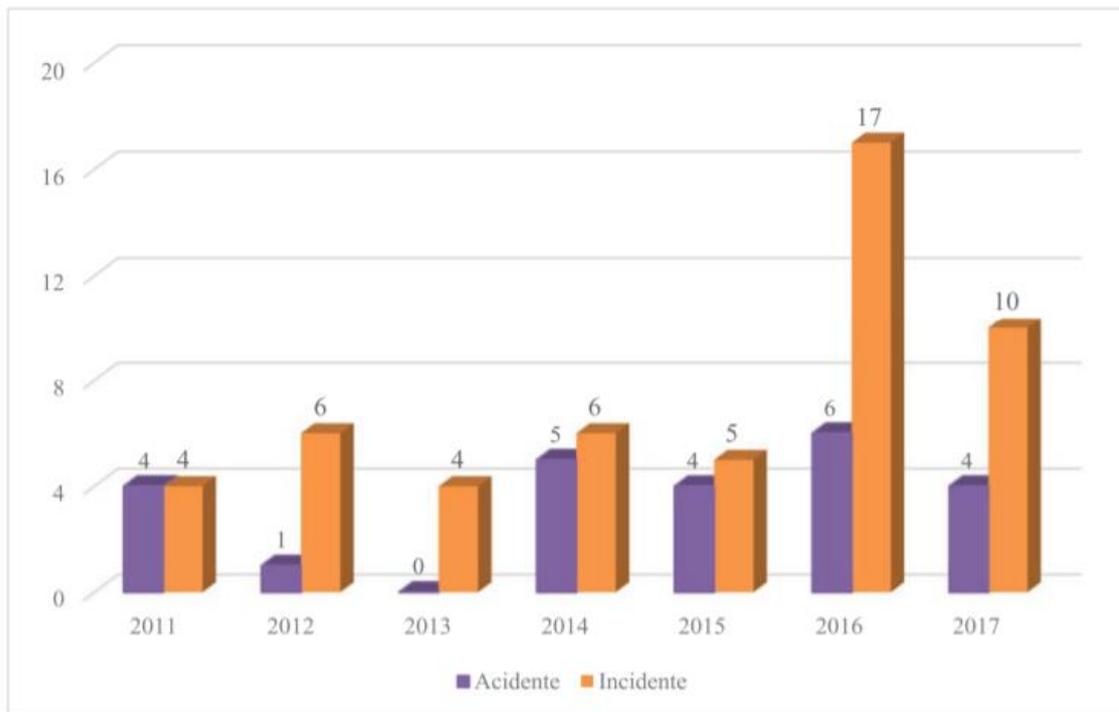
Fonte: Adaptado de MENESCAL, 2015

Estima-se um número exorbitante de diferentes tipos e tamanhos de barragens que vieram a romper no ano de 2004, ultrapassando 400, sendo grande

parte delas incapazes de suportar eventos hidrológicos. Entre o ano de 2000 e 2015, houve mais de 800 casos de incidentes e acidentes envolvendo barragens somente no Brasil, nos trazendo uma média assustadora de **53,33 por ano** (MENESCAL, 2015).

O Gráfico 4 mostra os acidentes e incidentes envolvendo barragens publicada pela ANA no ano de 2017:

Gráfico 4: Evolução do número de acidentes e incidentes por RSB



Fonte: ANA, Relatório de Segurança de Barragens (2017, p. 41)

Os números acima contabilizam apenas os incidentes que levaram a alagamentos ou suspensões do abastecimento de água registrados pela ANA (ANA, 2017).

Abaixo seguem alguns casos de acidentes envolvendo barragens.

A barragem de terra Iruhaiki localizada no Japão, possuía cerca de 27 a 28 metros de altura com 700 metros de largura. A barragem foi construída no ano de 1633 para armazenar água e teve seu rompimento em 1868 devido a passagem da onda de cheia, a qual ultrapassou a capacidade prevista de suas instalações. Relatos de mortes variam entre 1000 e 1200 vítimas (LEMPERIENE, 1993).

Em San Andreas, nos Estados Unidos, a barragem de Saint Francis foi construída em 1926 e teve seu rompimento em 1928, dois anos após sua

construção. Era uma barragem de concreto construída para armazenamento de água que possuía aproximadamente 56 metros de altura. O acidente ocorreu em 12 de março de 2018 devido a um grande deslizamento de terra. Acredita-se que o rompimento se deu, pois a fundação não suportou a força exercida pelo barramento e pela água. Um dos motivos pode ser por que em duas ocasiões sua altura foi alterada em 3 metros sem compensações em sua largura, o que deixou a construção cerca de 11% mais pesada. O ocorrido deixou pelo menos 420 pessoas mortas sendo que 179 corpos não foram localizados (BALBI, 2008 e ROGERS, 2007).

Figura 19: Barragem de Saint Francis antes do rompimento



Fonte: Rogers, 2007

Figura 20: Barragem de Saint Francis após o rompimento



Fonte: Rogers, 2007

Outro caso que causou grande desastre aconteceu na China, com o rompimento das barragens de Banqiao e Shimantan e se deu no ano de 1975, 25 anos depois de sua construção, em 1950, realizada a fim de acumular água para abastecimento. O rompimento ocorreu por conta de um evento com tempo de retorno, estima-se, 2000 anos, sendo que as barragens foram construídas para os tempos de recorrência de 1000 e 500 anos, respectivamente. Devido a mesma onda de cheia, 62 outras barragens menores romperam ao longo do rio, causando diversas inundações, fome e doenças. Estima-se que considerando todo o prejuízo advindo deste evento, cerca de 230 mil pessoas morreram (MCCULLY, 2001).

Figura 21: Reservatório Banqiao e Shimantan



Fonte: R7 (Disponível em: <https://noticias.r7.com/internacional/fotos/nao-foi-a-primeira-vez-conheca-15-desastres-com-barragens-que-deixaram-milhares-de-mortos-06112015#prev>)

Já no Brasil, tivemos o caso da barragem de Mariana (MG), de rejeitos de minério, que veio a romper no dia 5 de novembro de 2015. O ocorrido causou a morte de 18 pessoas, o desaparecimento de uma, atingiu na totalidade 39 municípios, impactando diretamente o Rio Doce e atingindo diversas praias onde os afluentes desaguavam, devido a parte dos rejeitos serem carregados ao Oceano Atlântico alterando o ecossistema marinho. Foi considerada por muitos especialistas como o maior desastre ambiental da história do Brasil, caracterizada como a “tragédia de Mariana” (LOPES, 2016).

Figura 22: Destroços após o rompimento da barragem de Mariana



Fonte: Christophe Simon/AFP (Disponível em: http://s2.glbimg.com/mshkN9Srxm-CauglJONFjLcBkFo=/620x465/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2015/11/06/brazil-australia-mining-accident_christophe_simon_afp-3.jpg)

2.1.3.1 O colapso da barragem de Orós

No Brasil, a barragem de Orós, localizada no Ceará, a aproximadamente 450 quilômetros de Fortaleza, rompeu enquanto estava sendo construída. Segundo o Departamento Nacional de Obras contra as Secas – DNOCS, pela qual foi projetada e construída, a barragem é do tipo terra zoneada, locada no Rio Jaguaribe, com altura máxima de 54 metros, comprimento no coroamento de 670 metros e largura 10 metros, largura máxima da base de 278 metros, raio de curvatura de 160 metros, 5200 m³ de capacidade de vertedouro e volume total de 2,1 bilhões de m³, o segundo maior açude do Ceará.

A barragem do açude de Orós teve seu rompimento no dia 26 de março de 1960, aos 17 minutos, devido uma onda de cheia que galgou a estrutura de forma dramática, mesmo já se encontrando em situação alarmada por conta de fortes temporais que haviam caído no nordeste, principalmente na bacia hidrográfica do açude de Orós ainda em construção. A tecnologia adotada na construção é em arco, com areia, maciço zoneado com argila e enrocamento, se encontrava atrasada devido falta de investimentos e já estava em fase final de construção (LEITE, 2009).

Ainda segundo LEITE (2009), a construção da barragem de Orós havia sido interrompida em 1922, e teve seu retorno por determinação do Presidente Juscelino Kubitschek. Foram realizadas diversas tentativas de solução segundo relatório do DNOCS a fim de impedir o transbordamento, sendo uma delas o ato de escavar um canal à direita do maciço, por onde a água passara a fluir em cascata, porém não foi o suficiente para evitar o desastre, que veio a acontecer um dia depois, formando uma brecha de 200 metros de comprimento por 35 metros de altura.

As águas após o rompimento resultaram numa violenta enxurrada, que graças ao trabalho dos técnicos e operários, bem como helicópteros que passaram soltando panfletos avisando sobre o desastre e o aviso através das rádios que cobriam o desastre, de acordo com LEITE. Treze municípios foram afetados, de Iguatu a Aracati, onde 170 mil pessoas tiveram que se deslocar de suas residências, número este que corresponde a 60% da população da região do baixo Jaguaribe na época. Por onde a enxurrada passou, destruiu casas, fábricas, pontes estradas, plantações etc. (DNOCS, 2010)

No dia 30 de março de 1960, quarto dia após o rompimento da barragem, o

presidente da época, Juscelino Kubitschek esteve no Ceará a fim de ver os estragos e de visitar as vítimas das inundações. O mesmo sobrevoou o vale do Jaguaribe e se fez acompanhado do vice-presidente, governador, deputados, superintendente da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e jornalistas. Retornando a Brasília determinou a o início das obras para a reconstrução da barragem, bem como sancionou a lei 3850, de 18 de dezembro de 1960, abrindo crédito de 204,8 milhões de cruzeiros para o pagamento de indenizações, que tomaram como base os relatórios emitidos pelo Banco do Nordeste (BNB) e SUDENE. A inauguração da barragem se deu no dia 11 de janeiro de 1961 com a presença do presidente (DNOCS, 2010).

Figura 23: Barragem de Orós Rompida



Fonte: Disponível em : <http://coisadecearense.com.br/o-inverno-de-1960-e-o-rompimento-da-barragem-do-acude-oros/>

Figura 24: Vista parcial - Vale do Jaguaribe



Fonte: Disponível em : <http://coisadecearense.com.br/o-inverno-de-1960-e-o-rompimento-da-barragem-do-acude-oros/>

Figura 25: Suprimentos para as vítimas de Orós



Fonte: Disponível em: <http://coisadecearense.com.br/o-inverno-de-1960-e-o-rompimento-da-barragem-do-acude-oros/>

Figura 26: Embarque de Juscelino Kubitschek para Orós



Fonte: Disponível em : <http://coisadecearense.com.br/o-inverno-de-1960-e-o-rompimento-da-barragem-do-acude-oros/>

2.1.4 Danos causados por rompimentos

De acordo com o Dicionário Aurélio (2018), o significado da palavra “Dano” é Danificar, Perverter, Estragar. Todo rompimento de barragem é um desastre, seja ele de menor ou maior intensidade, e desastres geram danos, podendo ser perda de vidas, de bens materiais, danos ambientais etc.

Como já citado anteriormente sobre acidentes envolvendo barragens, pode-se notar os grandes danos gerados pelos mesmos: perda de vidas, de bens materiais, pessoas desabrigadas e impactos ambientais muitas vezes quase que irreversíveis. Para que seja mais bem explanado sobre eles, utilizemos um exemplo já abordado anteriormente, o rompimento da barragem de Mariana (MG), ocorrido no dia 05 de novembro de 2015.

Considerado o maior desastre socioambiental do país, no que se diz respeito ao setor mineração, o rompimento da barragem de Mariana causou danos imensuráveis. 19 pessoas perderam suas vidas, aproximadamente 1500 pessoas ficaram desabrigadas e além dos danos a vida e bens materiais, o impacto ambiental foi gigantesco. Cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos foram

lançados no meio ambiente, rejeitos estes, compostos principalmente por óxido de ferro e sílica (não tóxicos, porém capazes de provocar muitos danos), o qual percorreu 663,2 km de cursos d'água, soterrando o subdistrito de Bento Rodrigues e deixando rastros de destruição até o litoral do Espírito Santo. No dia 26 de novembro de 2015, 21 dias após o evento, o Laudo Técnico Preliminar foi concluído, apontando que é impossível estimar um prazo de retorno da fauna local por conta da profundidade e perversidade do nível de impacto ao longo de diversos estratos ecológicos, que causou a destruição de 1.469 hectares, incluindo APP's (IBAMA, 2016).

Figura 27: Destroços em Mariana



Fonte: Disponível em: <https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/ha-tres-anos-desastre-com-barragem-em-mariana-matou-19-pessoas/>

Os danos socioambientais identificados ao longo do trecho atingido foram de acordo com o IBAMA (2016):

[...]isolamento de áreas habitadas; desalojamento de comunidades pela destruição de moradias e estruturas urbanas; fragmentação de habitats; destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa; mortandade de animais domésticos, silvestres e de produção; restrições à pesca; dizimação de fauna aquática silvestre em período de defeso; dificuldade de geração de energia elétrica pelas usinas atingidas; alteração na qualidade e quantidade de água; e sensação de perigo e desamparo da população em diversos níveis (IBAMA, 2016).

A destruição direta do ecossistema afetou a Bacia Hidrográfica do rio Doce, com desestruturação da resiliência do sistema, bacia essa que abrangia 230 municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, muitos dos quais abasteciam sua população com a água do rio. Vale ressaltar que o material escoado após o rompimento da barragem não contém matéria orgânica, sendo, portanto, infértil. Além disto, até que a lama esteja completamente seca nos locais anteriormente habitados atingidos, o que pode levar anos, nada poderá ser construído (IBAMA, 2015).

Percebe-se que o rompimento de uma barragem é um causador de dano em potencial, podendo gerar situações quase que irreversíveis como dissertado pelo IBAMA (2015). O rompimento da barragem de Mariana foi considerado por muitos especialistas como o maior desastre ambiental da história do Brasil, caracterizada como a “tragédia de Mariana” (LOPES, 2016), sendo apenas um caso num país onde acidentes e incidentes com barragens acontecem com uma frequência extremamente elevada, que é o Brasil (MENESCAL, 2015).

2.2 O uso de barragens para a geração de energia elétrica

As hidrelétricas correspondem a cerca de 90% da produção de energia elétrica no Brasil. Esse processo deu-se início em meados do século 19, mas intensificou-se e criou forças apenas após a 2ª Guerra Mundial (1945), no qual as hidrelétricas passaram a ter um papel fundamental e indispensável no fornecimento de energia elétrica (PENA, 2016).

As usinas hidrelétricas são instalações que transformam a energia potencial em energia elétrica. Para que esse processo ocorra de forma mais eficiente é necessário um projeto muito bem definido em regiões estratégicas (CERAN, 2018).

Para isso são necessárias regiões em que exista um desnível hidráulico natural ou criado artificialmente com a construção de uma barragem, captando assim a água e conduzindo-a turbina, por meio de suas quedas (CERAN, 2018).

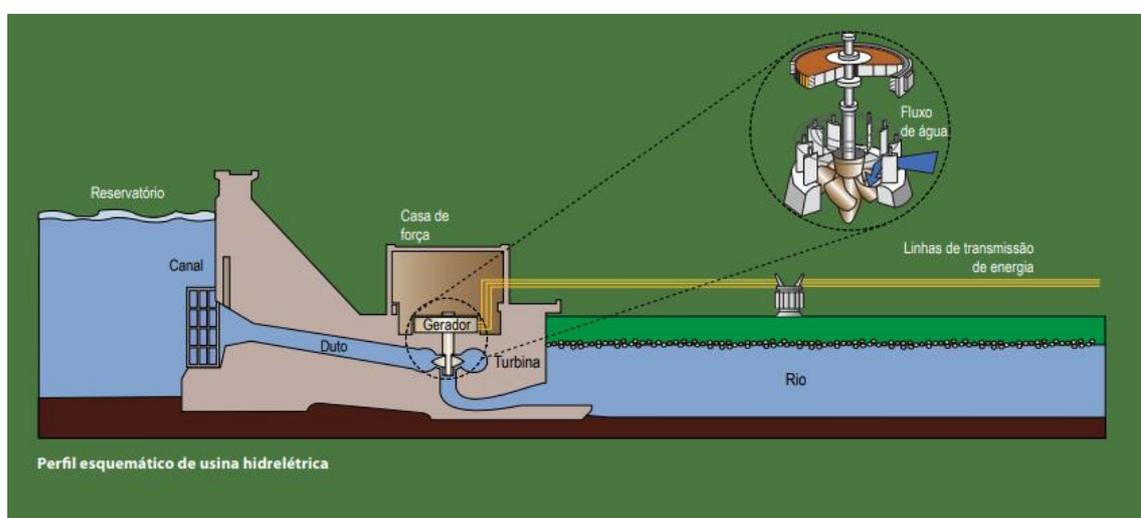
Segundo a Cia. Energética Rio das Antas (2018), a força das águas em movimento é conhecida fisicamente como energia potencial e quando submetida a grandes quedas, adquirindo força e velocidade, passa pelas turbinas fazendo-as movimentarem, gera o processo em que ocorre a transformação de energia

potencial em energia mecânica.

As turbinas por sua vez, estão conectadas a geradores responsáveis pela transformação da energia mecânica em energia elétrica, a qual será fornecida através de cabos transmissores (FRANCISCO, 2018).

O sistema hidrelétrico é composto por vertedouro, por onde passa o excesso de água do reservatório, a casa de força, local onde os equipamentos estão instalados para a produção de energia elétrica e o circuito hidráulico, que é composto por condutos e canais que levam a água das barragens até as turbinas (FRANCISCO, 2018).

Figura 28: Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil – ANEEL, 2016

Segundo dados fornecidos pela ITAIPU Binacional (2016), o Brasil com sua eficiência energética se destaca em 3º lugar com a produção de 3.040TWh/ano (EPE, 2013) e com esse desempenho, alcançou em 2016 100 milhões de megawatts-hora, superando o rendimento energético estabelecido pela hidrelétrica chinesa Três Gargantas. Isso porque a 2ª maior hidrelétrica do mundo Itaipu não se encontra totalmente em terras nacionais, 50% da usina encontra-se no Paraguai e como este não consome toda a sua energia, acaba vendendo para os países vizinhos.

Acredita-se que a compra de energia elétrica no Brasil é desnecessária, uma vez que o país não investe em potencial nessa energia e apenas 25% do potencial

hidráulico é utilizado (ITAIPU Binacional,2016).

Por outro lado, a construção de barragens e hidrelétricas encontra-se com questões burocráticas que aumentam os orçamentos e os planejamentos construtivos, administrativos e em questões ambientais (ITAIPU Binacional, 2016).

O sistema de produção de energia elétrica está dividido em dois grandes sistemas estruturais: sistema sul-sudeste-centro oeste e o sistema norte-nordeste, correspondendo cerca de 70% e 25%, respectivamente, da produção de energia no Brasil (PENA, 2016).

Em meados dos anos 90, o Brasil diminuiu seu investimento nas construções das hidrelétricas, com isso, em 1995 ocorreu o processo de privatização do setor elétrico com o intuito de proporcionar uma ampliação de investimentos nesse setor. Entretanto as expectativas não foram atendidas e apagões passaram a ser correntes em toda área nacional, tendo em 2001 o maior racionamento de energia elétrica por falta de infraestrutura a demanda exigida (ANEEL - Avaliação de viabilidade de um Empreendimento de Geração de Energia Elétrica, 2013).

Com isso o governo passou a analisar sistemas estratégicos a serem adotados, como construções de novas hidrelétricas em toda área nacional, dando origem as PCH's. A preferência por essas centrais se deu pelo fator econômico e por estas gerarem menos impactos ambientais (ANEEL - Avaliação de viabilidade de um Empreendimento de Geração de Energia Elétrica, 2013).

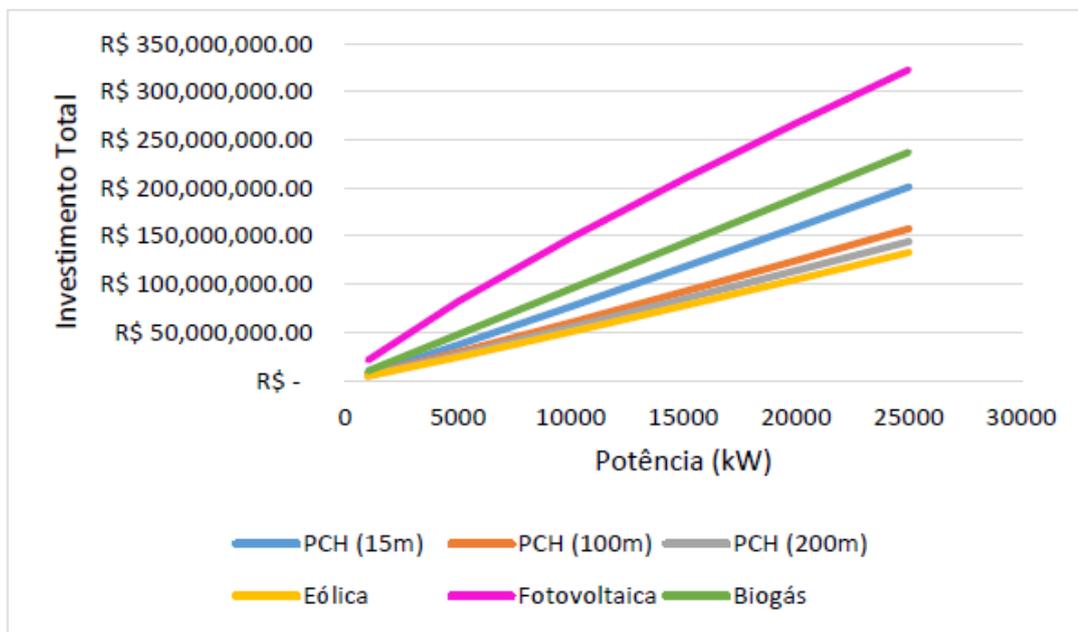
As hidrelétricas e PCH's, são apreciadas e olhadas com bons olhos, pois conseguem fornecer energia limpa, entretanto, como outras formas de fornecimento de energia, elas também atingem o meio ambiente em que se encontram (ITAIPU Binacional, 2016).

Entre as vantagens que podemos citar, estão os fatos de que a água é um recurso renovável, desde que haja a preservação das nascentes e riachos; o custo de implantação é bem inferior em relação as usinas termo elétricas, nucleares, biogás e por fim as hidrelétricas não emitem poluentes gasosos que podem interferir na camada de ozônio como as termoelétricas (PENA, 2016).

O Gráfico 5 apresenta o custo de capital de cada tipo de fornecimento de energia em função da potência. Pode-se observar que quanto menor a potência, menor o investimento total, além disso, nota-se que o maior investimento está na energia fotovoltaica e a mais barata é a energia eólica. Em relação às PCH's, quanto

maior a queda d'água, menor o custo de capital (Revista Brasileira de energias renováveis, 2016).

Gráfico 5: Gráfico de custo de capital em função da potência



Fonte: Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p267-277, 2016

Por outro lado, mesmo com tantos benefícios as centrais hidrelétricas possuem desvantagens que atingem todo o meio em que se encontram, como por exemplo, os locais para as construções das barragens, que podem se encontrar em reservas naturais, ricas em faunas e floras que contribuem para o equilíbrio do ecossistema e com o represamento pode-se tornar frequente as inundações alterando o meio, ou tornando o meio escasso em relação a água (PENA, 2016).

A construção de hidrelétricas requer o represamento de água em grandes extensões de área. Geralmente as usinas hidrelétricas são construídas em áreas e locais distantes dos pontos de consumos, fazendo com que os custos de transporte e condução de energia elétrica obtenham um valor elevado (CPFL energia, 2019).

A eficiência energética das hidrelétricas gira em torno de 65% (em 2014) e o investimento de manutenção e transporte são elevados, mas o valor da água utilizada são nulos (CPFL energia, 2019).

Figura 29: Itaipu, a 2º maior hidrelétrica do mundo



Fonte: Itaipu Binacional

Atualmente cerca de 18% da produção mundial de energia elétrica é fornecida através das hidrelétricas e esse dado só não é maior devido as condições naturais não favoráveis dos países para implantação das centrais hidrelétricas.

Os principais produtores e fornecedores de energia elétrica por esse meio são: EUA, Canadá, China, Rússia e Brasil (FRANCISCO, 2018).

2.2.1 Pequenas centrais hidrelétricas

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) são usinas hidrelétricas de tamanho e potência relativamente reduzidos. Legalmente o termo PCH foi citado pela primeira vez na legislação do setor elétrico brasileiro em 1982, por meio da PORTARIA DNAEE N°109, que definiu que seriam consideradas PCH's as centrais hidrelétricas que contemplassem as seguintes características:

- Operação a fio d'água ou de reservatório com regularização diária ou mensal;
- Barragens e vertedouros com altura máxima de 10 metros;
- Não utilização de tuneis;

- Estruturas hidráulicas, no circuito de geração, para vazão turbinável de no máximo 20 m³/s;
- Unidades geradoras com potência individual de até 5.000 KW;
- Potência instalada total de 10.000 kW.

Devido ao grande número de condicionantes atreladas às PCH's, ocorreram muitas dificuldades no desenvolvimento do programa de implantação das Pequenas Usinas Hidrelétricas, levando assim, a redefinição do conceito.

Em 1987, segundo a portaria DNAEE Nº 136/1987, as PCH's passariam a ter aproveitamento hidrelétrico com potência total de 10.000 KW e com unidades individuais de 5.000 KW, dispensando as outras limitações, permitindo assim a construção de empreendimentos inadequados ambientalmente.

Meados de 1997 a ANEEL juntamente com a portaria DNAEE lançou um conjunto de normas e classificações para cada usina, sendo obrigatório que os empreendimentos (PCH's) obtivessem de 1 a 30 megawatts (MW) e deveriam ter menos de 13 km² de área de reservatório.

Art. 26. Depende de autorização da ANEEL:

I – o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica;

A nova referência diz respeito à parte final da definição, [...] mantidas as características de pequena central hidrelétrica; (Art. 26. Depende de autorização da ANEEL).

Apesar do nome que carrega “pequena”, as PCH's são responsáveis por cerca de 3,50% de toda a capacidade instalada do sistema interligado nacional (ABRAPCH, 2016).

Segundo a ANEEL (2016), o processo de exploração do potencial das PCH's se deram em meados de 1997, quando o monopólio do Estado foi extinto e milhares de empresas empenharam nos seus recursos na elaboração de estudos e projetos para a geração de energia renovável.

Desde aquela época até os dias atuais, cerca de R\$1.000.000.000,00 foram investidos por empresas privadas na elaboração de projetos e licenciamentos ambientais, aproximadamente 1000 projetos de PCH's, totalizando mais de 9000 MW em empreendimentos protocolados na ANEEL. (ABRAPCH, 2016)

Segundo o manual da ELETROBRÁS (2017), as centrais hidrelétricas são classificadas em: a fio d'água, ou de acumulação, com regularização mensal ou diária do reservatório.

As pequenas centrais hidrelétricas a fio d'água, são instaladas ou adotadas quando a vazão mínima do rio for maior que a descarga necessária para atender a demanda de geração de energia elétrica, também são adotadas quando não há flutuações de nível. Como são pequenas as barragens, perdas de terra, e os impactos ambientais são mínimos (ELETROBRÁS, 2017).

Por outro lado, as PCH's de acumulação são construídas quando a vazão do rio, do curso d'água, não são suficientes para suprimir a demanda de descarga no sistema gerador (ELETROBRÁS, 2017). Esse método é utilizado para acumular água nos momentos de baixo consumo elétrico, empregando-as em momentos de alta demanda energética.

Outra classificação que o manual das Pequenas Centrais Hidrelétricas disponibiliza, divide a classificação das PCH's em três tipos conforme a tabela 1:

Tabela 1: Tabela Classificação PCH

TABELA 1-CLASSIFICAÇÃO DA PCH QUANTO À POTÊNCIA E A QUEDA DE PROJETO				
CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA P (KW)	QUEDA DE PROJETO		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	$P < 100$	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
MINI	$100 < P < 1.000$	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
PEQUENAS	$1.000 < P < 30.000$	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fonte: Eletrobrás-Diretrizes para Projetos de PCH

2.2.2 Impactos causados pela implantação de PCH's

O estudo de impacto ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de impacto ambiental (RIMA) têm como objetivo realizar a avaliação dos impactos ambientais causados por qualquer tipo de empreendimento de pequeno e grande porte (CETESB, 2019).

De acordo com o artigo 225,1º, IV, da Constituição Federal de 1998, assegura a efetividade do meio ambiente ecologicamente equilibrado incumbindo ao Poder Público: “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente

causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental a qual se dará publicidade”.

O estudo do impacto ambiental assim como a emissão de seu relatório é regido por instrumentos legais. Os principais embasamentos que regem a Política Nacional do Meio Ambiente são oriundos de vários instrumentos legais que regulam esse tipo de empreendimento, cujo objetivo é definir aqueles que necessitam de um estudo prévio quanto ao impacto ambiental. O Estudo do Impacto Ambiental - EIA é regido por Resoluções e uma delas é a Resolução CONAMA de janeiro de 1.986, “*Tem por objetivo definir os empreendimentos que necessitam de prévio Estudo do Impacto Ambiental – EIA*” (Resolução CONAMA, 1986).

Em meados de 1997, o CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, regulamentou através da resolução 237, as etapas cruciais e o grau de competência dos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento.

Segundo o CONAMA (1997), os impactos ambientais para uma construção de uma PCH, devem ser bem documentados, e estes impactos estão relacionados ao seu volume, tamanho, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e a localização continua do rio.

Segundo Andrade, os principais impactos das centrais hidrelétricas em relação ao meio ambiente, são o alagamento das áreas vizinhas, o aumento do nível dos rios e as mudanças dos cursos dos rios represados, além dos prejuízos da fauna e flora da região.

De acordo com a publicação do livro *Águas Doces no Brasil* (REBOUÇAS et al, 2002), os principais impactos identificados na construção das PCH's foram:

- Inundação de áreas agricultáveis;
- Perda de vegetação e da fauna terrestres;
- Interferência na migração dos peixes;
- Mudanças hidrológicas a jusante da represa;
- Alterações na fauna do rio;
- Interferências no transporte de sedimentos;
- Aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica;
- Perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra;
- Problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental;

- Problemas geofísicos devido a acumulação de água foram detectados em alguns reservatórios;
- Perda da biodiversidade, terrestre e aquática;
- Efeitos sociais por relocação; (REBOUÇAS et al, 2002).

Todas as alterações citadas acima podem resultar em efeitos diretos ou indiretos. Reservatórios em cascata como construídos nos rios Tietê, Grande, Paranapanema e São Francisco, produzem efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de todo o rio.

Todavia, é a forma mais barata de se gerar energia elétrica do que outras plantas industriais, como a usina nuclear, e menos agressiva ambientalmente do que as usinas termoelétricas a petróleo ou carvão, sendo considerada uma fonte renovável e limpa (ANDRADE, 2010).

Nem todos os efeitos da construção de reservatórios são negativos. Deve-se considerar também muitos efeitos positivos como:

- Produção de energia: hidroeletricidade;
- Retenção de água regionalmente;
- Aumento do potencial de água potável e de recursos hídricos reservados;
- Criação de possibilidades de recreação e turismo;
- Aumento do potencial de irrigação;
- Aumento e melhoria da navegação e transporte;
- Aumento da produção de peixes e na possibilidade de aquicultura;
- Regulação do fluxo e inundações;
- Aumento das possibilidades de trabalho para a população local (REBOUÇAS et al, 2002).

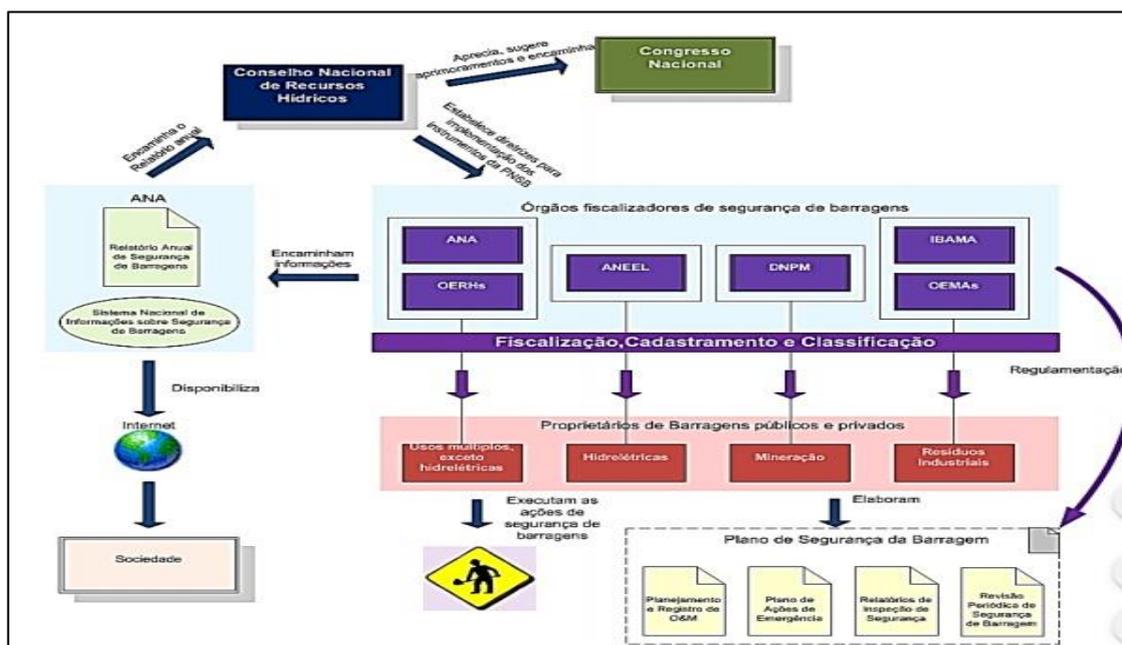
É coerente e sensato reconhecer a extrema importância das PCH's, por possuírem características de menor impacto ambiental, menores investimentos, prazo de construção mais curto, incentivos legais e resolução dos problemas de abastecimento, mas sempre com a necessidade de avaliação ambiental antes de qualquer construção (DUTRA et al, 2010).

2.3 Política Nacional de Segurança de Barragens

A Constituição Federal estabeleceu em 2010 a Lei n. 12.334 referente à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), com intuito de preservar a integração das Barragens bem como a vida humana e ambiental que está ao seu redor. Esta lei também estabelece o Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens (SNISB), que tem como objetivo registrar as circunstâncias das quais se encontra a segurança das Barragens em sua concepção, utilização, ou mesmo quando está desativada, e seu foco, primeiramente, está em barragens que contém pouquíssimas informações, para assim assegurar sua integridade.

A instituição responsável pela fiscalização das barragens é a ANA, cujos são incumbidos de manter atualizados os dados cadastrais de todas as barragens pertencentes à União, promovendo a articulação entre os órgãos fiscalizadores e gerando relatórios anuais atualizados para o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A figura 30 exemplifica através de um diagrama a função dos órgãos fiscalizadores, nota-se que no caso de barragens de hidrelétricas a responsabilidade se dá a ANEEL, entretanto, em casos de usinas desativadas, como a PCH de Atibaia, a responsabilidade de fiscalização retorna à ANA.

Figura 30: Fluxograma de agentes responsáveis pela Segurança de Barragem

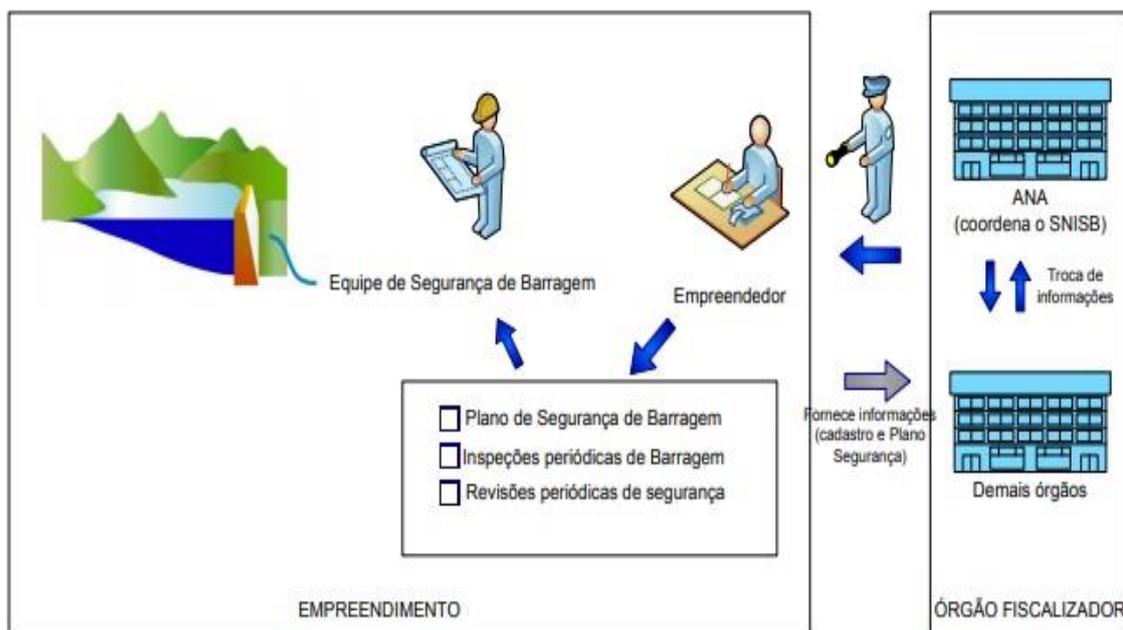


Fonte: ANA, 2011.

Segundo a Agência Nacional de Águas (2016), a fiscalização é de suma importância, pois será através dela que ocorrerá a verificação das conformidades das barragens, se estão sendo executadas dentro das normas exigidas e seu estado de manutenção. A fiscalização também auxilia na captação de informação para um banco de dados usados pelos órgãos fiscalizadores, podendo assim gerir e inspecionar se alguma determinação, caso tenha sido exigida, foi cumprida.

Os empreendedores das barragens não anulam suas responsabilidades e são eles que devem desenvolver metodologias e atuar para garantir a segurança, bem como atualizar a ANA sobre todos os detalhes informativos (ANA, 2010). Conforme a figura 31.

Figura 31: Esquema com competências de fiscalizadores e empreendedores



Fonte: ANA, 2016

Segundo a constituição, os empreendedores devem seguir as orientações do órgão fiscalizador, ainda que seja responsabilidade deles desenvolver metodologias mediante a situação na qual se encontra a barragem, será o órgão fiscalizador que, juntamente com especialistas, poderá instruir sobre a necessidade de mudanças nas condições a montante e a jusante da barragem (BRASIL, 2010, Art. 9º § 2º).

A lei n. 12334/2010, é destinada a barragens com acumulação de água

independentemente de seu uso ou função e segundo o parágrafo único do artigo primeiro, estabelece critérios sendo aplicável para barragens com as seguintes especificidades:

- 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 3.000.000m³ (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. (Brasil, 2010, Art. 1º. § único).

Esta legislação também é clara ao definir os objetivos da PNSB, conforme o art. 3º citado a seguir:

- 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. (BRASIL, 2010, Art. 3º)

Os fundamentos desta legislação é precaver cuidadosamente a segurança das barragens, como citado na Lei n. 12334/2010 no Art. 4º, “deve ser considerada suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros”. A população também deve participar das ações preventivas, já que a existência da barragem influencia diretamente no âmbito social.

Realizado o contato com a Secretaria do Desenvolvimento Econômico do município de Atibaia, foi confirmado que a Pequena Central Hidrelétrica já foi

fiscalizada pelos agentes da ANA, sendo realizados agora os meios pelos quais garantirão a seguridade da barragem regional, neste caso foram questionados sobre o “Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens”, verificando se o regulamento está sendo seguido.

De acordo com a Fernanda Mancilha Fontes, Assistente em Serviço de Fiscalização de Atibaia (2019), a PCH foi visitada no início de março deste ano. Essa vistoria consiste em analisar se as documentações estão corretas quanto a situação atual da barragem. Alguns documentos como o Plano de Ação Emergencial, e o Plano de Segurança de Barragem ainda não foram feitos, ou seja, não há documentações que obedeçam a legislação aprovada em 2010 e estão atrasados desde 2018, entretanto ao consultar a Agência Nacional de Águas, foram instruídos a oficialar a extensão do prazo.

2.3.1 Plano de ação emergencial nacional

A engenharia ainda não desenvolveu metodologias que evitem o rompimento de barragens, mesmo que, seja possível executá-la e administrá-la de forma que otimize a segurança, há fatores como as condições de enchimento que são independentes e dificultam a imunização de eventuais riscos (SAMPAIO, 2016).

Conforme a publicação de João Francisco Alves Siqueira e José Augusto de A. Machado no XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens (2005), o Plano de Ação Emergencial (PAE) não tem como objetivo evitar um rompimento, visto que isso é algo irrealizável, mas de evitar maiores danos causados por um eventual rompimento, formalizando as providências que devem ser tomadas em uma situação crítica, a fim de instruir o empreendedor através desse documento sobre o esquema organizacional de operação, visando principalmente salvar as vidas daqueles se encontram em torno da jusante.

Para a efetividade da segurança é necessário o envolvimento de um conjunto de autoridades e competências (Figura 32), com desígnio de realizar a construção da barragem com qualidade e quando já construída realizar as vistorias e precauções periódicas para o bom funcionamento contínuo. Somente assim ela estará mais bem preparada para um acontecimento extraordinário.

Figura 32: Competências da Segurança de Barragens



Fonte: SILVEIRA, MACHADO, 2005.

De acordo com o *Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens* (SNISB), o PAE foi desenvolvido e previsto por lei quando se refere a barragens com dano potencial associado em nível alto, entretanto em 2017 a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS), aprovou que esse Plano envolva todas as Barragens do território nacional, independentemente da potencialidade de dano.

Silveira e Machado (2005) ainda dizem que o PAE deve ser elaborado pelo empreendedor das barragens, de forma que seja claro e de fácil entendimento e deve ser encaminhado ao poder público. Para sua elaboração são necessários o auxílio e as instruções de profissionais competentes, atuantes em áreas específicas, como engenheiros especializados em hidráulica, hidrologia, geotécnica com experiência em segurança de barragens.

Em 04 de fevereiro de 2019, foi alterada a lei n. 12334/10 pela Câmara dos Deputados, sendo acrescentados mais tópicos que estabelecem critérios para realização do PAE. Este definirá as atitudes cabíveis e necessárias que os empreendedores deverão tomar em caso de contingência, sendo necessário que contenha no mínimo:

- I - identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e cenários acidentais possíveis;
- II - mapeamento e caracterização das áreas vulneráveis, considerando o pior cenário identificado;
- III - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;
- IV - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;
- V - dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários à resposta ao pior cenário identificado;

- VI - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, com uso de sistema de alerta sonoro sempre que houver risco de dano a seres humanos e aos animais; e
- VII - preparação das comunidades e autoridades locais para resposta rápida em caso de ocorrência de desastre. (BRASIL, 2019, Art. 12º)

De acordo com essa alteração feita pela Câmara dos Deputados, para o desenvolvimento do PAE será considerada a participação de representantes locais, do órgão fiscalizador e da Defesa Civil, sendo o empreendedor responsável pela manutenção e efetuação das exigências do PAE e a Defesa Civil juntamente com outras companhias de emergência desocupar o local de risco.

Em casos de emergência, deve ser realizado um procedimento chamado “Sala de Situação”, procedimento responsável pela comunicação interna e externa sobre a situação emergencial, sendo a interna o direcionamento dos casos aos órgãos responsáveis e a externa as informações íntegras à sociedade.

Ainda foi definido que sejam instaladas Sirenes aos locais próximos a jusante que podem ser afetadas em um suposto rompimento, bem como a realização de simulações para com a sociedade que vive ao redor.

No Plano de Ação Emergencial, segundo o Manual do Empreendedor Sobre Segurança Barragem (Volume IV, 2016), deve ser estabelecida uma Zona de Autossalvamento (ZAS), isto é, o território mais próximo ao local do rompimento, logo, o território mais crítico por não haver tempo suficiente para que as autoridades tomem providencia naquele lugar, em caso de emergência.

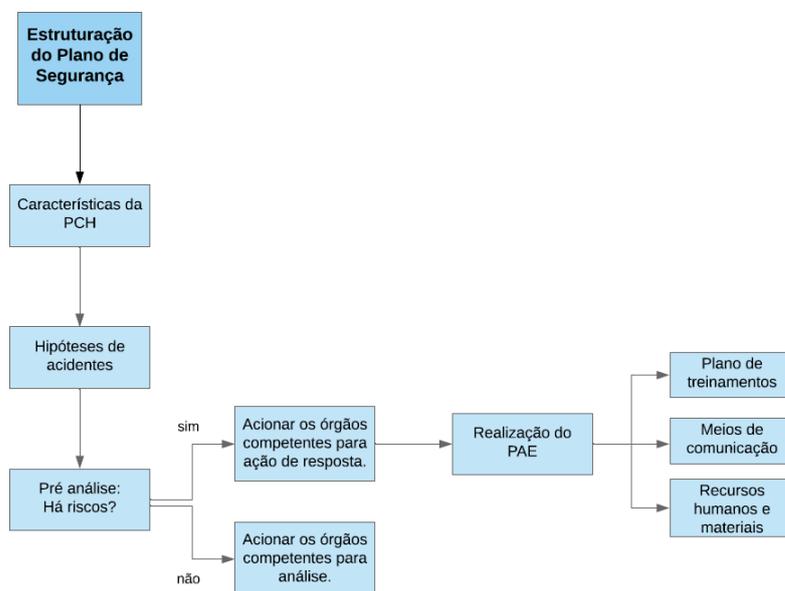
“A proposta de Minuta da Resolução da ANA referente ao PAE define que para o estabelecimento da ZAS se deve adotar a menor das seguintes distâncias: 10 km ou a distância que corresponda ao tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos.”
(Agência Nacional de Água, 2016, p.16)

O Manual do Empreendedor sobre segurança de barragens (Volume IV, 2016), explica que, no PAE é necessária a descrição de situações que podem afetar a segurança da barragem como: tempestades, deslizamentos da encosta da barragem, sabotagem humana, deterioração da construção da barragem, exploração do uso da barragem, entre outros.

O Plano de ação emergencial se dá devido a possíveis acidentes identificados. Ao identificar as características da PCH e as hipóteses nela

encontrada é realizada a estruturação do plano de segurança emergencial, cujo analisa e responde com ações determinadas de acordo com cada situação. Conforme fluxograma abaixo:

Figura 33: Fluxograma



Fonte: Adaptado de ANA

A gestão da emergência e do plano de ação a ser executado dependerá da descrição da situação, que está relacionada com o chamado Nível de Reposta, que é a classificação do nível de periculosidade e risco, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Níveis de Resposta

0	Normal (verde): quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem não comprometam a segurança da barragem, mas devam ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
1	Atenção (amarelo): quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem não comprometam a segurança da barragem no curto prazo, mas devam ser controladas, monitoradas ou reparadas;
2	Alerta (laranja): quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem representem risco à segurança da barragem, no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;
3	Emergência (vermelho): quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem representem risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.

Fonte: O Manual do Empreendedor sobre segurança de barragens (ANA, Volume IV, 2016)

Segundo a publicação de José Sampaio, professor da PUC-MG, sobre “As deficiências do plano de ação emergencial das barragens no Brasil” (2016), os processos do Plano de Ação Emergencial ainda são falhos, pois a lei prevê que este documento seja enviado para a prefeitura e a defesa civil municipal. Considera-se que as agências especializadas são mais competentes para realizar uma análise técnica, sendo responsabilidade dos órgãos municipais analisarem somente as medidas protetivas propostas. Quando o controle deste planejamento não é realizado adequadamente e mantém-se a confiança exclusivamente no empreendedor, as consequências podem ser irreversíveis, custando vidas humanas, ambientais e prejudicialidade econômica.

2.4 Estudos de rompimentos de barragens

Um dos itens constantes do Plano de Ação Emergencial (PAE) é o estudo de *dam break* da barragem, através do qual é possível se determinar o hidrograma de cheia gerado quando há um rompimento e, conseqüentemente, delimitar a área atingida com o rompimento, auxiliando na tomada de decisões em casos de emergência.

Segundo Veról, Miguez e Mascarenhas (2011), uma das informações mais importantes para um PAE são os mapas de inundações, contendo as lâminas d'água ao longo do vale, além do tempo de chegada da vazão de pico e das velocidades do escoamento.

Para o estudo de *dam break* podem ser utilizados tanto modelos matemáticos, como o HEC-RAS, como modelos empíricos, mais simples, desenvolvidos a partir de uma base de dados de ruptura já existente.

Tornton, Pierce e Abt (2011) afirmam que estudos de *dam break* tem sido uma ciência em evolução desde a década de 70 e geralmente abrangem modelos relativamente sofisticados que simulam os hidrogramas de barragem através do canal a jusante. Os autores realizaram uma análise estatística com técnicas de regressão para estimar a vazão de pico de rompimento da barragem, a partir de dados de 87 estudos de *dam break* já realizados.

Foram desenvolvidas equações da vazão de pico Q_p em função da altura da barragem H , do volume de água do reservatório V , do comprimento L do talude, da

largura média do aterro W . Os autores concluíram que pode ser formulada uma equação relacionando a vazão de pico Q_p em função de um produto de L , V e H . Por fim, os autores afirmam que a quantidade de dados disponível é limitada, e o estudo deve ser aprimorado.

Para Xiong (2011) o rompimento de uma barragem é um processo complicado e abrangente e a mecânica de falha real não é bem compreendida. Nem os modelos físicos atuais nem os empíricos poderiam explicar completamente os mecanismos de ruptura.

Para quantificar os efeitos incrementais de um rompimento, o autor simulou 3 (três) cenários para as condições de máxima vazão provável (PMF): o primeiro cenário sem a barragem; o cenário de *dam break* e cenário da barragem sem o rompimento. Além disso, apenas o modo de falha por *piping* foi avaliado, já que o vertedor possui capacidade adequada para impedir a falha da barragem por galgamento. O autor verificou que o rompimento por *piping* prolonga o tempo com níveis maiores da lâmina d'água, o que aumenta a duração do risco. Porém, de acordo com a análise de sensibilidade, as alterações dos parâmetros do estudo de *dam break* não tiveram muita influência na elevação do nível d'água a jusante.

Segundo Froehlich (2016), o nível de detalhe das análises hidrológicas e hidráulicas necessárias para avaliar as consequências das inundações causadas por barragens depende dos riscos a jusante. Se não há probabilidade de perdas de vida e o potencial de danos às propriedades não for significativo, um processo mais simples pode fornecer uma descrição adequada da extensão e do cronograma das ações a serem tomadas caso haja um rompimento.

O autor apresentou dois modelos matemáticos não lineares para prever a vazão de pico de uma cheia proveniente do rompimento de uma barragem de terra, a partir da análise de dados de 41 acidentes ocorridos. O primeiro modelo é puramente empírico, enquanto o segundo é baseado em aproximações. Os resultados fornecidos pelos modelos foram comparados outros métodos de cálculo Q_p e os resultados foram satisfatórios.

Para Sammen et al. (2016,) os estudos de *dam break* são necessários para determinar as vazões de pico e associá-la aos PAEs e incluem três estágios principais, em que o primeiro e o segundo são, respectivamente, a estimativa dos parâmetros geométricos e hidrológicos da brecha, seguidos da rota da cheia a

jusante.

Tanto modelos físicos como numéricos podem ser usados para o estudo de *dam break*. Para os autores, a modelação numérica é considerada uma alternativa melhor e mais barata devido ao alto custo do modelo físico. A previsão da vazão de pico é importante para a elaboração do PAE, portanto, vários autores vêm desenvolvendo abordagens mais simples para esses problemas.

Para esse trabalho optou-se pela utilização do hec-ras em conjunto com o arcmap.

3. ESTUDO DE CASO PCH ATIBAIA

A PCH está localizada na área rural da cidade de Atibaia, no bairro conhecido como Bairro da Usina, justamente por conta da barragem que ali se encontra.

Por volta de 1921, quando o contrato com a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na cidade de Atibaia estava para vencer, Juvenal Alvim, que na época ocupava um cargo de chefe político e anteriormente já havia trazido muitos benefícios para o município, resolve construir uma usina para suprir a demanda de energia da população (CONTI, 2001), Entrando em operação no ano de 1924 (GONÇALVES, 2015).

Os engenheiros responsáveis pela obra erraram no cálculo do que seria a fundação da barragem, inicialmente de 7 metros, mas somente em 14 metros se encontra a base pedida em projeto, o que acarretou na falha do orçamento e para finalizar a obra foi necessário a realização de um empréstimo, feito pelo próprio Juvenal Alvim (CONTI, 2001).

Figura 34: Foto da barragem em meados da década de 1930.



Fonte: História de Atibaia (CONTI, 2001)

Até 1953, a PCH estava sob propriedade da prefeitura de Atibaia, que nesse mesmo ano a concedeu para a Rede Bragantina, que por sua vez realizou uma atualização para ampliar a potência gerada pela usina e isso se deu até meados de

1980, quando, com a construção da Represa Atibainha em Nazaré Paulista, que compõe o Sistema Cantareira, diminui drasticamente a vazão do Rio Atibaia e consequentemente a potência gerada pela usina. Até que em 1994 a PCH foi desativada oficialmente (GONÇALVES, 2015).

No ano de 2008 a administração da PCH foi concedida por meio de licitação ao Brazilian Business Park (BBP), conhecido como Centro Empresarial na região. A intenção do BBP era reativar a PCH, o que não foi viável pelo fato de que a potência gerada pela usina era muito pequena. Então, em 2018 a concessão voltou para a Prefeitura de Atibaia, mas somente oficializado em maio de 2019, conforme decreto 8828/19 emitido pela Prefeitura.

Figura 35: Localização da Barragem



Fonte: Google Earth

A barragem, construída em pedra argamassada, apresenta uma altura de 10 metros e largura da base de 7,20 metros, a crista possui 1,5 m de largura e está localizada na cota de 739,15 m (FERREIRA, 2015). A mesma continua em ótimo estado até os dias de hoje, segundo informações do Engenheiro responsável da Defesa Civil de Atibaia, Sr. Thiago, a chance de ocorrer algum acidente envolvendo a barragem é mínima, pois apesar de não se saber o tipo de fundação utilizada para a sua construção, os dados obtidos ao longo dos anos com as cheias mostraram que a sua estrutura é muito firme, pois já foi possível avaliar um ocorrido em que a

água ultrapassou o vertedouro em dois metros e mesmo nessas condições não houve dano algum.

Durante a vistoria da barragem acompanhada da defesa civil em julho de 2019, foi possível observar que realmente a estrutura da barragem está muito bem conservada, salvo os danos causados por vândalos na casa de máquinas, em que furtaram parte do maquinário e fios de cobre que ali estavam armazenados.

Por conta dessa ação de vândalos, a estrutura de movimentação das comportas, que antes era automatizada, no momento está sendo manual, pois o maquinário dessa estrutura foi furtado.

Figura 36: Estrutura de movimentação das comportas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37: Turbina danificada pela ação de vândalos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto que pode ser citado com maior ênfase é o estado das comportas, que por ainda serem originais e construídas de madeira, apresentam problemas de vedação e mesmo estando completamente fechadas, um pouco da água ainda passa pelas mesmas.

Figura 38: Detalhe do vazamento das comportas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39: Vista lateral do vazamento das comportas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40: Estrutura vertente da barragem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A PCH Atibaia possui um volume do reservatório de 2.800.000 m³ com uma queda bruta de 9,5 metros, além de cota de operação máxima em 739,15 metros e com vazão turbinada máxima de 21,6 m³/s (FERREIRA, 2015).

Tabela 3: Ficha técnica da barragem

Localização	Curso d'água	Rio Atibaia
	Município	Atibaia
Concepção e Construção	Método construtivo	Pedra Argamassada
	Projeto e execução	Desconhecido
Período construtivo	Início das obras	1920
	Término das obras	1924
Reservatório	Área	55,04 ha
	Volume	2.800.000 m ³
	Comprimento	2.160 m
Coroamento	Comprimento	120 m
	Cota	739 m
Vertedouro	Tipo	Soleira livre

Fonte: Elaborado pelo autor.

A área em que se localiza a PCH é considerada APP desde 1986 e lá abriga o Centro de Lazer Municipal Alberto Gavazzi, que no momento se encontra desativado, mas a Prefeitura de Atibaia tem interesse em investir em turismo e existe até a possibilidade de se tornar um museu, porém nada confirmado.

A jusante da barragem existe alguns loteamentos e até mesmo indústrias, o que se faz preciso um plano para que essa população se sinta segura em relação a PCH, não somente em relação a segurança da estrutura da barragem como também em caso de um possível acidente, para que todos saibam como agir.

Após questionamento sobre a relação da PCH com as grandes enchentes ocorridas no ano de 2011, o Sr. Thiago, engenheiro atuante na defesa civil de Atibaia, afirmou que os níveis de água da barragem na época se encontravam abaixo do comum, o que descarta a possibilidade de transbordo da mesma, isentando a barragem de qualquer envolvimento com as enchentes.

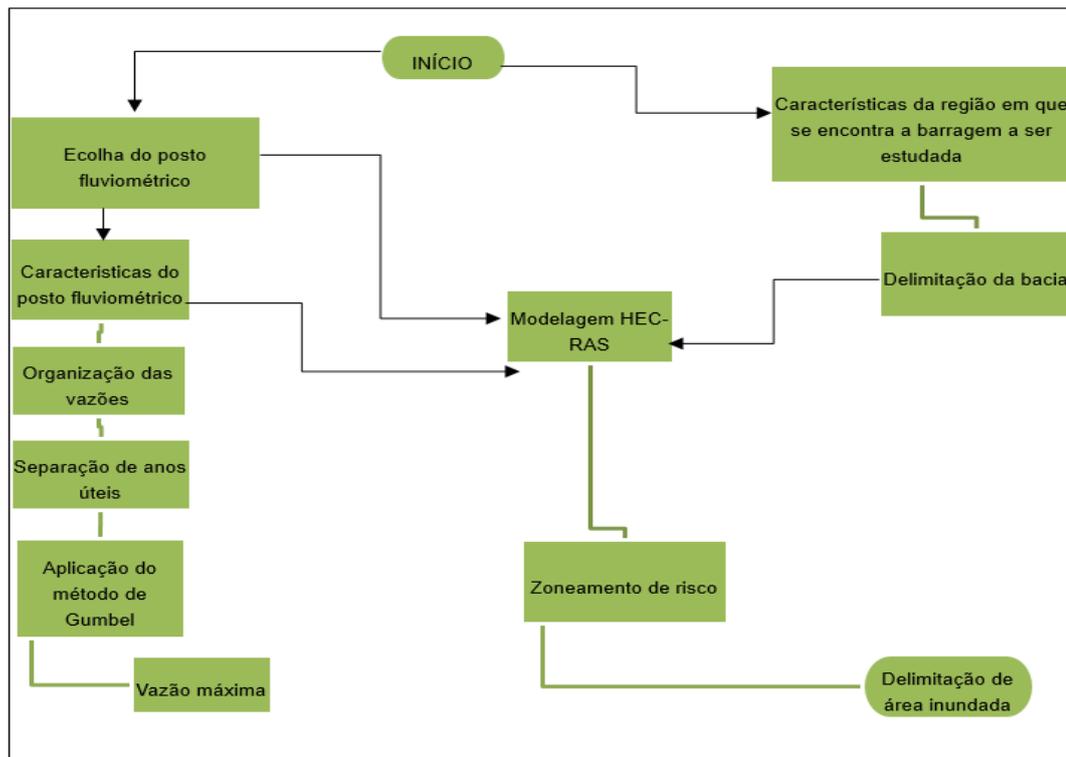
3.1 Mapa de inundação

Para a elaboração da mancha de inundação foi necessário dividir tal processo em três fases, para essas fases foram utilizados dois softwares, o Arc Map 10.6.0, um programa de uso comercial da empresa americana Esri que possui código

fechado (porém foi utilizada a versão estudante com código de licença EVA831000174) e o HEC RAS 4.1.0, um software gratuito. As fases de projetos são exemplificadas e expressas a seguir:

- Vetorização dos elementos geométricos de contorno da área no Arc Map 10.6.0;
- Modelagem hidráulica da geometria no HEC-RAS 4.1.0;
- Exportação da mancha para o Arc Map 10.6.0.

Figura 41: Fluxograma das etapas de projeto

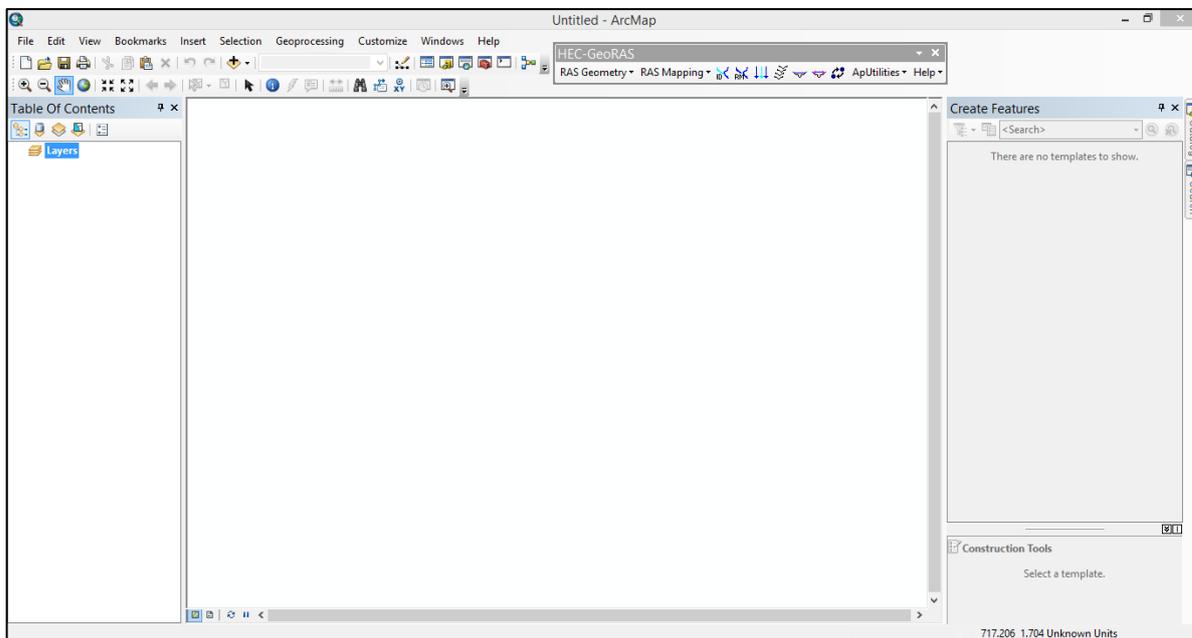


Fonte: Elaborado pelo autor

O ArcMap trata-se de um aplicativo do conjunto de softwares da empresa Esri. O programa em questão possui inúmeras funções, dentre elas a de consultar dados espaciais, além de criar, editar e visualizar mapas conforme demanda requisitada. Possui também interface simples de se operar, em que seus comandos podem ser acessados através de caixas de conteúdo ou ferramentas e as devidas geometrias inseridas ao mesmo se organizam através de camadas. Se fez necessário inserir uma extensão chamada HEC-GeoRAS ao ArcMap, algo que possibilita inserir toda geometria referente a vetorização de elementos notáveis,

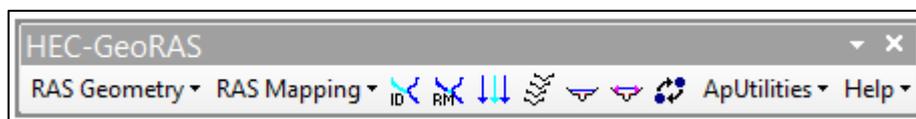
dados esses que serão posteriormente exportados para o HEC-RAS como um único arquivo.

Figura 42: Interface do ArcMap 10.6.0 com o HEC-GeoRAS



Fonte: ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019).

Figura 43: Interface da extensão HEC-GeoRAS



Fonte: ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019).

A vetorização da geometria referente a área de estudo com o Arc Map 10.6.0 foi feita através da extensão HEC-GeoRAS. Entre as informações necessárias para a vetorização estão as camadas River (calha do rio), Xs CutLines Attributes (topologia e informações das seções transversais), Bank (margens do rio), Flowpaths (atribui as distâncias entres as margens e calha do rio) e a camada StorageArea, que foi utilizada apenas como representação do reservatório como coloração azul claro, não sendo usada para o cálculo já que se utilizou a vazão de projeto para a devida análise. O modelo necessita de uma referência espacial e essa escolha foi tida conforme a localização do empreendimento, com coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) EPSG:32723. WGS 84 / UTM zone 23S.

As camadas anteriormente citadas são descritas a seguir com as devidas

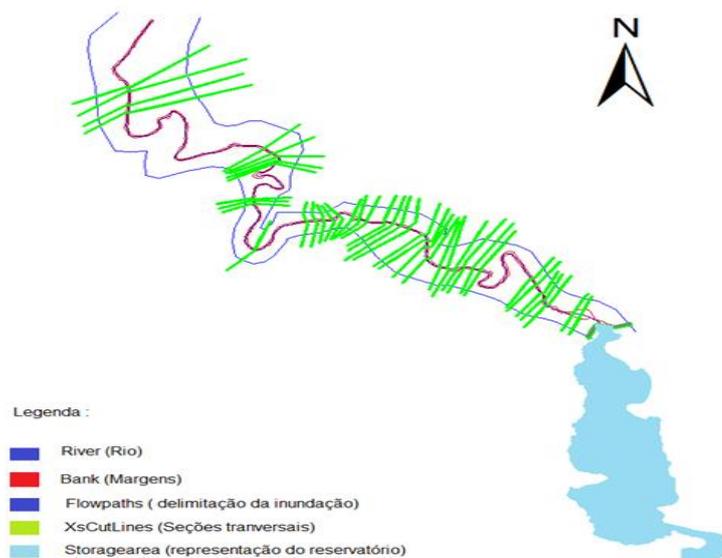
regras geométricas:

- River: Camada de coloração azul escuro do tipo linha, indica a geometria referente ao curso do rio;
- Xs CutLines Atributes: Camada de coloração verde do tipo linha, indica a geometria das seções transversais proveniente de cortes perpendiculares à camada “River” citada anteriormente e também a topologia resultante pós modelagem no HEC-GeoRAS, os elementos inseridos nessa camada não podem se cruzar;
- Bank: Camada de coloração vermelha do tipo linha, indica a geometria referente às margens do rio sempre dispostas de maneira paralela, logo essas não podem se cruzar;
- Flowpaths: Camada de coloração azul escuro do tipo linha, indica a geometria que delimita a área de inundação e atribui a distâncias entre as margens e calha do rio, essa camada deve ter identificação em sua tabela de atributos com os nomes Left (esquerda), Righth (direita) e Channel (canal).

Deve-se ainda utilizar um MDE (modelo digital de elevação) no formato TIN, conforme passos que serão indicados posteriormente.

A figura 44 identifica a geometria inserida no ArcMap com todas as a regras citadas.

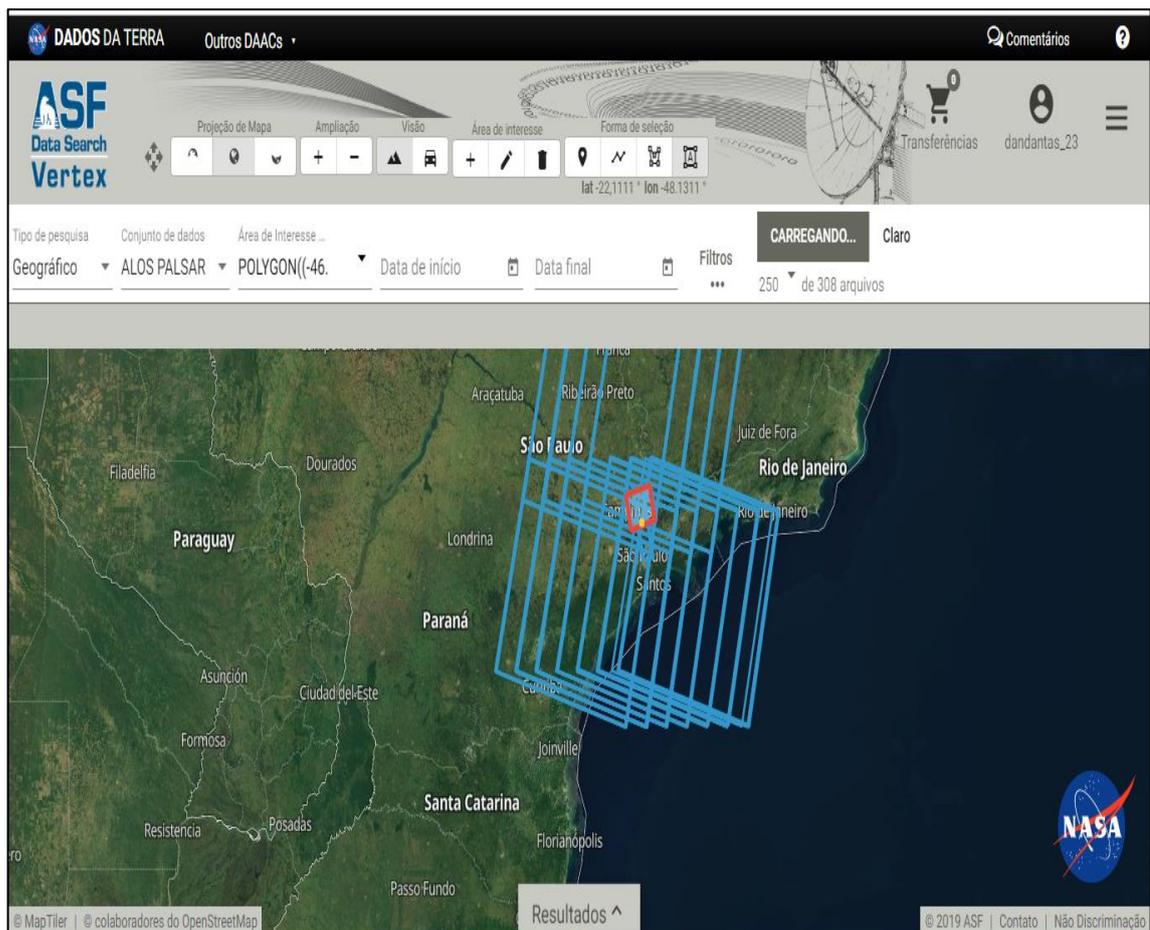
Figura 44: Geometria inserida no Arcmap



Fonte: Elaborado pelo autor (ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019)).

Em conformidade as regras anteriormente ditas, para o procedimento foi utilizado um MDE (modelo digital de elevação) com resolução espacial de 12,5 metros para cada pixel, este foi adquirido do satélite Alos Palsar em formato FBS e contém os arquivos de elevação em formato '.tif', posteriormente foi convertido para a extensão "TIN" que é a extensão requerida para trabalhar com o Hec-GeoRAS. A figura 45 indica em vermelho o polígono da área de interesse e demais polígonos em coloração azul dos polígonos resultantes da busca no site.

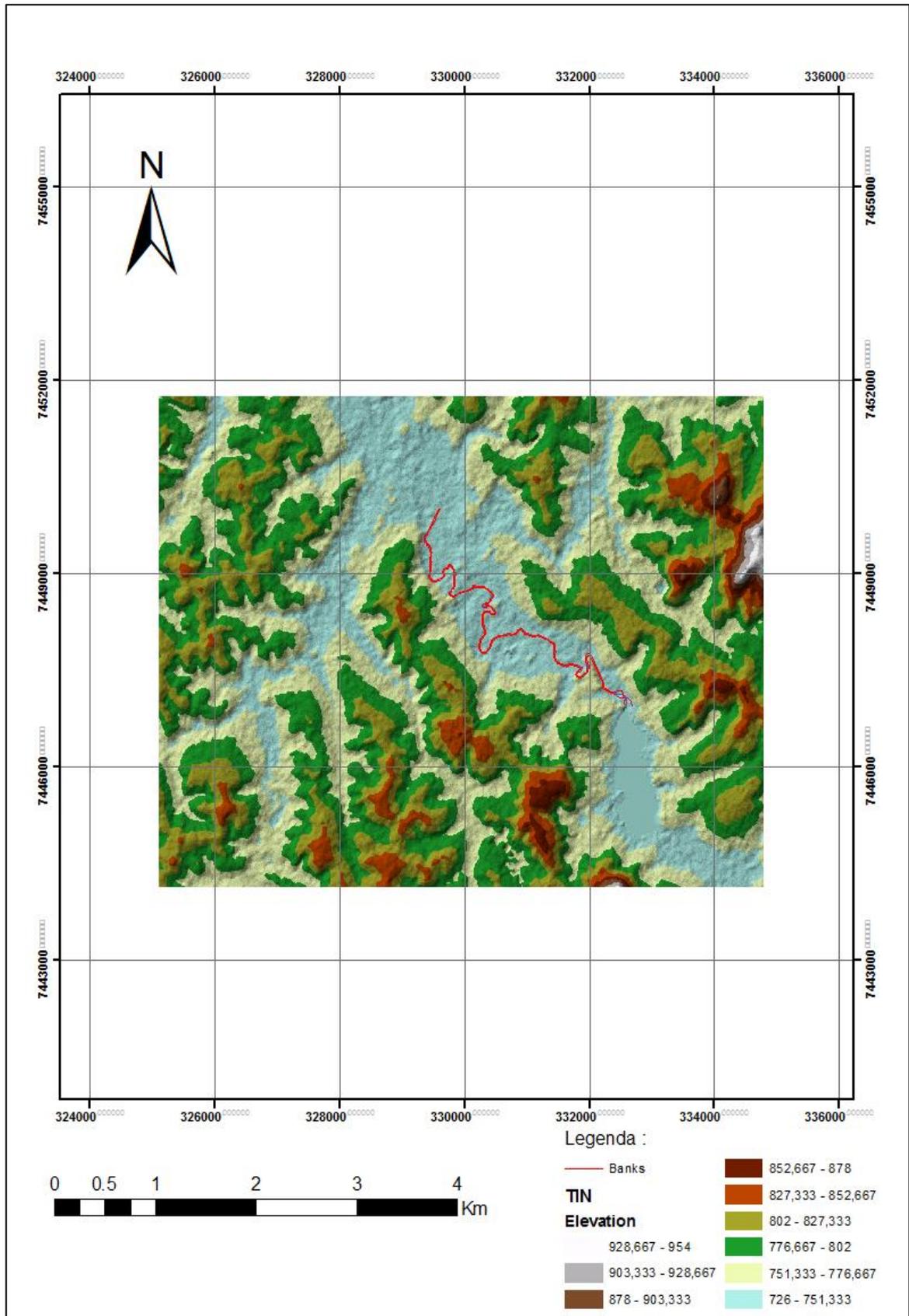
Figura 45: Busca pelo MDE da área de interesse



Fonte: Conjunto de dados: © JAXA / METI ALOS PALSAR.

A figura 46 mostra a representação do modelo digital de elevação no formato TIN referente a área de estudo com a camada "Bank " para referenciar o traçado do rio.

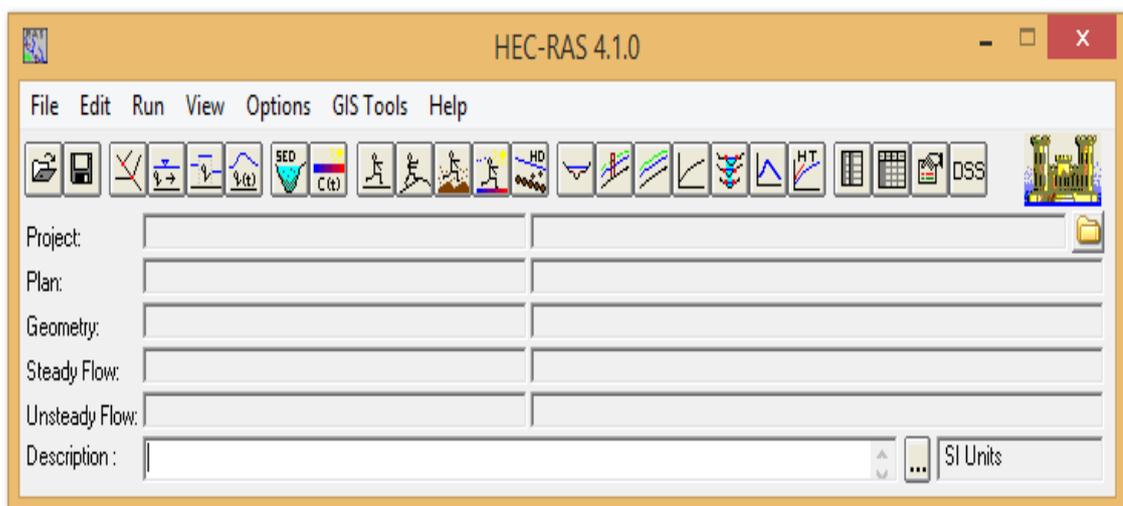
Figura 46: Modelo digital de elevação



Fonte: Elaborado pelo autor (ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019)).

O HEC-RAS é um software desenvolvido para análises hidrológicas específicas, o programa foi elaborado pelo Exército Norte Americano, desta maneira a sigla é proveniente da abreviação do termo Hydrologic Engineering Center - River Analysis System e ao trazer esse termo para a língua portuguesa terá sua tradução como Sistema de Análise de Rios do Corpo de Engenharia do Exército Norte Americano. O seu uso é muito requisitado uma vez que efetua com grande precisão cálculos e modelagem para diferentes fins de análises, entre essas podem ser citados escoamento permanente ou não permanente, movimentação de sedimentos e até mesmo qualidade da água. O programa utiliza modelos matemáticos de grandes referências e que são utilizados mundialmente, o que atesta a veracidade e precisão dos resultados obtidos, sendo assim uma ferramenta de grande valia para apurar e avaliar a gravidade de uma tragédia hidrológica.

Figura 47: Interface do HEC-RAS 4.0.1

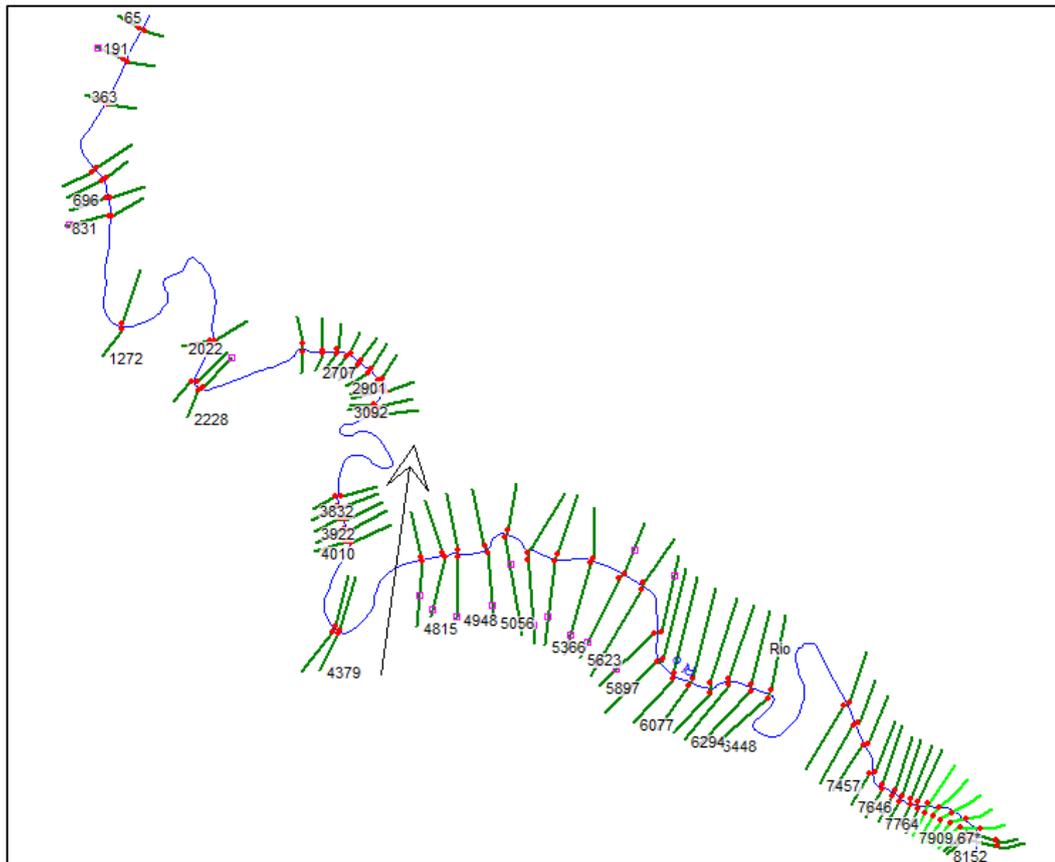


Fonte: Disponível em: (<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>)

Concluída a vetorização dos elementos River, Bank, Xs CutLines e Flowpath foi exportado um arquivo no formato “.sdf”, este que é uma tipologia aceita pelo programa HEC-RAS.

A figura 48 mostra a geometria proveniente do ArcMap que posteriormente foi inserida no HEC-RAS.

Figura 48: Geometria inserida no HEC-RAS



Fonte: Elaborado pelo autor (ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019)).

Após exportada a geometria para o HEC-RAS foi elaborada a devida modelagem hidráulica, sendo necessário conter as seguintes informações:

- Vazão de projeto do vertedouro;
- Coeficientes de Manning adaptados para o Rio Atibaia;
- Condições de contorno das margens. Para o exemplo foram utilizados o tipo crítico para a margem esquerda e $NI = 0,0014$ para a margem direita, referente a declividade média do rio obtida no próprio HEC-RAS;
- Salvar os resultados e exportar para o Arc Map 10.6.0.

Para a obtenção da vazão de projeto foi utilizado o método de Gumbel, conhecido também como método dos extremos, que se resume em uma fórmula que utiliza valores de vazões máximas para a obtenção dos valores " \bar{X} " (médias das vazões do período de interesse) e desvio padrão " s " da amostra de vazões

máximas. Essas duas informações são inseridas no seguinte modelo matemático.

$$X = \bar{X} - S \cdot \left\{ 0,45 + 0,7779 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \right\}$$

Onde:

\bar{X} = Média da amostra de vazões extremas;

S = Desvio padrão da amostra de vazões extremas;

\ln = Logaritmo Neperiano;

TR = Período de retorno para a tipologia de barragem.

Para isso foi necessário recorrer ao banco de dados Hidro Web da ANA, essa ação possibilitou realizar o download de dados históricos do posto Fluviométrico 62670000 com as coordenadas de latitude = -23,11 e longitude = -46,56, pertencente a bacia do Rio Atibaia. O mesmo possui uma área de drenagem de 1.140 km² e está inserida na bacia do Rio Paraná. A bacia do Rio Atibaia detém uma área de drenagem de 1.376 km², coincidentemente tem a ANA como responsável pelo posto fluviométrico em questão.

Foi realizada uma organização da tabela de vazões, indicando os extremos anuais entre os anos de 1962 a 2014. Vale ressaltar que os anos de 2008 e 1992 foram excluídos por não apresentarem todos os dados de vazão. Com isso a amostra de vazões estará no contida no intervalo de 1962 até 2014 com as devidas exclusões.

É importante ressaltar que de acordo com as tabelas a seguir, percebeu-se que as vazões presentes nos anos de 1966, 1970 e 1983 foram maiores que a vazão decorrente no ano de 2011, ano em que houve grandes enchentes na cidade de Atibaia, mostrando que com ocorrências de vazões maiores não houve enchentes, logo se confirma a fala do Sr. Engenheiro Thiago, de que a barragem não está relacionada com as tragédias em questão.

As tabelas 4 e 5 apresentam as vazões extremas no intervalo de 1962 até 2014 para uma área de drenagem de 1.140 km².

Tabela 4: Vazões máximas anuais para cada mês

Vazões máximas anuas por mês (A = 1140 km ²)												
ANO	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2014	6.622	7.636	8.521	9.442	5.057	4.909	5.281	4.69	6.136	4.909	8.252	14.892
2013	21.477	20.338	12.727	13.149	9.631	8.074	9.536	6.705	9.442	14.669	13.47	9.442
2012	29.986	13.043	8.702	14.669	20.213	22.77	13.577	6.297	6.459	11.897	12	20.59
2011	86.623	20.089	32.103	15.793	9.536	14.119	7.038	9.162	9.069	15.907	22.901	18.132
2010	81.808	50.116	27.027	19.223	4.836	7.985	18.012	5.82	10.301	10.108	12.622	16.366
2009	19.592	27.027	17.064	9.631	10.205	9.821	15.907	16.251	23.957	18.012	20.842	44.149
2008	17.064	13.256	24.358	21.222	23.824	12.832	6.463	14.119	0	11.693	10.692	16.251
2007	26.096	14.229	10.266	10.038	8.424	8.495	20.213	6.335	7.385	10.692	19.964	16.251
2006	23.951	27.986	22.639	18.252	5.648	6.527	9.811	7.657	9.962	8.072	15.34	18.614
2005	23.249	16.321	23.133	8.712	24.659	8.712	8.379	7.726	9.65	15.197	13.611	15.4
2004	11.898	24.422	12.366	16.84	21.187	18.755	14.596	5.441	7.406	15.909	16.84	15.4
2003	26.096	24.541	9.737	5.876	7.248	7.726	8.379	6.173	6.323	16.632	14.695	15.4
2002	27.285	22.179	14.596	9.22	7.406	4.947	6.248	8.297	7.486	7.969	12.65	11.345
2001	30.962	18.865	14.596	15.268	8.876	5.15	6.502	6.337	8.783	17.114	18.912	27.705
2000	49.871	37.475	16.385	13.424	9.221	7.028	10.242	14.713	21.446	9.121	20.307	32.564
1999	54.675	49.871	31.225	14.704	14.444	17.121	9.288	10.99	15.761	16.709	20.112	16.984
1998	28.679	35.972	22.357	11.941	20.999	10.99	9.843	12.673	14.704	25.806	10.873	27.765
1997	61.658	45.06	15.097	13.17	18.098	25.485	8.852	13.295	13.17	12.92	25.165	23.59
1996	42.971	27.765	47.601	19.674	14.835	11.941	10.182	14.966	33.391	24.215	21.598	27.27
1995	28.015	55.932	34.234	42.63	20.999	11.58	21.749	13.17	14.704	21.9	15.495	21.298
1994	33.67	49.871	28.015	32.585	11.868	12.923	23.563	9.677	17.696	28.316	11.607	27.565
1993	21.963	41.956	30.134	21.53	20.096	21.242	7.563	10.442	26.816	20.096	11.087	22.543
1992	0	0	0	0	0	13.724	13.993	11.476	21.098	17.278	19.527	28.015
1991	54.261	27.865	27.565	58.959	54.261	12.394	8.921	9.677	18.82	24.738	15.348	17.836
1990	44.005	16.312	28.302	12.206	10.701	8.311	18.653	15.304	12.761	12.9	12.206	14.448
1989	48.348	38.017	36.861	21.042	9.76	13.179	35.382	35.546	20.591	15.591	18.21	22.558
1988	36.367	46.135	53.44	27.986	34.565	33.265	11.108	14.875	14.875	27.2	23.936	33.914
1987	60.748	33.752	33.103	17.184	33.589	26.886	16.167	17.33	20.141	23.936	32.294	25.793
1986	14.306	20.141	24.244	12.483	17.038	18.358	12.761	23.628	10.028	11.518	25.637	34.402
1985	36.314	39.837	42.786	14.431	29.428	20.212	21.451	23.267	28.234	29.428	35.882	16.822
1984	38.061	19.863	15.85	28.829	31.049	14.122	13.512	28.431	31.049	16.822	19.69	28.234
1983	58.636	66.867	76.705	53.568	66.38	90.156	51.587	25.326	52.822	46.519	42.786	39.39
1982	31.972	25.016	26.417	16.892	9.894	16.312	14.165	12.622	18.949	32.779	44.706	46.282
1981	39.985	13.46	10.431	7.537	8.311	12.068	8.311	6.775	6.524	27.514	24.707	23.628
1980	27.357	18.949	18.063	22.558	8.181	17.038	7.155	7.923	11.381	12.206	21.646	29.889
1979	13.728	10.413	12.547	12.431	14.59	12.068	12.9	16.457	13.882	24.09	16.747	19.991
1978	25.423	22.518	33.517	8.233	11.293	24.307	10.522	7.743	8.634	9.877	24.307	21.446
1977	44.309	48.295	30.66	33.326	27.879	36.501	9.141	9.403	16.884	18.968	27.637	41.622
1976	18.584	45.775	33.326	46.874	50.214	48.772	56.886	40.896	46.874	35.858	47.583	46.169
1975	26.265	45.775	41.074	6.967	8.034	4.837	6.182	6.967	9.951	13.222	22.926	42.968
1974	44.005	40.731	41.245	28.853	16.018	32.468	19.657	9.535	10.23	16.467	33.298	27.716
1973	34.465	36.649	30.488	31.641	22.611	16.168	24.031	13.95	15.571	31.146	36.818	42.795
1972	55.511	53.44	48.348	30.16	17.068	12.932	25.145	24.826	13.512	45.06	32.799	26.105
1971	28.209	16.621	23.805	16.757	14.726	33.492	13.396	8.547	9.289	47.601	25.992	53.44
1970	106.89	134.48	53.44	22.508	21.081	21.507	16.894	25.552	25.846	17.858	21.507	19.388
1969	20.373	14.192	19.809	27.023	12.217	12.087	5.347	8.794	3.903	17.719	28.955	23.371
1968	39.028	24.385	25.699	22.939	20.655	11.828	9.414	13.001	10.166	14.726	6.387	24.385
1967	71.391	49.105	52.629	31.664	19.248	28.507	15.94	10.419	16.757	26.139	32.728	32.576
1966	36.567	47.231	66.867	23.805	19.669	12.347	10.673	11.312	12.087	21.65	21.507	118.86
1965	51.038	65.895	32.576	23.66	26.433	12.87	16.484	9.914	18.829	21.365	19.248	35.677
1964	26.876	57.646	25.552	14.994	16.348	7.335	11.184	6.387	9.789	16.348	17.858	32.271
1963	66.867	41.29	27.023	20.373	11.958	10.293	7.455	9.663	4.783	17.719	11.828	15.399
1962	31.21	57.646	78.919	22.508	21.365	12.347	10.546	17.031	13.133	25.406	20.797	53.033

Fonte: HidroWeb, Agência Nacional de Águas.

Em concordância com a tabela 4, são apresentados os valores de vazões extremas anuais, contidos entre os anos de 1962 e 2014 para a área de drenagem de 1.140 km² na tabela 5.

Tabela 5: Vazões extremas anuais

Vazões máximas anuais (A = 1140 Km ²)			
ANO	Vazão (m ³ /s)	ANO	Vazão (m ³ /s)
2014	14.89	1987	60.75
2013	21.48	1986	34.40
2012	29.99	1985	42.79
2011	86.62	1984	38.06
2010	81.81	1983	90.16
2009	44.15	1982	46.28
2008	24.36	1981	39.99
2007	26.10	1980	29.89
2006	27.99	1979	24.09
2005	24.66	1978	33.52
2004	24.42	1977	48.30
2003	26.10	1976	56.89
2002	27.29	1975	45.78
2001	30.96	1974	44.01
2000	49.87	1973	42.80
1999	54.68	1972	55.51
1998	35.97	1971	53.44
1997	61.66	1970	134.48
1996	47.60	1969	28.96
1995	55.93	1968	39.03
1994	49.87	1967	71.39
1993	41.96	1966	118.86
1992	28.02	1965	65.90
1991	58.96	1964	57.65
1990	44.01	1963	66.87
1989	48.35	1962	78.92
1988	53.44		

Fonte: HidroWeb, Agência Nacional de Águas, adaptado pelo autor.

Como expresso anteriormente, a área de drenagem do posto fluviométrico 62670000 têm valor de 1.1140 km² e difere da área de drenagem da bacia do Rio Atibaia que possui uma área de 1.376 km². Com isso foram elaboradas novas tabelas inserindo o fator de divisão entre as duas áreas de drenagem. O fator é dado a seguir:

$$1.376/1140 = 1,207017544$$

Inserindo o fator da divisão nas tabelas 6 e 7 foram obtidos novos valores de vazões extremas, artifício que readequa as vazões da área de drenagem do posto fluviométrico 62670000 de 1.140 km² para a área de drenagem de 1.376 km² referente a Bacia do Rio Atibaia. A seguir são apresentadas as tabelas de vazões extremas no intervalo de 1962 até 2014 para uma área de drenagem de 1.376 km².

Tabela 6: Vazões máximas anuais para cada mês

Vazões máximas anuais por mês (A = 1376 km ²)												
ANO	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2014	7,9929	9,2168	10,285	11,397	6,1039	5,9252	6,3743	5,6609	7,4063	5,9252	9,9603	17,975
2013	25,923	24,548	15,362	15,871	11,625	9,7455	11,51	8,0931	11,397	17,706	16,259	11,397
2012	36,194	15,743	10,503	17,706	24,397	27,484	16,388	7,6006	7,7961	14,36	14,484	24,852
2011	104,56	24,248	38,749	19,062	11,51	17,042	8,495	11,059	10,946	19,2	27,642	21,886
2010	98,744	60,491	32,622	23,202	5,8371	9,638	21,741	7,0248	12,433	12,201	15,235	19,754
2009	23,648	32,622	20,597	11,625	12,318	11,854	19,2	19,615	28,917	21,741	25,157	53,289
2008	20,597	16	29,401	25,615	28,756	15,488	7,801	17,042	0	14,114	12,905	19,615
2007	31,498	17,175	12,391	12,116	10,168	10,254	24,397	7,6465	8,9138	12,905	24,097	19,615
2006	28,909	33,78	27,326	22,03	6,8172	7,8782	11,842	9,2421	12,024	9,743	18,516	22,467
2005	28,062	19,7	27,922	10,516	29,764	10,516	10,114	9,3254	11,648	18,343	16,429	18,588
2004	14,361	29,478	14,926	20,326	25,573	22,638	17,618	6,5674	8,9392	19,202	20,326	18,588
2003	31,498	29,621	11,753	7,0924	8,7485	9,3254	10,114	7,4509	7,632	20,075	17,737	18,588
2002	32,933	26,77	17,618	11,129	8,9392	5,9711	7,5414	10,015	9,0357	9,6187	15,269	13,694
2001	37,372	22,77	17,618	18,429	10,713	6,2161	7,848	7,6489	10,601	20,657	22,827	33,44
2000	60,195	45,233	19,777	16,203	11,13	8,4829	12,362	17,759	25,886	11,009	24,511	39,305
1999	65,994	60,195	37,689	17,748	17,434	20,665	11,211	13,265	19,024	20,168	24,276	20,5
1998	34,616	43,419	26,985	14,413	25,346	13,265	11,881	15,297	17,748	31,148	13,124	33,513
1997	74,422	54,388	18,222	15,896	21,845	30,761	10,685	16,047	15,896	15,595	30,375	28,474
1996	51,867	33,513	57,455	23,747	17,906	14,413	12,29	18,064	40,304	29,228	26,069	32,915
1995	33,815	67,511	41,321	51,455	25,346	13,977	26,251	15,896	17,748	26,434	18,703	25,707
1994	40,64	60,195	33,815	39,331	14,325	15,598	28,441	11,68	21,359	34,178	14,01	33,271
1993	26,51	50,642	36,372	25,987	24,256	25,639	9,1287	12,604	32,367	24,256	13,382	27,21
1992	0	0	0	0	0	16,565	16,89	13,852	25,466	20,855	23,569	33,815
1991	65,494	33,634	33,271	71,165	65,494	14,96	10,768	11,68	22,716	29,859	18,525	21,528
1990	53,115	19,689	34,161	14,733	12,916	10,032	22,514	18,472	15,403	15,571	14,733	17,439
1989	58,357	45,887	44,492	25,398	11,78	15,907	42,707	42,905	24,854	18,819	21,98	27,228
1988	43,896	55,686	64,503	33,78	41,721	40,151	13,408	17,954	17,954	32,831	28,891	40,935
1987	73,324	40,739	39,956	20,741	40,543	32,452	19,514	20,918	24,311	28,891	38,979	31,133
1986	17,268	24,311	29,263	15,067	20,565	22,158	15,403	28,519	12,104	13,902	30,944	41,524
1985	43,832	48,084	51,643	17,418	35,52	24,396	25,892	28,084	34,079	35,52	43,31	20,304
1984	45,94	23,975	19,131	34,797	37,477	17,046	16,309	34,317	37,477	20,304	23,766	34,079
1983	70,775	80,71	92,584	64,658	80,122	108,82	62,266	30,569	63,757	56,149	51,643	47,544
1982	38,591	30,195	31,886	20,389	11,942	19,689	17,097	15,235	22,872	39,565	53,961	55,863
1981	48,263	16,246	12,59	9,0973	10,032	14,566	10,032	8,1775	7,8746	33,21	29,822	28,519
1980	33,02	22,872	21,802	27,228	9,8746	20,565	8,6362	9,5632	13,737	14,733	26,127	36,077
1979	16,57	12,569	15,144	15,004	17,61	14,566	15,571	19,864	16,756	29,077	20,214	24,129
1978	30,686	27,18	40,456	9,9374	13,631	29,339	12,7	9,3459	10,421	11,922	29,339	25,886
1977	53,482	58,293	37,007	40,225	33,65	44,057	11,033	11,35	20,379	22,895	33,358	50,238
1976	22,431	55,251	40,225	56,578	60,609	58,869	68,662	49,362	56,578	43,281	57,434	55,727
1975	31,702	55,251	49,577	8,4093	9,6972	5,8383	7,4618	8,4093	12,011	15,959	27,672	51,863
1974	53,115	49,163	49,783	34,826	19,334	39,189	23,726	11,509	12,348	19,876	40,191	33,454
1973	41,6	44,236	36,8	38,191	27,292	19,515	29,006	16,838	18,794	37,594	44,44	51,654
1972	67,003	64,503	58,357	36,404	20,601	15,609	30,35	29,965	16,309	54,388	39,589	31,509
1971	34,049	20,062	28,733	20,226	17,775	40,425	16,169	10,316	11,212	57,455	31,373	64,503
1970	129,02	162,32	64,503	27,168	25,445	25,959	20,391	30,842	31,197	21,555	25,959	23,402
1969	24,591	17,13	23,91	32,617	14,746	14,589	6,4539	10,615	4,711	21,387	34,949	28,209
1968	47,107	29,433	31,019	27,688	24,931	14,277	11,363	15,692	12,271	17,775	7,7092	29,433
1967	86,17	59,271	63,524	38,219	23,233	34,408	19,24	12,576	20,226	31,55	39,503	39,32
1966	44,137	57,009	80,71	28,733	23,741	14,903	12,882	13,654	14,589	26,132	25,959	143,47
1965	61,604	79,536	39,32	28,558	31,905	15,534	19,896	11,966	22,727	25,788	23,233	43,063
1964	32,44	69,58	30,842	18,098	19,732	8,8535	13,499	7,7092	11,815	19,732	21,555	38,952
1963	80,71	49,838	32,617	24,591	14,434	12,424	8,9983	11,663	5,7732	21,387	14,277	18,587
1962	37,671	69,58	95,257	27,168	25,788	14,903	12,729	20,557	15,852	30,665	25,102	64,012

Fonte: HidroWeb, Agência Nacional de Águas.

Em conformidade com a tabela 6, são apresentados os valores de vazões extremas anuais, contidos entre os anos de 1962 e 2014 para a área de drenagem de 1.376 km² na tabela 7.

Tabela 7: Vazões extremas anuais

Vazões máximas anuais (A = 1376 km ²)			
ANO	Vazão (m ³ /s)	ANO	Vazão (m ³ /s)
2014	17.97	1987	73.32
2013	25.92	1986	41.52
2012	36.19	1985	51.64
2011	104.56	1984	45.94
2010	98.74	1983	108.82
2009	53.29	1982	55.86
2008	29.40	1981	48.26
2007	31.50	1980	36.08
2006	33.78	1979	29.08
2005	29.76	1978	40.46
2004	29.48	1977	58.29
2003	31.50	1976	68.66
2002	32.93	1975	55.25
2001	37.37	1974	53.11
2000	60.20	1973	51.65
1999	65.99	1972	67.00
1998	43.42	1971	64.50
1997	74.42	1970	162.32
1996	57.46	1969	34.95
1995	67.51	1968	47.11
1994	60.20	1967	86.17
1993	50.64	1966	143.47
1992	33.81	1965	79.54
1991	71.16	1964	69.58
1990	53.11	1963	80.71
1989	58.36	1962	95.26
1988	64.50		

Fonte: HidroWeb, Agência Nacional de Águas, adaptado pelo autor.

Com os valores de vazões máximas da tabela 7, estes foram introduzidos na fórmula de Gumbel como mostra o exemplo:

$$X = 59,6 - 28,24 \cdot \left\{ 0,45 + 0,7779 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{1000}{1000 - 1} \right) \right] \right\}$$

Onde:

\bar{X} = Média da amostra de vazões extremas → 59,6;

S = Desvio padrão da amostra de vazões extremas → 28,24;

\ln = Logaritmo Neperiano;

TR = Período de retorno para a tipologia de barragem → 1000 anos.

O período de retorno utilizado foi de 1000 anos conforme Instrução Técnica DPO nº 11, DE 30/05/2017, do DAEE como exemplifica a tabela 8.

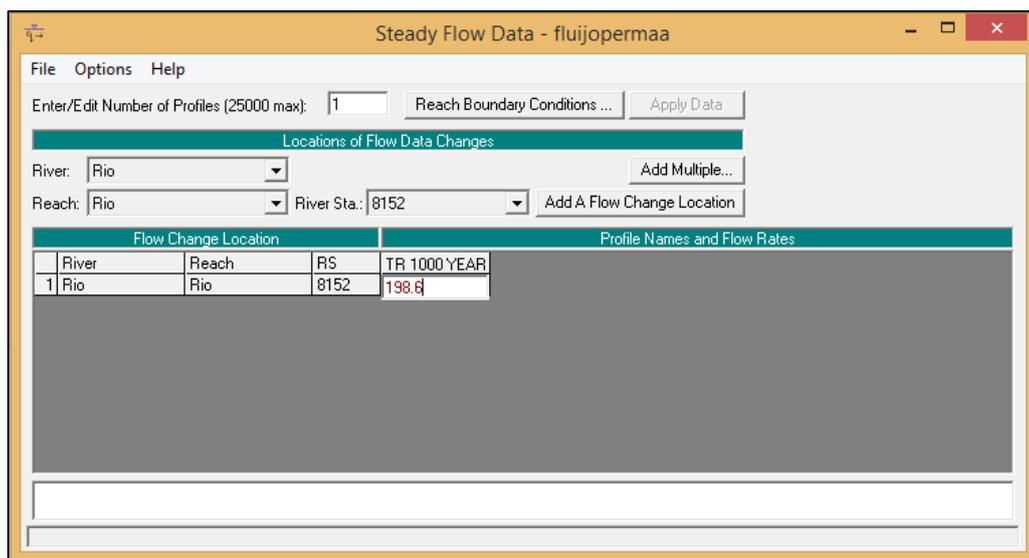
Tabela 8: Valores mínimos de período de retorno para projetos de barramentos

Maior altura do barramento H (m)	TR (anos)	
	Região de influência a jusante	
	Sem risco para habitações ou pessoas	Com risco para habitações ou pessoas
H ≤ 5	100	500
5 < H ≤ 10	500	1000
H > 10	1000	10000

Fonte: INSTRUÇÃO TÉCNICA DPO nº 11, DE 30/05/2017

Desta maneira o valor de vazão máxima resultou em 198,6 m³/s, valor esse que indica a vazão de projeto do vertedouro para um período de retorno de mil anos. A figura 49 indica o valor resultante de vazão inserido no HEC-RAS, através da aba Edit e campo Steady Flow Data.

Figura 49: Valor resultante da vazão



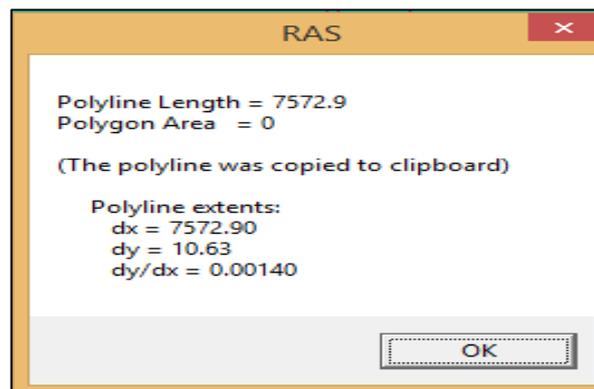
Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

Como dito anteriormente o HEC-RAS também necessita de condições de contorno do fluido, condições essas que são ineridas nos extremos de todos os trechos, e irá possibilitar o cálculo de superfície de linhas d'água. Essa configuração é inserida através do caminho: Edit> StedyFlow Data> Reach Boundary Conditions.

É importante frisar que existem diferentes maneiras de atribuir o contorno, podendo ser destacados: elevação da superfície do fluido, profundidade normal e crítica, assim como curvas chaves e hidrogramas unitários. Para o rio acima (Upstream) foi considerado a configuração (Critical Depth), ou seja, do tipo crítico e para o rio abaixo (Downstream) a configuração (Normal Depth $S = 0,0014$), uma condição que se refere a declividade do talvegue, obtido no próprio HEC-RAS, esse valor é obtido através do caminho: View> Water Surface Profile

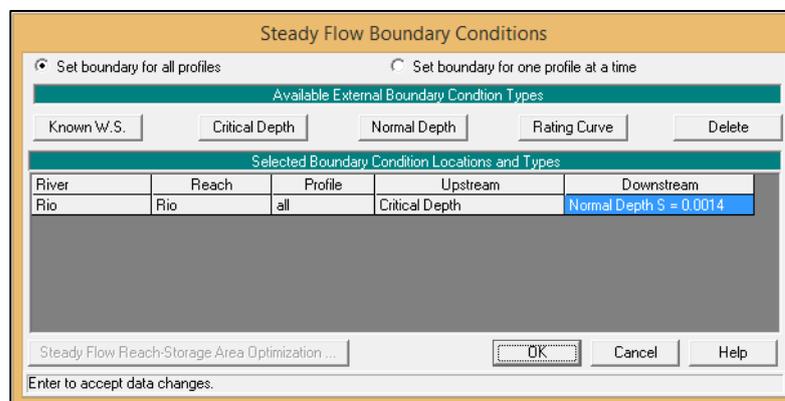
As figuras 50 e 51 mostram a obtenção do valor de Normal Depth $S = 0,0014$ após todas as configurações de contorno inseridas.

Figura 50: Obtenção do valor de Normal Depth



Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

Figura 51: Condições de contorno inseridas

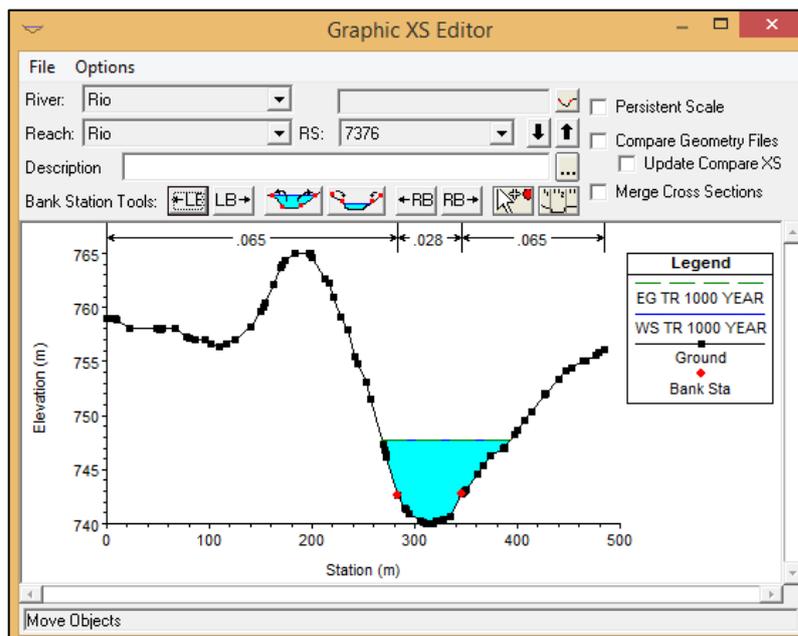


Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

O software HEC-RAS necessita de parâmetros de escoamento nas calhas resultantes, assim foram inseridos os coeficientes de Manning para o canal e margens do rio. Vale ressaltar que o próprio Software disponibiliza uma gama de valores de coeficientes sendo necessário realizar uma calibração que se resume em tomar como referência uma tipologia dada pelo mesmo e adaptá-la conforme as características do Rio Atibaia.

Buscando ter como referência as características físicas do Rio Atibaia, foi então considerado valores iguais de coeficientes de Manning para as margens e calha principal a fim de otimizar e simplificar a modelagem hidráulica, considerando então o valor de 0,065 para as margens e 0,028 para calha principal, esses valores tratam-se de números adimensionais que indicam as condições de rugosidade dos elementos anteriormente citados. Em conformidade a estes dizeres são apresentadas duas figuras, a figura 52 mostrando inicialmente uma seção transversal localizada na estação 7376, onde são cotados os valores de Manning para as margens esquerda e direita assim como o canal principal, já a figura 53 mostra uma tabela indicando que todas as seções transversais receberam os mesmos valores de coeficientes através do campo “All Regions” destacado com um polígono vermelho.

Figura 52: Coeficientes de Manning para todas as seções



Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

Figura 53: Tabela de seções com os coeficientes de Manning

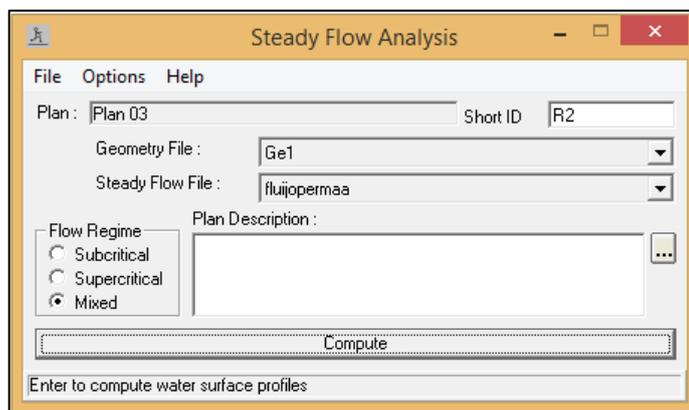
River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1 8183.54	n	0.065	0.028	0.065
2 8177.432	n	0.065	0.028	0.065
3 8168.246	n	0.065	0.028	0.065
4 7999.466	n	0.065	0.028	0.065
5 7945.466	n	0.065	0.028	0.065
6 7737.229	n	0.065	0.028	0.065
7 7676.179	n	0.065	0.028	0.065
8 7605.874	n	0.065	0.028	0.065
9 7513.496	n	0.065	0.028	0.065
10 7451.16	n	0.065	0.028	0.065
11 6418.437	n	0.065	0.028	0.065
12 6368.33	n	0.065	0.028	0.065
13 6305.044	n	0.065	0.028	0.065
14 6239.298	n	0.065	0.028	0.065
15 6194.578	n	0.065	0.028	0.065
16 6132.376	n	0.065	0.028	0.065
17 6009.168	n	0.065	0.028	0.065
18 5892.863	n	0.065	0.028	0.065
19 5829.885	n	0.065	0.028	0.065
20 5763.221	n	0.065	0.028	0.065
21 5645.222	n	0.065	0.028	0.065
22 5582.087	n	0.065	0.028	0.065
23 5521.634	n	0.065	0.028	0.065
24 5463.171	n	0.065	0.028	0.065

Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

Tendo todos os parâmetros inseridos, a elaboração da mancha de inundação é calculada através do caminho: Run> Steady Flow Analys.

Nesta aba são inseridos planos hipotéticos de modelagem (Plano 03), uma identificação curta do plano (R2), identificação da geometria (Ge1) e condição de cálculo. Entre as opções de cálculo estão presentes as condições do tipo: Subcritical (subcrítico), Supercritical (supercrítico) e Mixed (Misturado). Foi considerada a opção Mixed para a devida análise de fluxo, como expresso na figura 54.

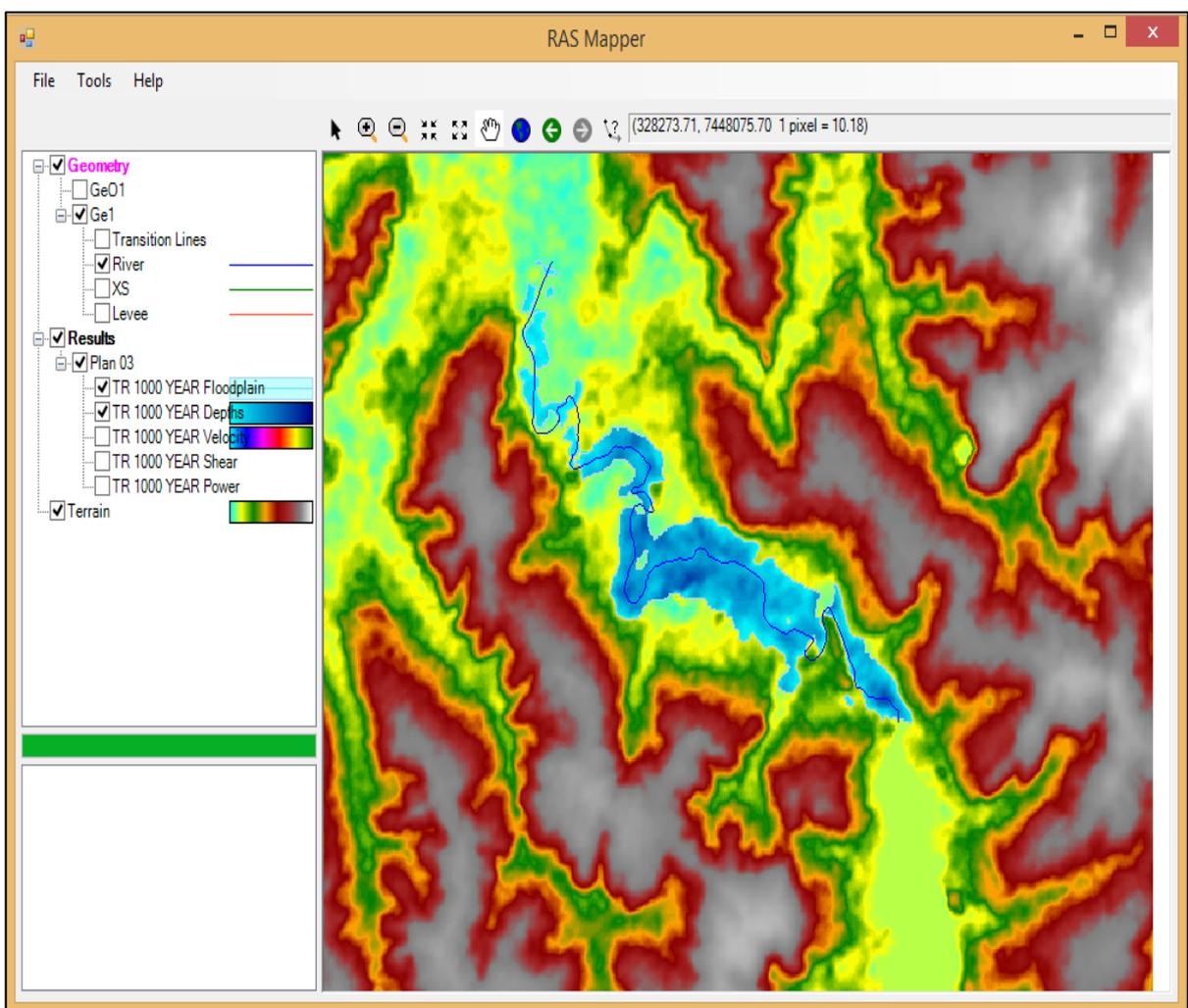
Figura 54: Análise de fluxo



Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

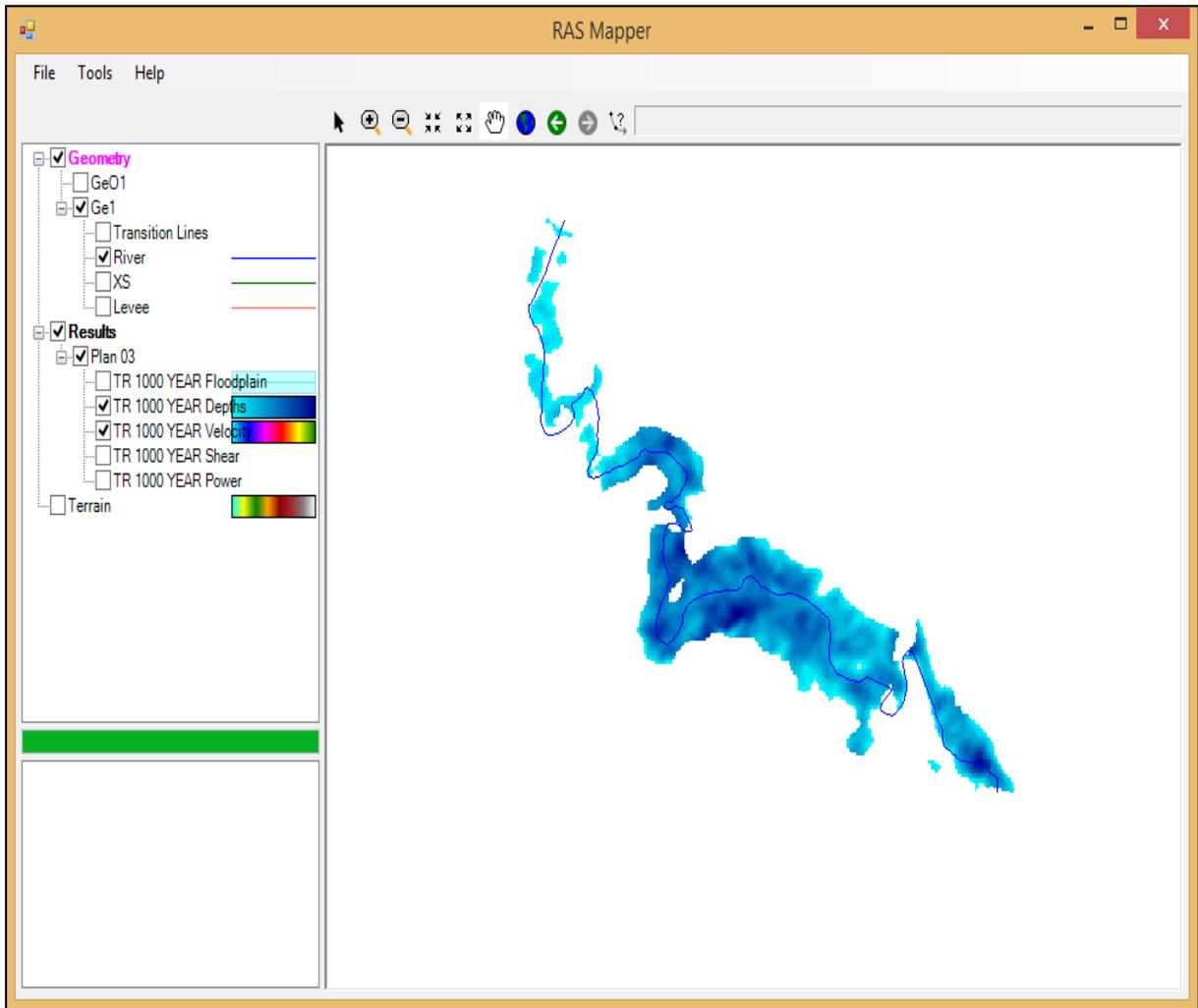
Foi utilizado um Tr (período de retorno) de 1000 anos, conforme orientações do DAEE, valor destinado para barragens com mais de 6 metros de altura, uma vez que a PCH de Atibaia fruto do presente estudo possui uma altura de 10 metros, com isso o acesso ao mapa de inundação se dá através da aba Edit na interface principal do Software HEC-RAS. Ao término do cálculo foram obtidos os seguintes resultados de mancha de inundação onde a mesma é identificada pela aba (TR 1000 YEAR Floodplain) e pela aba (TR 1000 YEAR Dephns), expressos na figura 55.

Figura 55: Mancha de inundação com elevação no HEC-RAS



Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

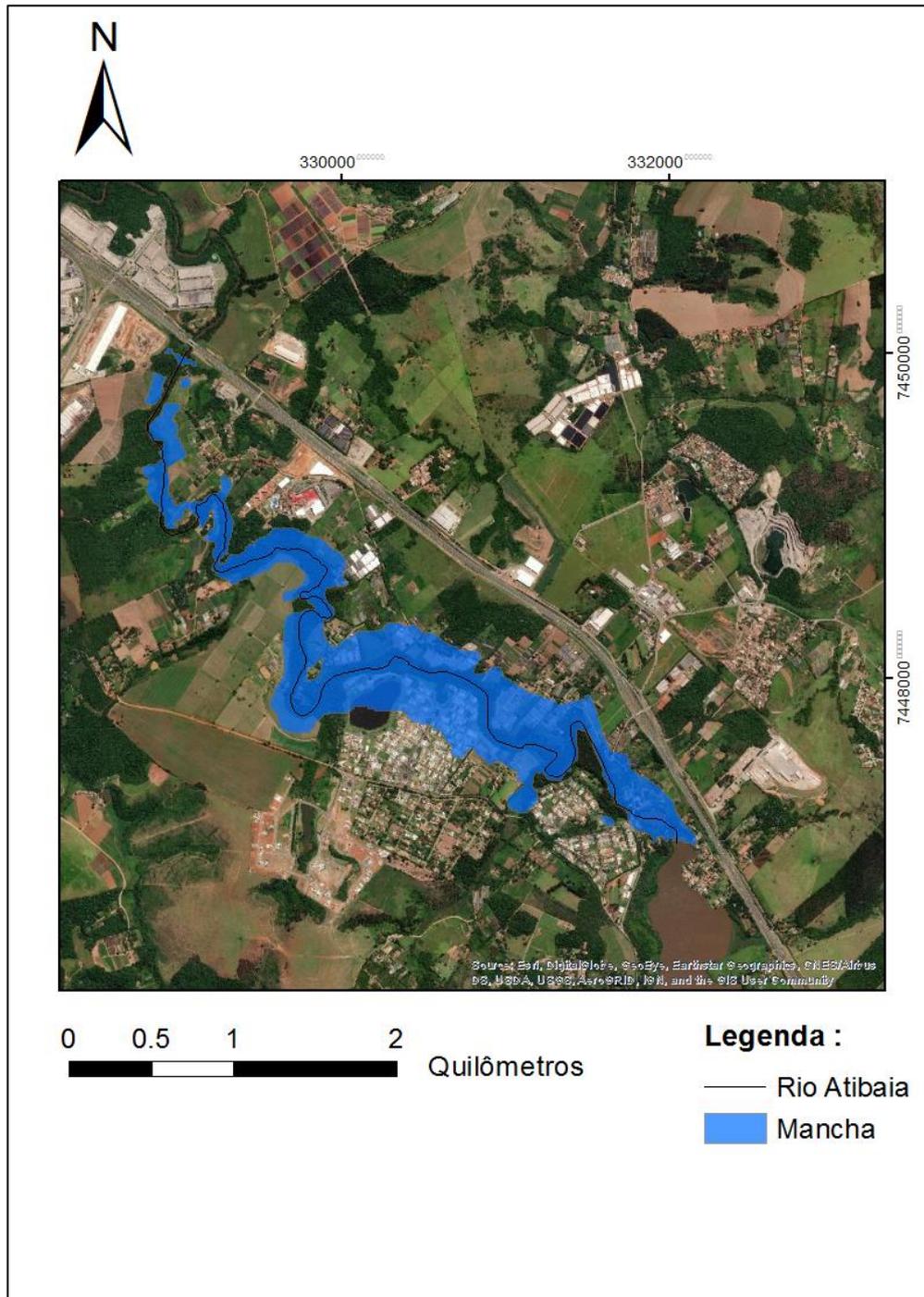
Figura 56: Mancha de inundação sem elevação no HEC-RAS



Fonte: Elaborado pelo autor (HEC RAS 4.1.0).

Após a geração da mancha de inundação com o HEC-RAS, foi exportado um arquivo do tipo .shp (shapefile) para o ArcMap, onde foi possível obter informações da mancha gerada sobre a área de estudo e assim analisar com artifícios visuais as edificações que seriam atingidas pela propagação do fluido resultante de uma ruptura hipotética da barragem analisada, podendo obter resultados de áreas de risco. Em conformidade ao mapa proveniente da simulação hidráulica no HEC-RAS, o respectivo mapa de inundação é dado conforme figura 57.

Figura 57: Mancha de inundação



Fonte: Elaborado pelo autor (ESRI® ArcMap™ 10.6.0 (2019)).

Ao analisar o mapa é possível notar que o fluído atinge inúmeras residências. Uma vez que a topografia local promove esse feito, a mancha em questão tem uma área de aproximadamente 1,53 km² considerando o trecho analisado e a velocidade média ao longo da calha resultou em 5 m/s conforme resultados de modelagem no HEC-RAS. Tendo em vista os resultados de mancha obtidos, pode-se dizer que o

mesmo interfere de maneira direta para a classificação de risco da barragem em estudo, pois é através da mancha de inundação que se torna possível atribuir o “Dano Potencial Associado” em virtude de uma ruptura hipotética, podendo assim visualizar dados como: Potencial de perdas de vidas Humanas, Impacto Ambiental e Impacto Socioeconômico.

3.2 Classificação da PCH Atibaia segundo a ANA

A classificação quanto as características técnicas, o estado de conservação, o plano de segurança de barragens e o dano Potencial quanto ao volume seguiu a Resolução CNRH nº 143/2012.

A nota técnica utilizada foi a de Nº 93/2017/COSER/SER, documento nº:00000.014870/2017-12, que apresenta resultados da classificação da barragem de Atibaia em relação ao seu Dano Potencial Associado, por categoria de Risco e Volume, podendo assim fazer comparativos de classificação.

Antes mesmo de se aplicar a classificação fora necessário conhecer a área em que se encontra a PCH e a localização dos pontos principais da mesma, como o vertedouro do tipo soleira livre, a barragem e o percurso da água passando pelas comportas até chegar à casa de força. Alguns desses itens são mostrados na Figura 58.

Figura 58: Principais estruturas da barragem



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Classificação girou em torno de coeficientes de classificação, que nada mais são do que valores atribuídos a cada especialidade, quanto maior o valor, maior é o risco ou a dificuldade encontrada e toda especificação que não foi encontrada adotou-se pontuação máxima.

Tabela 9: Características técnicas da PCH

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
		COEFICIENTE	FONTE
ALTURA (A)	11M	0	RESOLUÇÃO 143/2012
COMPRIMENTO (B)	130M	2	RESOLUÇÃO 143/2012
TIPO DE BARRAGEM (C)	ALVENARIA DE PEDRA	2	RESOLUÇÃO 143/2012
TIPO DE FUNDAÇÃO (D)	LAJE/RADIER EM SOLO MOLE	4	RESOLUÇÃO 143/2012
IDADE DA BARRAGEM (E)	90 ANOS	4	RESOLUÇÃO 143/2012
VAZÃO DE PROJETO (F)	MILENAR	5	RESOLUÇÃO 143/2012
TOTAL	CARACTERISTICAS TECNICAS		17

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação foi dividida em 5 partes, inicialmente com as características da barragem, abrangendo suas especificações físicas como altura, comprimento, volume, material de fundação e de estrutura e o tipo de sua vazão, no caso milenar, por ser uma barragem de pequeno porte. A somatória dos coeficientes foi 17.

Tabela 10: Estado de conservação da PCH

ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA PCH DE ATIBAIA				
	CLASSIFICAÇÃO	COEFICIENTE	FONTE	COMENTÁRIO
ESTRUTURA EXTRAVASORAS (G)	ESTRUTURAS CIVIS E HIDROELETROMECÂNICAS PREPARADAS PARA OPERAÇÃO, MAS SEM FONTES DE SUPRIMENTO DE ENERGIA DE EMERGENCIA	4	RESOLUÇÃO 143/2012	FALTA MANUTENÇÃO NOS MECANISMOS DE CONTROLE DA BARRAGEM, UMA COMPORTA AUTOMÁTICA NÃO FUNCIONA, COMPORTAS DE MADEIRA COM VAZAMENTO CONSTANTE
CONFIABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE ADUÇÃO (H)	CONDIÇÕES ADEQUADAS DE FUNCIONAMENTO	0	RESOLUÇÃO 143/2012	2 DESCARREGADORES EM BOM ESTADO DE FUNCIONAMENTO
PERCOLAÇÃO (I)	UMIDADE NAS REGIÕES DE JUSANTE ESTABILIZADAS	3	RESOLUÇÃO 143/2012	EFLORESCÊNCIA NAS ESTRUTURAS DA BARRAGEM
DEFORMAÇÃO E RECALQUES (J)	EXISTENCIA DE PEQUENAS TRINCAS ESTABILIZADAS	1	RESOLUÇÃO 143/2012	TRINCAS E RACHADURAS AO LONGO DA BARRAGEM ESTABILIZADAS
DETERIORAÇÃO TALUDES (K)	EROSÕES SUPERFICIAIS, FERRAGEM EXPOSTA, VEGETAÇÃO COM CRESCIMENTO CONTROLADO	5	RESOLUÇÃO 143/2012	CARBONATAÇÃO NA PAREDE DA JUSANTE
ECLUSA (L)	NÃO EXISTENTE	0	RESOLUÇÃO 143/2012	*
TOTAL EC				13

Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda análise realizada foi em relação ao estado de conservação da barragem, como estava a sua estrutura, os extravasores, a confiabilidade da estrutura de adução, a percolação, a deformação presente devido à idade avançada da barragem e a deterioração dos taludes, que são de suma importância para a contenção da barragem.

Pela visita e explicações do engenheiro da defesa civil (Thiago), observou-se que a barragem possui algumas deficiências como pequenas trincas, devido à umidade gerando eflorescência, nada muito perigoso, o que não isenta a necessidade de total atenção nas visitas periódicas. As vegetações estão controladas, pois há monitoramento e limpeza mensalmente.

Os itens com maiores pontuações são e que mais chamam atenção são os relacionados manutenção e análises técnicas. De acordo com a análise realizada e a resolução 143/12, a somatória ficou em 13 para a sua classificação.

Tabela 11: Plano de segurança de barragens

PLANO DE SEGURANÇA DE BARRGENS				
	CLASSIFICAÇÃO	COEFICIENTE	FONTE	COMENTÁRIO
DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO (N)	INEXISTENTE	8	RESOLUÇÃO 143/2012	SEM INFORMAÇÃO
ESTRUTURA ORGANIZACIONAL (O)	POSSUI TECNICO RESPONSÁVEL PELA SEGURANÇA DA BARRAGEM	4	RESOLUÇÃO 143/2012	RESPONSÁVEL DEFESA CIVIL DE ATIBAIA
PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA (P)	POSSUI E APLICA APENAS TECNICAS DE INSPEÇÃO	3	RESOLUÇÃO 143/2012	RESPONSÁVEL DEFESA CIVIL DE ATIBAIA
REGRA OPERACIONAL -DISPOSITIVO DE DESCARGA (Q)	SIM OU VERTEDOIRO TIPO SOLEIRA LIVRE	0	RESOLUÇÃO 143/2012	SOLEIRA LIVRE
RELATÓRIOS DE INSPEÇÃO E SEGURANÇA (R)	EMITE RELATORIOS SEM PERIODICIDADE	3	RESOLUÇÃO 143/2012	RESPONSÁVEL DEFESA CIVIL DE ATIBAIA
TOTAL	PLANO DE SEGURANÇA	18		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira análise destinou-se a verificar a existência de um plano de segurança de barragens, o que mostrou algo preocupante, pois a mantenedora da PCH, Prefeitura de Atibaia, não possui documentações como a de projeto, a forma como se desenvolveu a construção, o tipo de solo em que a fundação está firmada etc. A barragem possui apenas um técnico responsável, no caso a Defesa Civil de Atibaia, o qual aplica apenas técnicas de inspeções e os relatórios não são emitidos com periodicidade, logo não há existência de um plano de segurança.

Por estes fatos a pontuação foi bem alta, totalizando 18, colocando em evidência a suma importância da normalização de um plano de segurança.

Tabela 12: Dano Potencial Associado

DANO POTENCIAL ASSOCIADO						
CRITÉRIO	TIPO DE OCORRENCIA	COR	Nº DE OCORRENCIAS	OBSERVAÇÃO	IMPACTO	COEFICIENTE DE CLASSIFICAÇÃO
VOLUME RESERVATÓRIO (A)	2,8 MILHÕES DE M³			-	PEQUENO < 5 MILHÕES M³	1
POTENCIAL DE PERDAS DE VIDAS HUMANAS (B)	CASAS AO REDOR		>100		ALTO-EXISTEM PESSOAS POVOANDO A JUSANTE DA BARRAGEM, PARQUES INDUSTRIAIS E COMERCIAIS, LOGO ELAS PODERIAM SER ATINGIDAS E O	12
	POVOADOS		1	ATIBAIA		
	ESTRADAS E RODOVIAS		2			
	ESTRADAS RURAIS					
	CONSTRUÇÕES TEMPORÁRIAS E PERMANENTES		>50			
IMPACTO AMBIENTAL (C)			PRESENÇA DE INDUSTRIAS O QUE PODE ACARRETAR DANO AO MEIO AMBIENTE		MÉDIO-ÁREAS VERDES NÃO POSSUI ÁREAS DE INTERESSE, APP, OU PROTEÇÃO POR LEGISLAÇÃO	3
IMPACTO SOCIOECONOMICO (D)	CASAS E CONDOMÍNIOS ISOLADOS		>50		ALTO-EXISTEM COMÉRCIOS, INDUSTRIAS, RESIDÊNCIAS, CONDOMÍNIOS, ÁREAS DE TURISMO QUE SERIAM ATINGIDOS	8
	CONSTRUÇÕES TEMPORÁRIAS E PERMANENTES		>50			
	OUTRA BARRAGEM		0			
TOTAL	DANO POTENCIAL			ALTO		24

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A ANA	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
	ALTO	>=16
MÉDIO	10 < DPA < 16	
BAIXO	<=10	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do estudo da área e a sua estrutura física, pode-se enfim começar a classificação da PCH quanto ao DPA (Dano Potencial Associado), definindo a categoria de risco que a barragem se encontra e o respectivo dano potencial associado, que pode ser dividido nas seguintes classes:

- Classe A barragens de alto dano potencial associado e de qualquer categoria de risco.
- Classe B, barragens de médio dano potencial associado e de alta categoria de risco.
- Classe C, barragens de médio dano potencial e de categoria de risco médio ou baixa, ou de baixo dano potencial e categoria de risco alto.
- Classe D, barragens de dano potencial baixo e categoria de risco médio.
- Classe E, barragens de baixo dano potencial e categoria de risco baixo.

A análise é uma das mais importantes, o que trouxe um alerta quanto a segurança, pois fazendo estudo da região que se encontra a PCH, notou-se que há um número considerável de moradias, de comércios e construções temporárias, o que acarretaria um dano civil, ambiental e econômico para a cidade de Atibaia.

Uma possível ruptura poderia ter uma área considerável de inundação e atingiria casas, parques industriais e possivelmente uma ponte que se encontra na rodovia Dom Pedro.

Por mais que haja vegetações pelo percurso do rio, o que faz com que a água tenha um impacto menor, o dano seria inevitável e se houver uma morte civil, tornasse um dano potencial alto. Por estas circunstâncias a classificação recebeu 24 pontos, qualquer valor superior a 16 pontos é caracterizado como Dano Potencial Alto, logo sua classificação é do tipo A.

Tabela 13: Categoria de risco da PCH

CATEGORIA DE RISCO = CT + EC + PS		
FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	>=60 OU EC = 8
	MÉDIO	35 A 60
	BAIXO	<=35

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a última análise realizada foi a categoria de risco, que abrange a somatória dos coeficientes da característica técnica, estado de conservação e plano de segurança.

A somatória teve por fim 48 pontos, em que valores entre 35 e 60 caracterizam-se com categoria de risco médio. Logo, assume-se que devem ser realizadas medidas interventivas rapidamente visando segurança e a elaboração de um PAE, documento obrigatório.

Tabela 14: Classificação geral da PCH

BARRAGEM	PCH DE ATIBAIA
DANO POTECIAL ASSOCIADO	ALTO
CATEGORIA DE RISCO	MÉDIO
CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO VOLUME	PEQUENO
EMPREENDEDOR	PREFEITURA DA ESTÂNCIA DE ATIBAIA
MUNICÍPIO	ATIBAIA
ESTADO	SP
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	23°4'37.14"S DE LATITUDE SUL E 46°38'23.00"O DE LONGITUDE OESTE
ALTURA (m)	11
VOLUME (hm ³)	2,8
CURSO D'ÁGUA	RIO ATIBAIA

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 14 resume de forma clara e objetiva a classificação quanto ao dano potencial, à categoria de risco, e em relação ao volume. Também apresenta o empreendedor responsável, o município, e as coordenadas de localização. E por fim os dados técnicos de maior relevância, a altura, volume e o curso d'água.

Após toda a análise e classificação de cada item apresentado, classificou-se a barragem e determinou-se algumas medidas de segurança que deveriam ser atendidas no período determinado.

Conforme dito anteriormente, a autorização para a utilização da PCH para a geração de energia ficou em posse do Centro Empresarial de 2008 a 2018, logo, durante esses dez anos que a PCH ficou em concessão do BBP, a responsabilidade de elaborar um plano de ação emergencial cabia a eles, pois a ANA havia estipulado uma data limite até fevereiro de 2018, porém não foi realizado esse plano, e conforme conversa com a assistente em serviços de fiscalização da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Fernanda Fontes, que cuida da documentação da barragem atualmente, a prefeitura ainda não teve tempo hábil para a realização desse PAE.

Diante do exposto neste capítulo, mostra-se necessário a elaboração de um Plano de Ação Emergencial para a PCH de Atibaia.

4. PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL

Instituído pela Lei Federal 12.334/2010 e regulamentado pela Resolução Normativa ANEEL 696/2015, o Plano de Ação Emergencial tem como finalidade a elaboração de planos de contingência para auxiliar o trabalho da defesa civil, considerando certos riscos pré-definidos e buscando evitar o mínimo impacto possível em caso de ruptura de barragem, levando em consideração às regiões e a população situada à jusante da PCH em questão.

4.1 Empreendedor e responsáveis

A Prefeitura da Estância de Atibaia é o empreendedor responsável pela Pequena Central Hidrelétrica de Atibaia. O empreendedor é responsável por promover a segurança da barragem bem como pela elaboração do PAE, os treinamentos necessários para o bom funcionamento desse plano e da administração do mesmo e a articulação comunicativa para com a Defesa Civil e os moradores do vale a jusante.

Neste âmbito a Defesa Civil também exerce um papel importantíssimo na execução do Plano de Ação Emergencial criado pelo empreendedor, tendo como responsabilidade o alerta e os exercícios de simulação com a população. A defesa civil também executa a tarefa de fiscalização e monitoramento da PCH.

4.1.1 Coordenador e equipe técnica

O coordenador é responsável pelo acionamento do Plano de Ação Emergencial mediante a situação de contingência, bem como do fluxograma de notificação, a fim de assegurar que todo o sistema de alerta e as informações aos órgãos competentes sejam realizadas com eficiência.

A situação emergencial deve ser declarada em formulários-tipo já estipulados pela ANA. Estas declarações devem contemplar à abertura do Plano de contingência, seu encerramento e as mensagens de notificação, conforme anexos no tópico 4.7.1.

É necessária a criação de um Comitê Operativo de Emergência (COE), como

parte da equipe técnica, para atuação em caso de desastres, este comitê será responsável pelas maiores decisões a serem tomadas a fim de realizar um nível de resposta conveniente à demanda emergencial, com agilidade.

O COE está vinculado ao coordenador no quesito de avaliar e classificar um estado emergencial, entretanto é este comitê que irá gerir todo o processo do plano de ação emergencial, executando o que está definido no fluxograma de ação e notificação, bem como coordenando o processo por inteiro durante a ocorrência.

4.2 Identificação e análise de possíveis situações de emergência

Conforme descrito no item 2.3.1 sobre os níveis de resposta, existem situações de maior ou menor risco. O Nível 3 – Vermelho, considerado emergência e o maior nível, é o que irá limitar as ações a serem executadas, ou seja, no caso da ocorrência de uma situação em nível de resposta 3, será executado o plano e enviado as autoridades para então serem tomadas as devidas providências.

Existem casos de “Iminência de Ruptura” e “Ruptura em progresso”, nessas duas ocorrências as providências podem ser definidas segundo a tabela 15:

Tabela 15: Providências em nível 3

Iminência de Ruptura	<ul style="list-style-type: none"> • Situação de emergência • Cenário de alerta geral • Operação será conduzida pelo coordenador do PAE • Rebaixamento ou esvaziamento do reservatório • Preservar a segurança do vale a jusante acionando os procedimentos de notificação externos • Alertar as Zonas de Autossalvamento (ZAS) • Defesa civil deve avaliar a possibilidade de evacuação
Ruptura em progresso	<ul style="list-style-type: none"> • Situação de acidente inevitável • Alarmar a ZAS • Evacuação imediata

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando ocorrerem situações de emergência, os procedimentos tomados devem ser registrados em formulários específicos, estes apresentados no tópico 4.7.1.

Tais formulários apresentam a situação de início e término de uma emergência, uma vez que as condições apresentadas indiquem que não há mais uma situação de alerta vermelho e que está tudo seguro, o formulário de término de emergência deverá apresentar todos os dados, como por exemplo horário, pessoal, equipamentos, assim como a de início também.

4.3 Procedimento de identificação de possível ruptura

Existem situações atípicas que podem causar mal funcionamento e também possuir potencial de ruptura dependendo de sua gravidade. Todas estas situações são consideradas de nível de resposta emergencial 3, e uma vez identificadas, deve-se imediatamente iniciar as prevenções em situações de emergência, abordada no próximo item deste capítulo. As descrições das situações contidas na tabela 16 servem para auxiliar na identificação das possíveis situações alarmantes.

Tabela 16: Situações Atípicas e Suas Respectivas Descrições

SITUAÇÃO ATÍPICA	DESCRIÇÃO
Fissuras ou Ameaças à Segurança	Fissuras que dividem o concreto em duas ou mais partes, Qualquer evento não previsto que possa ter causado danos à
Galgamento	Transposição da barragem pela água.
Subsidência	Movimento rápido da superfície para baixo.
Erosão	Desgaste, transporte e sedimentação do solo e subsolos como
Surgência	Água passando pelas estruturas da barragem surgindo em local
Desalinhamentos	Variações em relação à configuração estrutural original.
Deslocamentos	Movimento de uma parte da estrutura com em relação às outras
Infiltrações	Fluxos de água passando pelas estruturas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Prevenção em situações de emergência

Em caso de uma situação emergencial, existem parâmetros a serem seguidos com o intuito de prevenir os possíveis acidentes ou minimizar seus possíveis danos. O organograma da figura 59 elenca os procedimentos a serem adotados.

Figura 59: Organograma de emergência



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como destacado na figura 59, assim que constatado uma situação emergencial, a Prefeitura Municipal de Atibaia – SP por meio da Defesa Civil de Atibaia deve declarar situação de emergência através do Formulário de Declaração de Emergência e imediatamente realizar ações a fim de minimizar os danos, como esvaziar o reservatório ao máximo ou outras ações gerenciadas pelo coordenador responsável, mobilizando pessoal e equipamentos para tal. Deve-se também notificar a Defesa Civil Estadual através de telefone para contato (consultar contatos no item 4.7.2) ou outro sistema de comunicação, bem como a ZAS para então coordenar a evacuação imediata através da Brigada de Emergência estabelecida pelo município até o local de encontro pré-definido pela mesma. É importante manter

contato constante entre as equipes envolvidas durante todo o tempo em que a situação emergencial ocorrer, bem como registrar todas as observações e ações tomadas, seja através de meio físico ou digital, de acordo com o meio oficial de costume local.

4.5 Notificação, alerta e fluxograma

O sistema de notificação é o procedimento de alerta para com o vale a jusante, bem como com o empreendedor, as entidades fiscalizadoras e a defesa civil local, a fim de garantir que o treinamento preparatório realizado pela população seja colocado em prática, deixando a todos em estado de prontidão para atuarem em caso emergencial.

Todos os métodos de notificação devem ser testados periodicamente, a fim de garantir que estejam em boa funcionalidade. Os meios de comunicação que devem ser utilizados e indicados pelo PAE são:

- Sirenes
- Serviço de rádio comunicação
- Serviço de acesso à internet
- Serviço telefônico que permita tráfego de voz e mensagens.

As sirenes devem ser instaladas em pontos estratégicos, para que a propagação de som alcance a maior distância possível. Serão instaladas sirenes do modelo Eletromecânica de Alto Rendimento com Conexão Nobreak, de oito trombetas multidirecional com alcance de aproximadamente 5km, estas devem ser instaladas próximo ao vertedouro e em pontos estratégicos, a fim de alertar, se possível, todas as pessoas do vale à jusante e facilitar a evacuação das mesmas.

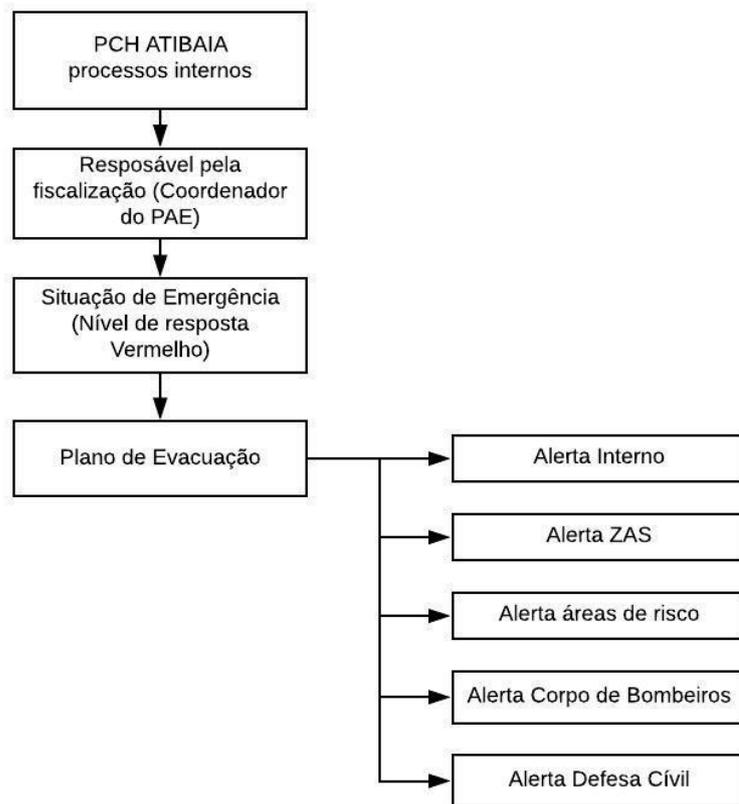
4.5.1 Fluxograma de notificação em caso de contingência

O acionamento de alerta por motivo de contingência significa que a barragem está em situação de ruptura, ruptura esta imediata ou próxima de acontecer. Por esse motivo é necessário a evacuação de toda a área de risco jusante à Pequena Central Hidrelétrica.

A comunicação externa, ou seja, entre as partes responsáveis pela

fiscalização da barragem (no caso da PCH de Atibaia, a Prefeitura), a Defesa Civil e os órgãos competentes de fiscalização, serão feitas através de contato telefônico, conforme lista de contatos no tópico 4.7.2. A figura 60 ilustra o fluxograma com a ordem de notificação disposta neste PAE.

Figura 60: Ordem de notificação do PAE



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.2 Zona de Autossalvamento

A Zona de Autossalvamento é o território mais próximo ao local do rompimento, logo, o território mais crítico, por não haver tempo suficiente para que as autoridades tomem providencias em caso de emergência. Segundo a ANA, é considerado um território de ZAS aquele que se encontra com distância de 10km à jusante da barragem.

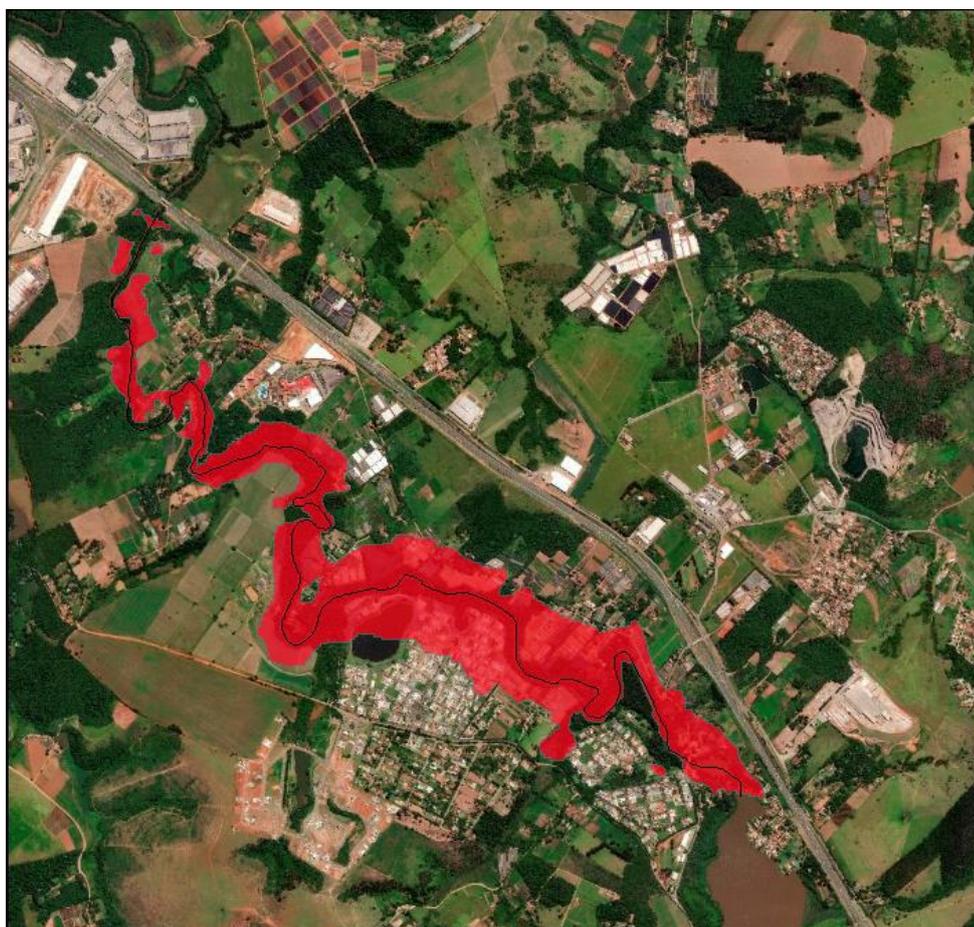
As notificações devem ser realizadas de forma estratégica, para que, dessa forma, toda a área de risco tenha condições de se retirar do local. A ZAS é o pior

ponto e onde as notificações devem ser ainda mais persistentes e eficientes.

Como mostra a figura 61, a Zona de Autossalvamento se encontra delimitada na cor vermelha e foi elaborada em função do mapa de rompimento, pois considerando que a extensão da PCH de Atibaia é relativamente pequena, a Zona de Autossalvamento é toda área residencial atingida pela macha d'agua.

Para a evacuação efetiva desta ZAS é necessária a criação de um abrigo seguro localizado estrategicamente, local para o qual os habitantes em área de risco serão instruídos através do treinamento para se refugiar.

Figura 61: Zona de autossalvamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.3 Sistema da Defesa Civil

Todas as defesas civis e corporações municipais ou estaduais devem executar suas atribuições legais, elaborando um conjunto de ações a serem tomadas em caso de contingência, estando alinhados ao plano de ação emergencial

existente com intuito de preservar a vida do maior número de pessoas possível, realizando o sistema de alerta e conduzindo o autossalvamento.

Compete à Defesa Civil a prevenção de desastres, a prestação de socorro e assistência para com a população, com intuito de evitar ou diminuir riscos e/ou acidentes, preservando a integridade social. Segundo a lei Federal nº 12.608/2012 que introduz a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, é autorizada a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres pela Defesa Civil.

A PCH de Atibaia é monitorada pela Defesa Civil, entretanto, em caso emergencial, é acionado primeiramente o Corpo de Bombeiro e depois a própria Defesa Civil, para que assim o atendimento para com a população seja rápido e absoluto.

4.6 Treinamento, divulgação e documentação

Anteriormente já foi dito que o atual responsável pela barragem da PCH de Atibaia é a Prefeitura, juntamente com a defesa civil, portanto para que o plano obtenha os resultados esperados existem procedimentos internos a serem realizados, como os treinamentos em caso de detecção de níveis de resposta inferiores a 3 com os responsáveis diretos pela barragem, e as pessoas que a vistoriam frequentemente. Já nos casos de emergência em que é necessário um alerta geral, o treinamento é feito juntamente com a população que hipoteticamente seria atingida. Os dois modos descritos sempre realizados e coordenados pela Defesa Civil com participação do empreendedor.

O ideal para esse tipo de treinamento é que seja realizado por meio de workshops e simulações, estas devem ser o mais realista possível para que todos fiquem familiarizados com as responsabilidades e ações a serem tomadas em uma emergência, e é de extrema importância que os envolvidos levem a sério esse treinamento.

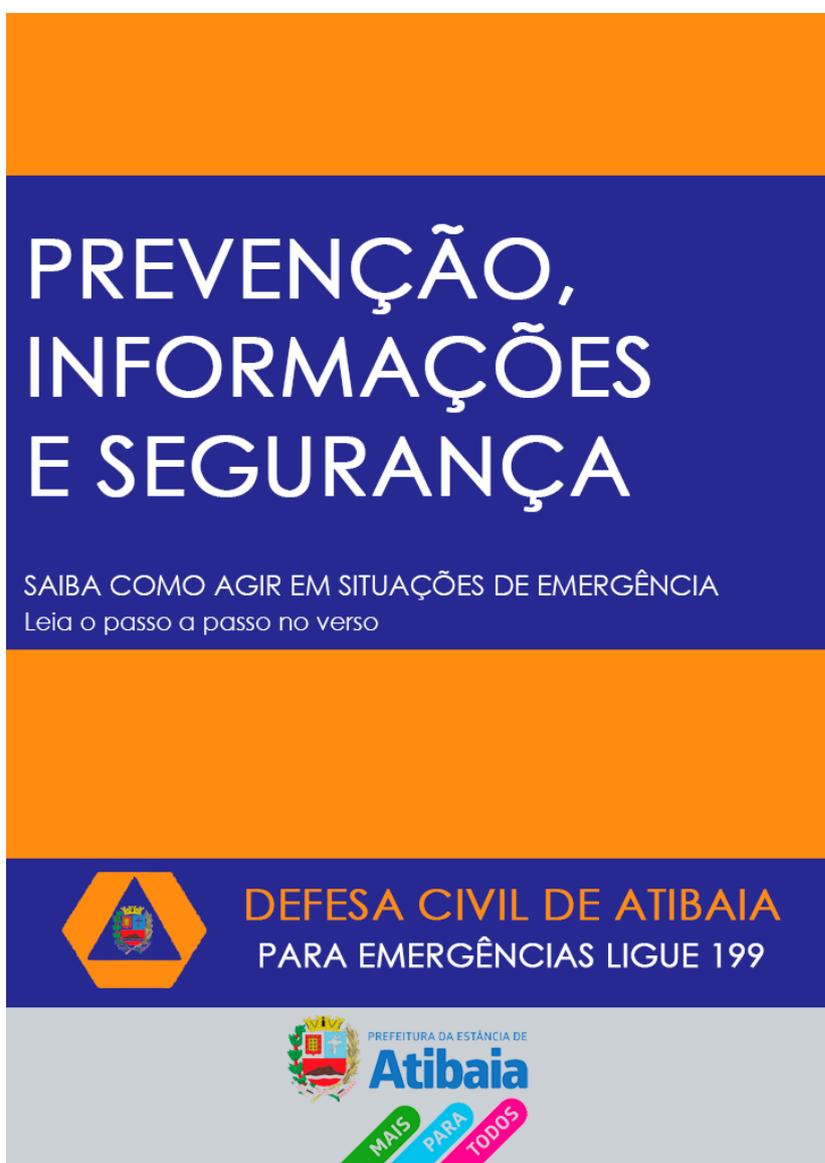
É de responsabilidade dos coordenadores do treinamento esclarecer dúvidas e promover as informações relevantes a toda a população envolvida, realizando eventos e sessões para tal. Em relação aos cidadãos que residem em área de ZAS são necessárias também informações mais específicas em como agir em situações

em que seja necessário algum tipo de refúgio.

A questão da divulgação dos locais de ZAS, datas de simulações ou situações de emergência podem ocorrer por diversos meios. Geralmente são confeccionados panfletos com todas as informações necessárias, sendo distribuídos para a população gratuitamente. Já o meio de alerta para uma situação de emergência ou divulgação de datas de simulados e workshops, poderão ser realizados por SMS, a partir de cadastros feitos pela Defesa Civil e Prefeitura.

A seguir nas Figuras 62 e 63 é demonstrado um exemplo de panfleto a ser confeccionado e distribuído.

Figura 62: Frente do panfleto de divulgação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63: Verso do panfleto de divulgação

PROCEDIMENTOS PARA SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA NA BARRAGEM DA USINA

Ao ouvir sinais sonoros pare imediatamente o que estiver fazendo e siga as instruções abaixo

-  Reúna todas as pessoas que estiverem na sua casa
-  Leve com você os remédios de uso regular
-  Recolha os documentos pessoais, de imóveis e registros
-  Para facilitar, mantenha sempre uma pasta com esses documentos em local de fácil acesso
-  Leve apenas objetos pessoais que possam ser carregados em uma sacola
-  Dê assistência a crianças e idosos que estiverem em sua companhia
-  Vá com todos que estiverem na sua casa para o ponto de encontro mais próximo

Mantenha a calma, evite o pânico

 **DEFESA CIVIL DE ATIBAIA**
Rua Adolfo André, nº 1.055, Centro
(11) 4414-0419

EMERGÊNCIAS LIGUE 199

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6.1 Formulários

Figura 64: Declaração de Início de Emergência



PAE – DECLARAÇÃO DE INÍCIO DE EMERGÊNCIA

SITUAÇÃO: _____

Empreendedor: _____

BARRAGEM: _____

Eu, _____,
na condição de Coordenador do PAE da Barragem _____ e no uso das atribuições e responsabilidades que me foram delegadas, efetuo o registro da Declaração de Emergência, na Situação de _____, para a Barragem _____ a partir das _____ horas e _____ minutos do dia ____ / ____ / _____, em função da ocorrência de:

_____.

_____, _____ de _____ de _____
(Local)

(Assinatura)

(Cargo)

FIM DA MENSAGEM

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 65: Declaração de Encerramento de Emergência



PAE – DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DE EMERGÊNCIA

SITUAÇÃO: _____

Empreendedor: _____

BARRAGEM: _____

Eu, _____,
na condição de Coordenador do PAE da Barragem _____ e no uso das atribuições e responsabilidades que me foram delegadas, efetuo o registro da Declaração de Encerramento de Emergência, na Situação de _____, para a Barragem _____ a partir das _____ horas e _____ minutos do dia ____ / ____ / _____, em função da recuperação das condições adequadas de Segurança da Barragem e eliminação do Risco de Ruptura.

OBS: _____

_____.

_____, _____ de _____ de _____
(Local)

(Assinatura)

(Cargo)

FIM DA MENSAGEM

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66: Mensagem de Notificação

MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO

Mensagem resultante da aplicação do Plano de Ação de Emergência - PAE da Barragem _____ em ___ / ___ / ___.

Município: _____ Rio: _____ Bacia Hidrográfica _____

A partir das ___: ___ horas de ___ / ___ / ___, está sendo ativado o nível de resposta:

Verde Amarelo Laranja Vermelho

1. Esta mensagem está sendo enviada simultaneamente:

Empreendedor: _____

Entidade Fiscalizadora: _____

CEDEC - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado de _____

COMDEC – Comissão Municipal de defesa Civil de _____

Barragens a montante: _____

Barragem a jusante: _____

2. Descrição da situação (causas, evolução) A causa da Declaração é (descrição mínima da situação, identificação da condição anormal, possíveis danos, risco de ruptura potencial ou real, etc.)

_____.

3. Medidas adotadas: As circunstâncias ocorridas fazem com que devam se precaver e pôr em ação as recomendações e atividades delineadas em sua cópia do Plano de Ação de Emergência - PAE da Barragem de _____ e os respectivos Mapas de Inundação.

Esta é uma mensagem de (Declaração/Alteração) do Nível de Segurança, feita por _____, Coordenador do PAE da Barragem _____. Favor confirmar o recebimento desta comunicação ao Sr. _____ pelo telefone número _____, e/ou e-mail _____.

Nós os manteremos atualizados da situação em caso de mudança do Nível de Segurança, caso ela se resolva ou se torne pior. Nova Comunicação será emitida, dentro de _____ horas ou de hora em hora, para sua atualização. Para outras informações, entre em contato com o Sr. _____ pelo telefone número _____, e/ou e-mail _____.

FIM DA MENSAGEM

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6.2 Contatos

Tabela 17: Contatos de órgãos internos e externos

LISTA DE NOTIFICAÇÃO		
ÓRGÃOS INTERNOS E EXTERNOS		
NOME		TELEFONE
Defesa Civil Atibaia		(11) 4414-0419
Defesa Civil do estado de São Paulo		(11) 2193-8888
Polícia Militar Rodoviária		(11) 3327 2727
Defesa Civil - Emergência		199
SAMU		192
Polícia Militar - Emergência		190
Corpo de Bombeiros - Emergência		193
MUNICÍPIOS		
NOME	TELEFONE PREFEITURA	TELEFONE DEFESA CIVIL
Jarinu	(11) 4016-8200	(11) 4016-2035

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18: Contatos úteis

EMPREENDEDOR		NOME	Prefeitura de Atibaia
		TELEFONE	(11) 4414-2000
COORDENADOR DO PAE		NOME	Prefeitura de Atibaia
		TELEFONE	(11) 4414-2000
OPERADOR		NOME	
		TELEFONE	
AGÊNCIA FISCALIZADORA		NOME	ANA
		TELEFONE	(61) 2109-5400
BARRAGENS NA LINHA DE ÁGUA	JUSANTE	NOME	
		TELEFONE	
	MONTANTE	NOME	
		TELEFONE	
AUTORIDADES, SISTEMA DE DEFESA CIVIL E AGENTES DE SEGURANÇA PÚBLICA	GABINETE DO GOVERNADOR DO ESTADO	NOME	
		TELEFONE	
	PREFEITURA MUNICIPAL	NOME	
		TELEFONE	
	CENTRO NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO DE DESASTRES	NOME	
		TELEFONE	
	CORPO DE BOMBEIROS	NOME	
		TELEFONE	
VALE A JUSANTE	ASSOCIAÇÃO DE MORADORES	NOME	
		TELEFONE	
	EMPRESA/ INDÚSTRIA	NOME	
		TELEFONE	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que Centrais Hidrelétricas realizam uma valiosa função no setor elétrico, e em sua concepção, independentemente de seu tamanho, envolvem-se todas as características iguais à de qualquer outra usina, como vertedouro e barragem. O rompimento de barragens tem sido uma temática popular devido aos desastres ocorridos nos últimos anos, que causaram diversos impactos econômicos, sociais e/ou ambientais no país.

Considerando essa situação, todas as barragens em território nacional devem possuir um Plano de Ação Emergencial – PAE, documento este importantíssimo para a minimização ou escapamento de impactos. O presente estudo preza em contribuir com a segurança socioambiental, criando essa ferramenta.

Para firmar este trabalho de conclusão de curso, nos baseamos em análises e recomendações do órgão competente de fiscalização da PCH de Atibaia, Agência Nacional de Águas – ANA e outras instituições, apoiando-nos nas legislações existentes, bem como na análise da mancha da inundação. Dessa maneira, a proposta deste trabalho foi à elaboração do PAE definindo os cenários e possibilidades de ocorrência de rompimento.

Por fim, finalizamos este estudo afirmando sobre a necessidade deste documento. Além da exigência legal, através dele é possível salvar vidas e impedir ocorrências desastrosas. Para o sucesso deste projeto, conseqüentemente, são fundamentais o comprometimento e a responsabilidade para com a sociedade e o meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS

ABRAPCH. **Associação Brasileira de PCH's e CGH's.2016.** Disponível em:<<https://abrapch.org.br/>> Acesso em 25 de abr.2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **ABASTECIMENTO.** Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/usos-da-agua/abastecimento>>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Acervo Educacional Sobre Águas – 2017 –** Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/892>> Acesso em: 10 de set. 2019

Agência Nacional de Águas (ANA). **ANA vai coordenar Sistema de Segurança de Barragens,** 2010. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=8938> Acesso em: 06 de abr. de 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **ATLAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA,** São Paulo. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=6&mapa=sist>>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **BARRAGENS E RESERVATÓRIOS.** Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/saiba-quem-regula/reservatorios>>. Acesso em: 03 de mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **CADASTRO DE BARRAGENS RSB 2017.** Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatorio-de-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana/cadastro-de-barragens-rsb-2017.xlsx/view>>. Acesso em 23 de mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **HidroWeb,** Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 14 de out. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Manual do empreendedor sobre segurança de barragem:** guia de orientação e formulário do plano de ação de emergência – PAE, 2016. Disponível em: <<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/volume-iv-guia-de-orientacao-e-formularios-dos-planos-de-acao-de-emergencia-2013-pae>> Acesso em: 30 de abr. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para Entidades Fiscalizadoras,** 2016. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/ManualEmpreendedor/ManualDePoliticasePraticasDeSegurancaDeBarragensParaEntidadesFiscalizadoras.PDF>> Acesso em: 02 mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens – 2017** – Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/porta/ANA/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatorio-de-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana/rsb-2017.pdf/view>>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Sistema nacional de informação sobre segurança de barragens – SNISB**, sem data. Disponível em:<<http://www3.ana.gov.br/porta/ANA/panorama-das-aguas/barragens/cadastro-de-barragens>> Acesso em: 06 de abr. 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Sistema nacional de informação sobre segurança de barragens – SNISB**, [2010?]. Disponível em:<<http://www.snisb.gov.br/>> Acesso em: 06 de abr. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **ATLAS DE ENERGIA DE ELÉTRICA DO BRASIL 2º EDIÇÃO**. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b> Acesso em: 21 de abr. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Avaliação de viabilidade de um empreendimento de geração de energia hidrelétrica** .Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Monografia_Erik_Eduardo.pdf/e2240dc6-0b79-459e-9466-5c31bdc6c400> Acesso em: 05 de mai. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **ATLAS DA ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. 2008. Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**. Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Publicação da lei nº9.427, de 26 de 1996, determinado pelo art.22 da lei nº9.648, de 27 de maio de 1998**. Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=107&id_area=90> Acesso em: 21 de abr. 2019.

AGUIAR, Daniel Prenda de Oliveira. **Contribuição ao Estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB** Dissertação de mestrado (Dissertação em Engenharia Civil) – Unicamp, Campinas. 2014. Disponível em:<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258108/1/Aguiar_DanielPrendadeOliveira_M.pdf> Acesso em 28 de mai. 2019.

ANDRADE, Cássio. **Câmara dos Deputados – Projeto de lei n. 30, 2019**. Disponível em:<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1707351&filename=PL+30/2019> Acesso em: 30 de abr. 2019.

ANDRADE. “**Energia Termo Elétrica, Gás Natural, Biomassa e Carvão.2010.** Disponível em:> <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-173/Energia%20Termel%C3%A9trica%20-%20Online%2013maio2016.pdf>> Acesso em 25 de Mai.2019.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti – MG.** Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2008.

BALBI, Diego Antonio Fonseca. **GESTÃO E DESEMPENHO DE BARRAGENS.** Curso de Segurança de Barragens. Sem data. Material de Aula. Universidade do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://capitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/28/Unidade_2-modulo3.pdf >. Acesso em: 06 de setembro de 2019.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. - **CONAMA In: Ministério do Meio Ambiente.** Resolução CONAMA nº 357. Brasília. 2005.

BRASIL, Lei nº 12334, de 20 de setembro de 2010. **Estabelece a política nacional de segurança de barragens.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm> Acesso em: 06 de abr. de 2019.

BRUNNER, G.W; CEIWR-HEC. **HEC-RAS River Analysis System 2D Modelling User’s Manual Version 4.1,** Janeiro, 2010.

BRUNNER, G.W; CEIWR-HEC. **HEC-RAS River Analysis System User’s Manual Version 4.1,** Janeiro, 2010.

Câmara dos Deputados. **Meio Ambiente aprova plano de emergência obrigatório para todas as barragens,** 2017. Disponível em <<https://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/537725-MEIO-AMBIENTE-APROVA-PLANO-DE-EMERGENCIA-OBRIGATORIO-PARA-TODAS-AS-BARRAGENS.html>> Acesso em: 30 de abr. 2019.

CETESB. **EIA,RIMA.2019.** “Disponível em:> <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/eia-rima/>> Acesso em 12 de Mai.2019.

CONAMA, **Resolução N°1, de 23 de janeiro de 1986.**Disponível em:> <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>> Acesso em 12 de Mai. 2019.

CONAMA, **Resolução N°237, de 19 de dezembro de 1997.**Disponível em:><http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em 12 de Mai.2019.

Conjunto de dados: © **JAXA / METI ALOS PALSAR ALPSRP152726720**
2019. Acessado através do <https://www.asf.alaska.edu> 19 de outubro de 2019.

CONTI, João Batista. **História de Atibaia**. Atibaia. Editora Grosse, 2001.

Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB). **As Barragens e a Água no Mundo**. CIGB, 2008. Disponível em:
<http://www.cbdb.org.br/publicacoes/DAMS_AND_THE_WORLDS_WATER_traducao.pdf>. Acesso em 03 de mai. 2019

Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB). **A HISTÓRIA DAS BARRAGENS NO BRASIL, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens** / Rio de Janeiro: CBDB, 2011. Disponível em:
<http://www.cbdb.org.br/documentos/A_Historia_das_Barragens_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 30 de mai. 2019.

Companhia Energética Rio das Antas (CERAN). **GERAÇÃO DE ENERGIA**. Disponível em: <<https://ecossis.com/clientes/ceran-companhia-energetica-rio-das-antas/b>> Acesso em: 28 de abr. 2019.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). **RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS OPERADOS PELA SABESP**. – 2019. Disponível em:
<http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/municipios_atendidos_sabesp.pdf>. Acesso em: 15 de ago. 2019.

CPFL Energia. **Relatório V-Formação de custos e preços de geração de energia e transmissão de energia elétrica**. Disponível em:
<<https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/inovacao/projetos/Documents/PB3002/formacao-de-custos-e-precos-de-geracao-e-transmissao.pdf>> Acesso em: 15 de mai. 2019.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) – **INSTRUÇÃO TÉCNICA DPO nº 11** – 2017 – Disponível em:
<http://www.dae.sp.gov.br/images/documentos/outorgaefiscalizacao/it_dpo11_obras_hidraulicas.pdf> Acesso em: 02 de out. 2019

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) – **Barragem Orós** – Disponível em: < <https://www.dnocs.gov.br/barragens/oros/oros.htm>> Acesso em: 22 de mai. 2019

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) – **Transbordamento das águas no Orós completa 50 anos** – 2010 – Disponível em:<<https://www2.dnocs.gov.br/gab-cs/noticias/1701-noticia-site-antigo-2006>> Acesso em: 22 de mai. 2019.

Dicionário Aurélio - **Significado de Dano** – 2018 – disponível em:
<<https://dicionariodoaurelio.com/dano>> - Acesso em: 30 de mai. 2019.

Divulgação. **CPT. Curso Irrigação em Pequenas e Médias Propriedades.** Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-irrigacao-agricultura/irrigacao-em-pequenas-e-medias-propriedades>>. Acesso em: 30 de mai. 2019.

DNAEE Nº 136/1987. **Resolução ANEEL Nº414, DE 09 de setembro de 2010.** Disponível em:> <https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=543&idPerfil=2>> Acesso em 10 de Mai.2019.

DUTRA et al.,pg 24-29.**Gestão Ambiental e Sustentabilidade.2010.** Disponível em:>http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Livrotexto_Gestao_Ambiental_Sustentabilidade.pdf> Acesso em 25 de Mai.2019.

EMBRAPA. **BANCO DE IMAGENS.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1109001/viveiros-escavados>>. Acesso em: 30 de mai. 2019.

EMBRAPA. **BARRAGENS, Cultivo de Peixes. (Cartilha).** Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113803/1/fd2.pdf>>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

EMBRAPA. **Trajatória da Agricultura Brasileira.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em 25 de mai. 2019.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética. 2013.** Disponível em:> <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>> Acesso em 15 de Mai.2019

FERREIRA, Aloísio C. **Estudo De Rompimento Hidráulico – Dam Break – Pequena Central Hidrelétrica Atibaia (PCH Atibaia).** DAC Engenharia Ltda. Atibaia. 2015.

FRANCISCO. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte.** 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf> Acesso em 25 de Mai.2019.

Froehlich, David. (2016). **Predicting Peak Discharge from Gradually Breached Embankment Dam. Journal of Hydrologic Engineering.** 21. 04016041. 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001424.

GONÇALVES, Nayra de Moraes. **PCH Atibaia: O contexto de reativação e a ocorrência de enchentes e inundações no município de Atibaia/SP.** Dissertação de mestrado (Mestra em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Unicamp, Campinas. 2015. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265756/1/Goncalves_NayradeMoraes_M.pdf>. Acesso em 20 de set. 2019.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG** – 2016 – Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/cites-e-comercio-exterior/cites?id=117>> - Acesso em: 18 de mai. 2019.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais** – 2015 – Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf> - Acesso em: 18 de mai. 2019.

Instituto de Botânica. **Águas do Brasil análises estratégicas**. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>> Acesso em: 21 de abr. 2019.

Itaipu Binacional. **Energia** .Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>> Acesso em: 05 de mai. 2019.

LAUS, Fernanda. **RESOLUÇÃO 239/17: REGULAMENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO EMERGÊNCIAL – PAE**. Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos Proágua Nacional. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://cbdb.dataapp.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Fernanda-Aquino.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

LEITE, Pedro Sisnando. **A tragédia do Orós: documento histórico** – 2009 – Disponível em: <<http://econometrix.com.br/pdf/941a89fb72554af9a93b7b0ebb2b063a176c7860.pdf>> Acesso em: 22 de mai. 2019.

LEMPERIERE, F. **Dams that Have Failed by Flooding: na analysis of 70 Failures. International Water Power and Dam Construction**, volume 45, número 9, pp. 19-24, setembro outubro de 1993.

LOPES, Luciano M. Nunes. **O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MARIANA E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS** - 2016- Disponível em :<<http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/11377/9677>> Acesso em: 29 de mai. 2019

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO N° 143, DE 10 DE JULHO DE 2012**. Disponível em: < <http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>.>Acesso em: 20 de out. 2019

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Juiz de Fora, 2006. (Apostila). Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf> Acesso em: 03 de mai. 2019.

MCCULLY, Patrick. **Silenced Rivers: the ecology and politics of large dams**. Edição Enlarged & Updated. Londres, Reino Unido: Zed Books, 7 de dezembro de 2001.

MEES, A. **Curso de Qualidade de Água em Reservatórios – Unidade 1: Reservatórios. (Apostila).** Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf>
Acesso em: 30 de mai. 2019.

MEIRELLES, F. **Curso de segurança de Barragens – Módulo I - Unidade 9: Barragens de Terra e Enrocamento.** 2013. (Apostila). Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/20/Unidade_9-modulo1.pdf> Acesso em: 03 de mai. 2019.

MENESCAL, Rogério de Abreu. **Breves considerações sobre a segurança de barragens no Brasil.** 2015.81. Brasil, 2015.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Fontes não renováveis de energia.2016.** Disponível em:<
<http://www.emdialogo.uff.br/content/artigo-produzido-pelos-professores-do-pacto-energias>> Acesso em: 19 de abr. 2019.

PEREIRA, Edilaine Regina; PATERNIANI, José Euclides Stipp; DEMARCHI, João José Assunção de Abreu. **A Importância da Qualidade da Água de Dessedentação Animal.** 2009. Disponível em
<<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/viewFile/40/41>>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

PIASETIN, C. **Curso de segurança de Barragens – Módulo I - Unidade 2: Aspectos Gerais da Segurança de Barragens.** 2013. (Apostila). Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/6/Unidade_2-modulo1.pdf> Acesso em: 03 de mai. 2019.

POSSAN, E. **Curso de segurança de Barragens – Módulo I - Unidade 10: Barragens de Concreto.** 2013. (Apostila). Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade_10-modulo1.pdf> Acesso em: 03 de mai. 2019.

RAFAEL, Herbert Miguel Angel Maturano. **Análise do Potencial de Liquefação de uma Barragem de Rejeito.** Dissertação de mestrado (Dissertação em Engenharia Civil) – PUCRJ. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:
<<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=20720@1>> Cap. 2. Acesso em 22 de mai. 2019.

REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA JUNIOR, Benedito Pinto Ferreira; TUNDISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** [S.l: s.n.], 2002.

REGO, E.E; **Avaliação de viabilidade de um Empreendimento de Geração de Energia Elétrica.** 2013. Disponível em:>
https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Monografia_Erik_Eduardo.pdf/e2240dc6-0b79-459e-9466-5c31bdc6c400> Acesso em 01 de Mai.2019.

RÉMY, Jean Pierre Paul. **Lições aprendidas com o Monitoramento do Desempenho e com a Avaliação da Segurança de Barragens**. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63nucleos1.pdf>>. Acesso em: 30 de mai. 2019.

Revista Brasileira de Energias Renováveis. **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil**. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber>> Acesso em: 20 de abr. 2019.

ROGERS, J. D. **Impacts of the 1928 St. Francis Dam Failure on Geology, Civil, Engineering, and America. Association of Environmental and Engineering Geologists**. Encontro Anual, Los Angeles, 2007.

Saad SH. Sammen & T. A. Mohamed H. Ghazali & A. H. El-Shafie & L. M. Sidek. (2017). **Generalized Regression Neural Network for Prediction of Peak Outflow from Dam Breach**. Water Resour Manage (2017) 31:549–562. DOI 10.1007/s11269-016-1547-8

SAMARCO. **O QUE É UMA BARRAGEM**. Disponível em <<https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/08/o-que-e-uma-barragem.pdf>> Acesso em 22 de mai. 2019.

SAMPAIO, José. **As deficiências do plano de ação emergencial das barragens no Brasil**. 2016. Disponível em <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-s36lB3sR88J:https://seer.imed.edu.br/index.php/revistadedireito/article/download/1313/1026+&cd=10&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>> Acesso em: 13 de mai. 2019.

SCHNEIDER, Samuel Augusto. **Dimensionamento e Análise de Estabilidade de Barragem de Gravidade em Concreto**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul - RS. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1128/1/Samuel%20Augusto%20Schneider.pdf>>. Acesso em 30 de mai. 2019.

SILVEIRA, João F. Alves. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVEIRA, João Francisco; MACHADO, José Augusto. **A importância da implementação de planos emergenciais para as barragens a montante de centros urbanos**. 2005. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Q_jCy14NSyoJ:www.cbdb.org.br/documentos/site/95/A01.doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br> SMITH, N. **A History of dams**. Peter Davis, London, 1971.

SOARES, Lindolfo. (Cap. 19). LUZ, Adão Benvindo (Ed.); SAMPAIO, João Alves (Ed.); ALMEIDA, Salvador Luiz Matos (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

STEPHENS, Tim. FAO. **Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção**. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2011. Disponível em <<http://www.fao.org/3/ba0081p/ba0081p.pdf>>. Acesso em 23 de mai. 2019.

Thornton, C I, Pierce, M W, Abt, S R. 2011. **Enhanced Predictions for Peak Outflow from Breached Embankment Dams**. J Hydrol Eng. 16(1):81–88. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000288.

VALE Divulgação. **Entenda as barragens da Vale**. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/Entenda-as-barragens-da-Vale.aspx>. Acesso em: 30 de mai. 2019.

VEROL, Aline & Miguez, Marcelo & Mascarenhas, Flavio. (2011). **Emergency action plans: Assessment of the main elements for dam break flood maps**. WIT Transactions on the Built Environment. 117. 441-453. 10.2495/SAFE110381.

WISEU, Maria Teresa. **CONTEÚDO DO PAE**. Curso de Treinamento do PAE. Sem data. Material de Aula. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/eventosprojetos/20150604_Aula_1_ConteudoDoPAE.pdf>. Acesso em: 06 de set. 2019

WISEU, Maria Teresa. **NOTIFICAÇÃO E ALERTA**. Curso de Treinamento do PAE. Sem data. Material de Aula. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/eventosprojetos/20150604_Aula_7_NotificacaoeAlerta.pdf>. Acesso em: 16 de out. 2019

WISEU, Maria Teresa. **PLANO DE AÇÃO**. Curso de Treinamento do PAE. Sem data. Material de Aula. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/eventosprojetos/20150604_Aula_6_PlanodeAcao.pdf>. Acesso em: 06 de set. 2019

XIONG, Yi. **A Dam break Analysis Using HEC-RAS**. Jwarp, [s.l.], v. 03, n. 06, p.370-379, 2011. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2011.3604>

7. ANEXOS

7.1 Anexo A – Autorização Thiago Franco (Engenheiro da Defesa Civil)



1Doc

Ofício 368/2019

De: Thiago O. - GP-CEDC

Para: Camila Borges Rosendo - cbr.engenharia@hotmail.com

Data: 05/12/2019 às 11:11:56

Termo de Autorização

Venho por meio deste autorizar os alunos de graduação em engenharia civil da Faculdade UNIFAAT a utilizar os dados fornecidos durante visita técnica realizada na PCH da Usina neste município, sendo que tal procedimento foi realizado em 30 de julho e teve duração de 4 horas

Brunara Lopes de Almeida - 42.290.627-X

Camila Borges Rosendo - 50.413.771-2

Danilo de Carvalho Dantas - 49.796.269-X

Ingrid da Costa Sobrinho - 45.372.565-X

Rodrigo Durães Carlini - 43.622.132-9

_Thiago Franco de Oliveira

Engenheiro - Proteção e Defesa Civil

Este documento foi assinado digitalmente por THIAGO FRANCO DE OLIVEIRA.
Para verificar a validade das assinaturas, acesse <https://atibaia.1doc.com.br/verificacao/> e informe o código FEC9-DA52-EA2E-8A08





VERIFICAÇÃO DAS ASSINATURAS



Código para verificação: FEC9-DA52-EA2E-8A08

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:

- ✓ THIAGO FRANCO DE OLIVEIRA (CPF 296.757.338-88) em 05/12/2019 11:12:24 (GMT-03:00)
Emitido por: Sub-Autoridade Certificadora 1Doc (Assinatura 1Doc)

Para verificar a validade das assinaturas, acesse a Central de Verificação em <https://atibaia.1doc.com.br/verificacao/> e informe o código acima ou por meio do link abaixo:

<https://atibaia.1doc.com.br/verificacao/FEC9-DA52-EA2E-8A08>

7.2 Anexo B – Autorização Fernanda Fontes (Assistente em serviços de fiscalização)

11/12/2019

Email – Camila Borges – Outlook

Re: TCC PCH ATIBAIA

Fernanda Mancilha Fontes <ffontes@atibaia.sp.gov.br>

Qui, 17/10/2019 13:01

Para: Camila Borges <mila_c.br@hotmail.com>

Cc: Otavio Batista de Lima Neto <olima@atibaia.sp.gov.br>; Silvio Ramon Llaguno <slaguno@atibaia.sp.gov.br>

Boa tarde, Camila!

Conforme conversamos anteriormente, em reunião realizada no mês de maio, não há objeções quanto à utilização, com finalidade acadêmica, do conteúdo por mim repassado com o propósito de auxiliá-las na compilação de informações para a elaboração de TCC relacionado à PCH Atibaia.

Permaneço à disposição e desejo sucesso nesta empreitada!

Atenciosamente,

Fernanda Mancilha Fontes
Gestora Ambiental, M.^a em Ecologia Aplicada - Universidade de São Paulo
Assistente em Serviços de Fiscalização
Secretaria de Desenvolvimento Econômico / Prefeitura da Estância de Atibaia
(11) 4418-7800 - Ramal 5481

De: "Camila Borges" <mila_c.br@hotmail.com>
Para: "Fernanda Mancilha Fontes" <ffontes@atibaia.sp.gov.br>
Enviadas: Quinta-feira, 17 de outubro de 2019 9:55:12
Assunto: ***SPAM***TCC PCH ATIBAIA

Bom dia Fernanda, tudo bem?

Estamos na reta final do nosso TCC, conforme conversamos à um tempo atrás, disse que algumas informações prestadas por você seriam utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Nossa orientadora recomendou que enviássemos este e-mail formalizando o pedido de autorização para utilizarmos as informações da nossa conversa. Tudo bem pra você?

Agradecemos toda ajuda.

Atenciosamente,
Camila Borges.