



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE BARRAGEM E GESTÃO AMBIENTAL

MAX ROBERTO LIMA DE MORAES

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE ALERTA EM ZONA DE
SEGURANÇA SECUNDÁRIA (ZSS): UM ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DE
MINERAÇÃO DO GELADO – PA.**

TUCURUÍ – PA
2020

MAX ROBERTO LIMA DE MORAES

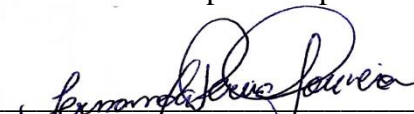
**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE ALERTA EM ZONA DE
SEGURSNÇS SECUNDÁRIA (ZSS): UM ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DE
MINERAÇÃO DO GELADO – PA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

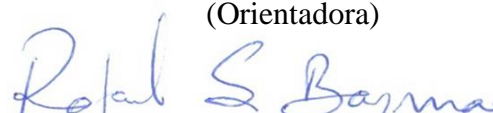
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fernanda Pereira Gouveia

Tucuruí, 10 de julho de 2020.


Aprovado por:



Prof.^a Dr.^a Fernanda Pereira Gouveia / CAMTUC - UFPA
(Orientadora)



Prof. PhD. Rafael Suzuki Bayma / NDAE - UFPA
(Examinador Interno)



Prof. PhD. Carlos Henrique Medeiros / UEFS
(Examinador Externo)

FICHA CATALOGRÁFICA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- M827p Moraes, Max Roberto Lima
Proposta de Instalação de sistema de alerta em zona de
segurança secundária (ZSS): um estudo de caso da barragem de
mineração do Gelado - PA / Max Roberto Lima Moraes. — 2020.
127 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Fernanda Pereira Gouveia
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus
Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí,
2020.
1. Sistema de alerta de emergência. 2. Barragem de
mineração. 3. Zona secundária (ZSS). I. Título.

CDD 624

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Elidiane e minhas filhas Julia e Sofia. Paz e alegria trazem ao meu coração.

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, em primeiro lugar, por escutar a minha voz e a minha oração.

À **Prof.^a Dr.^a. Fernanda Gouveia** pela paciência, amizade, e contribuição neste projeto.

Ao meu amigo **Roberto Júnior**, pela parceria e contribuições sobre os princípios de funcionamento dos sistemas de alerta de emergência.

A minha amada e querida esposa **Elidiane Cristina** que sempre me apoia e traz conforto ao meu coração quando vejo seu lindo sorriso.

As minhas filhas **Julia e Sofia** que me mostraram o que é viver com o coração fora do peito, pois elas passaram a ser meu coração.

A **Glayce Costa**, amiga e que não tenho como expressar minha gratidão.

A minha mãe **Maria José** pela confiança e colaboração nos momentos difíceis.

Ao meu pai **Benedito** pelas poucas mais agradáveis lembranças de amor.

Aos meus irmãos **Marcelo, Márcio e Mauro** que fazem parte da minha vida e que mesmo à distância proporcionam boas recordações.

Aos amigos **Romulo Mascarenhas e Rafael Lois** que sabem trazer alegria mesmo em momentos de dificuldade.

Aos amigos **Rambo e Gabriel**, companheiros de mestrado, grandes colaboradores e que me fizeram rir bastante enquanto estava longe de casa.

Aos profissionais da **Defesa Civil de Parauapebas** por terem colaborado com as informações do PAEBM da barragem do Gelado.

A todos aqueles que um dia disseram que não seria possível e que duvidaram.

A todos, os meus sinceros votos de agradecimento.

RESUMO

As barragens de rejeito, na maioria das vezes apresentam alto risco associado, haja vista as características inerentes aos próprios materiais que as constituem, e aos processos de alteamentos existentes para o aumento de sua capacidade de armazenamento. Desta forma, estudos relacionados à sistemas de alerta de segurança são importantes de forma a garantir procedimentos de alerta à população que se encontra em situações de risco. Neste contexto, a presente pesquisa tem por objetivo apresentar uma proposta de instalação de sistema de alerta de emergência na zona de segurança secundária (ZSS) da barragem do Gelado, tendo em vista a existência de população afetada pela mancha hipotética de inundação, apresentando o orçamento do sistema com base em um projeto real. Buscou-se ainda verificar a possibilidade de custeio do sistema de alerta por parte do ente municipal, haja vista que o mesmo arrecada anualmente recursos financeiros provenientes da CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais). A metodologia da pesquisa foi desenvolvida com base em três etapas, sendo a primeira 1 – caracterização das ZAS e ZSS; a etapa 2 – definição da locação da instalação do sistema de alerta de emergência para a ZSS da barragem do gelado e; a etapa 3 – determinação do orçamento estimado do sistema de alerta na ZSS. O valor estimado para a implementação de todo o sistema de alerta, incluindo as manutenções preventivas e corretivas foi de R\$1.678.224,25, sendo o sistema composto por cinco torres de alerta cujo raio de proteção sonora de cada torre é de 2 km, definido por um volume sonoro mínimo de 70 decibéis, sendo suficiente para alertar uma população estimada em 4.075 habitantes. Concluiu-se ainda que, município de Parauapebas poderia custear a instalação do sistema proposto, uma vez que este é beneficiado, anualmente, com expressivos recursos financeiros da CFEM tendo recebido, em média, nos últimos onze anos, R\$457.813.870,35 (recurso que representaria um percentual de 0,37% dos custos de implantação). A instalação do sistema na ZSS da barragem do Gelado possibilitaria, em caso de colapso, a agilidade quando à comunicação do acidente na ZSS, implicando em menor número de vítimas, haja vista que apenas a ZAS apresenta sistema de alerta de emergência instalado.

Palavras-chave: Sistema de Alerta de Emergência, Barragem de mineração; Zona Secundária (ZSS).

ABSTRACT

The tailings dams, most of the times, present a high associated risk, considering the characteristics inherent to the materials that constitute them, and to the existing elevation processes to increase their storage capacity. Thus, studies related to security alert systems are important in order to guarantee alert procedures for the population that is at risk. In this context, this research aims to present a proposal for the installation of an emergency alert system in the secondary safety zone (ZSS) of the Gelado dam, in view of the existence of a population affected by the hypothetical flood spot, presenting the budget of the system based on an actual project. It was also sought to verify the possibility of funding the alert system by the municipal entity, given that it annually collects financial resources from CFEM (Financial Compensation for the Exploration of Mineral Resources). The research methodology was developed based on three stages, the first step 1 - characterization of ZAS and ZSS; step 2 - definition of the location of the installation of the emergency alert system for the ice cream dam ZSS and; step 3 - determining the estimated budget of the alert system in the ZSS. The estimated value for the implementation of the entire alert system, including preventive and corrective maintenance, was R \$ 1,678,224.25, being the system composed of five alert towers whose sound protection radius of each tower is 2 km, defined by a minimum sound volume of 70 decibels, sufficient to alert an estimated population of 4,075 inhabitants. It was also concluded that the city of Parauapebas could pay for the installation of the proposed system, since it is benefited annually with significant financial resources from CFEM, having received an average of R \$ 457,813,870.35 in the last eleven years (resource that would represent a percentage of 0.37% of the implantation costs). The installation of the system in the ZSS of the Gelado dam would allow, in the event of a collapse, the agility when reporting the accident in the ZSS, implying a lower number of victims, considering that only ZAS has an emergency alert system installed.

Keywords: Emergency Alert System, mining dam; Secondary Zone (ZSS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista da barragem de ST Francis antes e após o rompimento	38
Figura 2 - Distrito de Bento Gonçalves após a onda de inundação.....	39
Figura 3 – Vista da inundação da ruptura da barragem de Brumadinho	40
Figura 4 – Mapa de inundação do município de Tucuruí (PA).	42
Figura 5 - Mapa de Inundação... ..	43
Figura 6 – Sequência de mapas gerados através de softwares.....	44
Figura 7 – Divisão de responsabilidades em relação ao sistema de alerta.....	46
Figura 8 – Modelo de quatro elementos para sistemas de alertas eficazes.....	50
Figura 9 – Transmissão de aviso de <i>tsunami</i> na televisão japonesa em 2004.....	51
Figura 10 – Sirene de alerta de <i>tsunami</i> em <i>Urakawa</i> , Japão.....	52
Figura 11 – Acessórios de uma torre de alerta de emergência	55
Figura 12 – Lista de materiais para montagem.....	55
Figura 13 – Esquema de operação para um sistema de alerta	56
Figura 14- Formas de transmitir e direcionar o som: Tubo reto (a), corneta segmentada (b), corneta com cone reto (c), corneta parabólica (d), corneta hiperbólica (e) e corneta exponencial com borda "infinita".....	57
Figura 15 - Forma em “O” – Configuração com característica elíptica gerada durante o disparo sonoro	58
Figura 16 - Forma em “F” – Configuração com característica direcional gerada durante o disparo sonoro	58
Figura 17 - Forma em “8” – Configuração com característica oitavada gerada durante o disparo sonoro.	59
Figura 18 - Formas em “Rotating e Omni-Directional”.....	59
Figura 19 - Torre de alerta de emergência em processo de implantação.	60
Figura 20 - Localização da barragem do Gelado.....	61
Figura 21 - Vista aérea da barragem do Gelado.....	62

Figura 22 - (a) Vista geral da barragem; (b) inspeção; (c) drenagem; (d) vertedouro; (e) manutenção.....	62
Figura 23 – Croqui da quantificação dos volumes da barragem do Gelado.....	66
Figura 24 – Mancha de Inundação.....	67
Figura 25 - Localização do Município de Parauapebas – PA.....	71
Figura 26 - Metodologia da pesquisa.....	75
Figura 27 – Interferência de árvores de grande porte durante a propagação de onda sonora transmitida	77
Figura 28 – ZAS e ZSS da barragem de mineração do Gelado.....	83
Figura 29 – ZAS inserida na APA do Igarapé Gelado.....	84
Figura 30 – Localização dos pontos de alerta instalados na ZAS pelo empreendedor.....	86
Figura 31 - Inundação pós-ruptura da barragem do Gelado até Parauapebas.....	86
Figura 32 - Visualização da inundação pós-ruptura da barragem do Gelado no município de Parauapebas.....	87
Figura 33 - Mancha de inundação: bairros 1-União/Cidade Nova, 2-Liberdade e 3-Guanabara.....	88
Figura 34 – Mancha de inundação: bairro 4, 5 e 6- Vila Rica.....	88
Figura 35 – Mancha de inundação: bairro 7-Vale do Sol/Jardim Tropical.....	89
Figura 36 – Configuração da mancha de inundação no bairro Vale do Sol e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 1.....	91
Figura 37 - Local sugerido para instalação do sistema de alerta Torre 01.....	91
Figura 38 – Configuração da mancha de inundação no bairro Jardim Tropical e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 02.....	92
Figura 39 – Local sugerido para instalação do sistema de alerta Torre 02.....	93
Figura 40 – Local sugerido para instalação da Torre 03.....	94
Figura 41 - Configuração da mancha de inundação no bairro União e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 03.....	94
Figura 42 - Local sugerido para instalação da Torre 04.....	95
Figura 43 – Configuração da mancha de inundação no bairro Liberdade e área de proteção sonora Torre 04.....	96
Figura 44 – Local sugerido para instalação da Torre 05.....	97
Figura 45 - Configuração da mancha de inundação no bairro Vila Rica e área de proteção sonora.....	97

Figura 46 - Área de cobertura sonora após acionamento dos sistemas.....	98
Figura 47 - Projeto básico da torre de sistema de alerta de emergência.....	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Total de barragens cadastradas no país	33
Gráfico 2- Relação volume X distância percorrida pelos rejeitos.	37
Gráfico 3 - Municípios integrantes de Carajás e suas respectivas populações.....	72
Gráfico 4 - Arrecadação municipal de Parauapebas nos últimos 11 anos.....	74
Gráfico 5 - Interferência sonora de acordo com a altura da barreira.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acidentes em barragens de mineração por número de mortos (1962 – 2020).	33
Tabela 2 – Casos de rupturas de barragens minerárias no Brasil.	35
Tabela 3 – Continentes/Países com maior percentual de acidentes	35
Tabela 4 – Dados gerais da barragem do Gelado	63
Tabela 5 – Síntese dos principais dados hidrológicos	65
Tabela 6 – Ranking dos 10 maiores PIB's do Estado do Pará – 2019	73
Tabela 7 – Ranking de recolhimento da CFEM dos dez municípios com atividades minerárias em 2020	73
Tabela 8 – Modelo da planilha orçamentária para materiais e equipamentos	80
Tabela 9 - Modelo de planilha orçamentária para montagem das Torres.....	81
Tabela 10 - Modelo Custos mensal e total com manutenção do sistema de alerta.....	81
Tabela 11 - Planilha resumo do custo total para a instalação do sistema de alerta na ZSS de Parauapebas.....	82
Tabela 12 - Proposta de localização das torres do sistema de alerta na ZSS.....	89
Tabela 13 - Elevação da mancha de inundação nas áreas atingidas e elevação dos locais de locação das torres.....	90
Tabela 14 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 01.....	90
Tabela 15 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 02.....	92
Tabela 16 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 03.....	94
Tabela 17 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 04.....	95
Tabela 18 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 05.....	96
Tabela 19 - Planilha orçamentária de aquisição de materiais e equipamentos.....	100
Tabela 20 - Planilha orçamentária para montagem das Torres.....	101
Tabela 21 - Custos com manutenção do sistema de alerta.....	102
Tabela 22 - Planilha do custo total para a instalação do sistema no ZSS.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legislações e decretos sobre segurança de barragens em alguns países.....	29
Quadro 2 – Leis referentes a recursos hídricos e barragens.....	47
Quadro 3 – Diferentes zoneamentos de risco em âmbito internacional.....	49
Quadro 4 – Modos de falha e suas respectivas situações de emergência.....	64
Quadro 5 – Responsabilidades das equipes nas ações de emergência.....	69

APÊNDICE

Apêndice A- Mapas de inundação da barragem do Gelado.....	117
Apêndice B- Locação das torres de alerta de emergência.....	123
Apêndice C- Projeto das torres de alerta de emergência.....	126

LISTA DE NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CGHs	Centrais Geradoras de Hidrelétricas
CNSB	Conselho Nacional de Segurança de Barragens
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DP	Dano Potencial
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPA	Dano Potencial Associado
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
ISDR	<i>International Strategy for Disaster Reduction</i>
PAEBM	Plano de Ação de Emergência para Barragens
PLANCON	Plano de Contingência Municipal
PNSB	Programa Nacional de Segurança de Barragens
PAE	Plano de Ação Emergencial
PSB	Plano de Segurança de Barragens
PCHs	Pequenas Centras Hidrelétricas
SNISB	Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens
UHEs	Usinas Hidrelétricas
UHE	Usina Hidrelétrica
ZAS	Zona de Auto salvamento
ZSS	Zona de Segurança Secundária

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 LEGISLAÇÕES/NORMAS RELACIONADAS À SEGURANÇA DE BARRAGENS..	24
2.1.1- Lei Federal nº no 12.334 de 20 de setembro de 2010.....	25
2.1.2- Resolução ANM nº 13 de 08 agosto de 2019.....	26
2.1.3- Legislação Internacional.....	27
2.1.4- Plano de Contingência (Portaria Nº 187 de 19 de outubro de 2017).....	30
2.2 ACIDENTES ENVOLVENDO BARRAGENS DE MINERAÇÃO.....	31
2.2.1- Barragem St Francis – Estados Unidos – 1928.....	377
2.2.2- Barragem da Fundão – Brasil – 2015.....	39
2.2.3- Barragem de rejeitos da mina do córrego do feijão – Brasil - Brumadinho (MG).....	40
2.3 ESTUDOS DE INUNDAÇÃO.....	41
2.3.1- Mapas de Inundação.....	41
2.3.2- Zonas de autossalvamento (ZAS) e de segurança secundária (ZSS).....	45
2.3.2.1- Zoneamento de risco.....	47
2.4 SISTEMAS DE ALERTA DE EMERGÊNCIA.....	50
2.4.1- Equipamentos e Sistema Básico de Funcionamento.....	54
2.4.2- Cornetas/Sirenes.....	56
3. APRESENTAÇÃO DA BARRAGEM ESTUDO DE CASO.....	61
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM DO GELADO.....	711
3.1.1- Hidrograma de ruptura e mancha de inundação.....	65
3.1.2- Responsabilidades do PAEBM durante a emergência.....	68
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARAUPEBAS.....	71
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	75
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZAS E ZSS DA BARRAGEM DO GELADO.....	75
4.2 DEFINIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALERTA NA ZSS.....	76

4.3 ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE EMERGÊNCIA NA ZSS.....	79
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZAS E ZSS DA BARRAGEM DO GELADO.....	83
5.2 LOCAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALERTA DE EMERGÊNCIA.....	85
5.2.1- Sistema de alerta pré-existentes.....	85
5.2.2- Locação dos sistemas de alerta sonoros na ZSS do município de Parauapebas.....	89
5.3 ORÇAMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE EMERGÊNCIA NA ZSS DE PARAUAPEBAS.....	98
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

1 INTRODUÇÃO

As barragens apresentam importância significativa como base de infraestrutura, pois proporcionam geração de energia elétrica, controle nos níveis de enchentes, contenção de rejeitos de mineração, abastecimento de zonas residenciais, agrícolas, irrigação e usos recreativos. São consideradas fontes de perigo potencial; pois expõe vidas e propriedades localizadas a jusante, a uma constante situação de risco, A incapacidade de mitigar completamente o risco gera a necessidades de antecipar quais ações devem ser tomadas para reduzir ainda mais esse risco, e contra cada um dos possíveis problemas (JUNIOR, 2013).

Duarte (2008) ratifica que quando das rupturas de barragens, devem-se considerar as consequências com prejuízos diretos, como a perda de vidas humanas e os danos materiais no açude e nas áreas inundadas; há ainda que considerar os prejuízos indiretos resultantes da interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas, da impossibilidade de exploração dos recursos hídricos e os resultantes de traumas psicológicos e físicos dos sobreviventes.

A falha de uma barragem de mineração ocorre quando uma barragem perde sua integridade estrutural e libera o material do reservatório que sob a força da gravidade se movimenta como uma onda de inundação que contém uma densa mistura de sólidos e líquidos, muitas vezes com resultados catastróficos (USEPA, 2014).

Historicamente, os maiores impactos socioambientais causados por mineradoras são os acidentes com rompimento de barragens de rejeito (Sun et al, 2012). A onda de inundação de uma barragem de rejeito rompida pode conter vários milhões de metros cúbicos de material que podem percorrer longas distâncias sobre o solo e cursos de água causando danos por onde passa (USEPA, 2014). Daí a preocupação que se deve ter em relação à segurança destes empreendimentos, não somente devido ao histórico de ocorrências de acidentes, mas também pela necessidade do atendimento às exigências das legislações e normas vigentes que tratam de segurança de barragens.

É oportuno relatar alguns casos de rupturas de barragens de mineração como a barragem de Fernandinho, Itabirito (MG) em 1986, Macacos (MG) em 2001, Cataguases (MG) em 2003, Herculano (MG) em 2014, (OLIVEIRA, 2015).

Em 2015, ocorreu a ruptura da Barragem de Fundão (MG), sendo a causadora de um dos maiores impactos ambientais da história brasileira e um dos maiores do mundo envolvendo barragens de rejeitos. Em 2019, ocorreu o rompimento da barragem que estava localizada no ribeirão Ferro-Carvão, na região de Córrego do Feijão, no município brasileiro

de Brumadinho, a 65 km de Belo Horizonte, em Minas Gerais, que deixou um saldo de mais de 250 mortes e vários desaparecidos.

A portaria DNPM nº 70.389 de 17 de maio determina que as barragens com DPA alto ou quando exigido pelo referido órgão, apresentem o Plano de Ação de Emergência para Barragem de Mineração - PAEBM, sendo o caso da barragem do Gelado, já que a mesma se enquadra na categoria B (categoria de risco baixa e dano potencial associado alto). A normativa também indica no art. 38, inciso II que caso a Defesa Civil estadual ou federal solicite formalmente, que o empreendedor mantenha sistema de alerta ou avisos à população potencialmente afetada na Zona de Segurança Secundária (ZSS), de acordo com o pactuado previamente com o citado órgão e após verificada de forma conjunta a sua eficácia, em consonância com a Portaria nº 187, de 26 de outubro de 2016, da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil ou normativo que venha a sucedê-lo.

Para as rupturas de barragens, os sistemas de alerta de emergência sonoro são importantes mecanismos que ajudam na segurança, principalmente das pessoas que residem nas proximidades dos barramentos ou no raio de ação da mancha.

Devido aos riscos supracitados, torna-se fundamental a instalação dos sistemas de alerta de emergência como forma de comunicação à população que se encontra na zona de salvamento (ZAS), assim como, aos que residem em locais denominados de zona de segurança secundária (ZSS), tendo em vista que a Defesa Civil estadual ou federal pode solicitar ao empreendedor que mantenha sistema de alerta ou avisos à população potencialmente afetada na ZSS, de acordo com o pactuado previamente com o citado órgão e após verificada de forma conjunta sua eficácia (DNPM, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

A resolução nº 236 da ANA (Agência Nacional de Águas) de 30 de Janeiro de 2017, indica em seu ANEXO II, o conteúdo mínimo e nível de detalhamento do PSB, sendo que o item 6 recomenda os procedimentos de notificação incluindo o Fluxograma de Notificação e Sistema de Alerta, portanto, os rios que pertencem a união devem ser assistidos por essa tecnologia.

A Portaria do DNPM nº 70.389 de 17 de maio de 2017 explicita que o comunicado de alerta é importante para a população que se encontra na região da ZAS, sendo necessário instalar, nas comunidades inseridas no ZAS, sistema de alarme, contemplando sirenes e outros mecanismos de alerta adequados ao eficiente alerta na ZAS. Ainda sim, o art. 38º enfatiza que o empreendedor é obrigado a alertar a população potencialmente afeta no ZAS, de forma rápida e eficaz, utilizando os sistemas de alerta, e de avisos constantes no PAEBM. Agora, para as comunidades em áreas de ZSS, caso a defesa civil estadual ou federal solicite formalmente, o empreendedor deve manter sistema de alerta ou avisos à população potencialmente afetada de acordo com o pactuado previamente com o citado órgão e após verificada de forma conjunta sua eficácia (DNPM, 2017).

O acidente com a barragem em Mariana-MG, em 2015 comprovou a importância de um sistema de alerta sonoro em barragens de mineração. Apesar da barragem de Fundão ter passado por auditoria e ser considerada estável, isso não significava uma segurança ao ponto da não aplicabilidade de alerta pelo empreendedor.

O laudo recomendava o periódico monitoramento geotécnico e estrutural dos diques e da barragem; e destacava a necessidade de um plano de contingência para situações de risco ou acidentes. Tais recomendações contrastam com a real inexistência, na área do empreendimento, do mais elementar sistema de alarme sonoro, destinado ao alerta da população do entorno em casos de acidentes ao agravamento dos riscos (ZHOURI, 2016).

É notória a recorrência de rompimentos de barragens no Brasil. O mais estarrecedor e que foi destaque na imprensa nacional que as sirenes não tocaram para alertar trabalhadores e

comunidades próximas quando represa do Córrego do Feijão em Brumadinho-MG se rompeu (MENDES, 2019).

O cumprimento do item IV do art. 12 da PNSB é de fundamental importância, tendo em vista que o mesmo estabelece estratégias e meios de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situações de emergência. Neste caso, as barragens em que também competem a fiscalização por meio da ANEEL não devem estar desassistidas pelos sistemas de alerta, contudo, conforme nota informativa da Agência Nacional de Águas de 10 de dezembro de 2018, ainda existem barragem que precisam de regularização.

“Atualmente, encontram-se identificadas 179 barragens de acumulação em rios de domínio da união. Desse total 102 estão sujeitas à PNSB e 36 não se submetem à PNSB, conforme os critérios estabelecidos no art. 1º da Lei nº12.334/10. As demais 41 barragens encontram-se em processo de regularização da outorga do barramento”.

(ANA – Nota informativa nº15/18/CONFINS/SFI, 2018).

É importante destacar a preocupação pertinente a segurança das barragens, em especial as de rejeitos de minério e ondas de inundação de hidrelétricas, tendo em vista os diversos problemas pertinentes a sua construtibilidade, assim como, os riscos relacionados a ações climáticas. Para tanto, é de fundamental importância o tempo de advertência, que é usado para alertar as pessoas quanto à ruptura de uma barragem para uma efetiva evacuação da população (VALERIUS, 2014). O soar de uma sirene tem diversos significados, mas a maioria deles está associada a ideia de risco, sinal de alerta de que algo de errado aconteceu ou está prestes a acontecer. Quando se trata de segurança de barragem, o som de uma sirene é a metáfora de um dia sombrio. Horas de apreensão e angústia (PEREIRA, 2018).

A melhoria dos sistemas de alerta de emergência, em destaque neste trabalho, é em função da segurança das pessoas que residem, principalmente, a jusante das barragens, uma vez que permitem garantir o progresso quanto ao resgate das vítimas. Desta forma, sabendo que a mancha de inundação, analisada neste trabalho, ultrapassa o raio delimitado por lei como de responsabilidade do empreendedor, o estudo para colaboração com o plano de contingência municipal e associado ao orçamento para posterior análise de implantação de novos dispositivos de alerta, é o que me motiva para esta pesquisa.

Ao considerar uma das particularidades de sistemas de alerta de emergência, referente à utilização destas em barragens, em razão da área total de risco que um rompimento pode proporcionar, uma medida preventiva e de grande importância, para minimizar os riscos de perdas de vidas humanas, é a continuidade de implantação de sistemas de alerta, não somente no raio de 10km ou 30 minutos, e estas devem garantir em 100% a área total do risco dimensionado pelo mapa de inundação. No caso de considerarem-se sistemas de alerta, para redução do potencial de perdas de vidas, a confiabilidade de tais sistemas deve ser incorporada em todas as análises e avaliações (SAMPAIO, 2014).

Neste cenário, a utilização da tecnologia de sistemas de alerta sonoro, proposto nesta pesquisa, será utilizada de forma mais ampla, ou seja, beneficiando também comunidades fora do ZAS, dando condições de alerta, tanto do empreendedor como da defesa civil, pois em muitos casos, a urbanização chegou em áreas muito próximas aos barramentos, e em outros casos, distantes, contudo, em regiões mapeadas como risco de atingimento. Uma vez a ocupação urbana já consolidada, a remoção das pessoas do local se torna bastante difícil. Se a retirada daquela população em área de risco é um assunto delicado, cabe aos órgãos responsáveis então prever as consequências de eventos extremos, e a partir desta experiência, prever planos para a gerência de situações de risco, a fim de minimizar problemas sanitários, materiais e risco à população (SILVA, 2016).

Para o mapeamento da quantidade de torres para posterior instalação é de fundamental importância o mapa de inundação para uma área previamente determinada conforme o risco gerado por um barramento. Os mapas de inundação se configuram em um instrumento importante na prevenção, controle e gestão das inundações, pois através deles é possível definir as áreas de risco (AGUIAR, 2014).

Vale lembrar que a implantação de torres de alerta de emergência apresenta, normalmente, um custo elevado e estão sujeitas a furtos e vandalismo. Desta maneira, verifica-se a necessidade da preocupação com estas estruturas desde a fase de planejamento, projeto e execução, ressaltando a importância dos locais para sua implantação, objeto também deste estudo, caracterizando um controle eficiente em sua tecnologia.

Neste sentido, considerando como exemplo a magnitude de um rompimento de uma barragem de mineração e a necessidade de realizar uma evacuação em massa da população que se encontra suscetíveis ao desastre, tem-se a vantagem do acionamento sonoro das sirenes, sendo previsíveis os locais para disseminação sonora, ou seja, servirá para

comunidades tanto do PAE como do PLANCON, proporcionando, desta forma, maiores chances de resgate das vítimas.

SILVA (2002) afirma que rompimento de barragens é algo recorrente no Brasil e pode se tornar mais frequente diante da crescente mudança do uso do solo e de ocorrência de eventos extremos causados pela mudança de clima. Desta maneira, considerando os riscos decorrentes da região, percebe-se a importância desta pesquisa para a aplicação nestes empreendimentos, tanto nos existentes, quanto nos que estão em fase de implantação.

Referente à preocupação em alerta a população fora do ZAS, a Defesa Civil atua com o foco em reduzir desastres. Diante dessa perspectiva se torna imprescindível à definição de normas, planos e procedimentos que visem à prevenção, socorro e assistência da população e recuperação de áreas de risco ou quando estas forem atingidas por desastres, buscando através da soma de esforços com empresas, estabelecimentos de ensino, comunidade e instituições de segurança pública uma participação de forma ativa e consciente dentro de todo o processo, para garantir uma ação conjunta de toda a sociedade nas ações de segurança global da população (MACHADO, 2007).

NETO (2007) conceitua segurança global da população como:

Conjunto de medidas objetivando garantir o direito à vida, à saúde, à segurança pública e à incolumidade das pessoas e do patrimônio, em todas as circunstâncias e, em especial, em circunstâncias de desastre. A segurança global da população é dever do Estado, direito e responsabilidade da cidadania.

O presente trabalho surge de modo a contribuir com a discussão acerca de gestão de segurança com a utilização de torres de alerta para alertar a população, em especial, na zona de salvamento secundária (ZSS), assim como, na apresentação do investimento necessário para a implementação futura do sistema, utilizando como base de viabilidade, a análise dos *royalties* provenientes da CFEM do município beneficiado. Verifica-se ainda que os resultados da presente pesquisa podem servir de material técnico para agregar ao Plano de Contingência Municipal de Parauapebas (PLANCON) existente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor a instalação do sistema de alerta de emergência em Zona de Segurança Secundária (ZSS) da barragem de Mineração do Gelado.

1.2.2 Objetivos específicos

Para o alcance dos objetivos gerais pretende-se desenvolver os seguintes objetivos específicos:

Caracterizar as zonas ZAS e ZSS da barragem estudo de caso;

Realizar o mapeamento dos principais locais com risco de atingimento e definir, através de critérios técnicos, os mais significativos para as instalações de sistemas de alerta;

Compartilhar com a defesa civil do município de Parauapebas o estudo realizado contribuindo assim com a melhoria do PLANCON da cidade de Parauapebas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LEGISLAÇÕES E NORMAS RELACIONADAS À SEGURANÇA DE BARRAGENS

No Brasil, em 2010 foi sancionada a Política Nacional de Segurança de Barragem – PNSB aplicada às barragens destinadas a acumulação de água para quaisquer usos, a disposição final ou temporária de rejeitos e a acumulação de resíduos industriais e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 e do art. 4º da lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000, atendendo a todo um anseio da comunidade técnica envolvida (JUNIOR, 2013). Essa política fez com que o Brasil entrasse no rol dos países que possuem uma legislação consolidada e de extrema importância no que diz respeito ao assunto.

Em julho de 2002, o Ministério da Integração Nacional, através da secretaria de infraestrutura hídrica, criou um manual de segurança e inspeção de barragens, que na época era o documento mais importante sobre o assunto no país (ZUFFO, 2005). No Brasil, segundo TIMBÓ (2018), a partir da primeira década do novo milênio, ocorreram diversos acidentes significativos com barragens no Brasil que mudaram a percepção da situação de segurança de barragens no país e suscitaram o desenvolvimento de uma regulamentação neste sentido. Diante desta nova realidade, a “Lei de Segurança de Barragens” teve seu início no legislativo federal por meio da proposição de um projeto de lei, começando efetivamente sua tramitação na Câmara Federal no ano de 2003. A iniciativa contou com a participação das instituições de ensino e pesquisa, organizações profissionais e apoio de técnicos e especialistas que atuam na engenharia de barragens. Em 2003 foi criado o Projeto de Lei Nº 1.181, de 2003 (BRASIL, 2003), tinha como objetivo estabelecer diretrizes para a verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais.

É importante ressaltar que a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), através do projeto de lei 1.181, criou o Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB) e o Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens (SNISB), neste período, se obteve um grande avanço no que diz respeito à segurança de barragens, tendo em vista que, até aquela ocasião, não havia uma legislação no Brasil aprovada sobre uma Política Nacional de Segurança de Barragens. O Projeto de Lei Nº 436 de 2007 torna obrigatória a contratação de seguro contra o rompimento de barragens. Segundo COLLE (2008), o primeiro projeto tinha como objetivo tecer normas para regulamentar o setor de segurança de barragens,

enquanto que o segundo apontava a obrigatoriedade de contratação de seguro contra rompimento de barragens, visando cobrir danos físicos e prejuízos materiais a pessoas físicas e jurídicas domiciliadas a jusante de barramentos.

2.1.1 Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

Em 20 de setembro de 2010 ocorre a criação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) através da lei nº 12.334, a qual passou a representar o expoente da legislação brasileira em relação a este tema e, até a promulgação da lei, não existiam no Brasil padrão nacional e compromisso legal para a gestão de barragens. Apenas se dispunham de manuais, diretrizes e procedimentos (SANTOS, 2017). A legislação relativa à segurança de barragens no Brasil que regula o setor é a Lei 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, sancionada no ano de 2010 (BRASIL, 2010).

A Lei 12.334, ressalta-se que, entre outros, o objetivo desta regulamentação é garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências. Esta Lei, entretanto, não é aplicável a todas as barragens, restringindo-se àquelas que se enquadrem em pelo menos um dos itens a seguir, segundo o artigo primeiro: (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 e; (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).

Com as regras já em vigor, tornou-se obrigatório a apresentação de um Plano de Ação Emergencial – PAE para as barragens classificadas como sendo de Dano Potencial (DP) nível alto. Este documento estabelece ações a serem realizadas, com o intuito de aliviar as implicações proporcionadas pelas ondas de cheia, ainda sim, é um documento formal e de extrema relevância para identificar condições de emergência em barragens.

Verifica-se a necessidade de uma fiscalização intensa no cumprimento dos preceitos estabelecidos pela Lei Nº 12.334/2010, que estabelece o Plano Nacional de Segurança de Barragens e define que toda barragem deve possuir um proprietário responsável pela obra, cabendo a ele as obrigações referentes à manutenção adequada da barragem (SAMPALHO, 2014).

É muito importante ressaltar as revisões que estão ocorrendo na lei em questão através da PL 550 é que foi aprovada na câmara federal em 19.05.2020. Segundo IBRAM (2020), uma das propostas, por exemplo, previa nos processos de descaracterização de barragens a retirada de todos os rejeitos de barragens, sem indicar a destinação desses resíduos industriais. O substitutivo define como “barragem descaracterizada aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo características de barragem, sendo destinada a outra finalidade”.

Um dos pontos de destaque do substitutivo é a modificação do caráter de obrigatoriedade em relação à contratação de seguro, especificando os casos em que o órgão fiscalizador pode exigir das mineradoras a apresentação não cumulativa de caução, seguro, fiança ou outras garantias financeiras de acordo com o risco de cada barragem. Além disso, o texto estabelece regras para a questão das barragens construídas em Zonas de Auto Salvamento (ZAS): o projeto permite a descaracterização da estrutura ou o reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantam a estabilidade efetiva da estrutura, em decisão do Poder Público após ser ouvido o empreendedor, e ainda levando-se em consideração a anterioridade da barragem em relação à ocupação e a viabilidade técnico-financeira das alternativas.

2.1.2 Resolução ANM nº 13 de 08 agosto de 2019.

No caso das barragens de mineração, a Resolução nº 13, de agosto de 2019, trouxe um importante detalhamento sobre o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração – PAEBM, o qual deve estar contido no Plano de Segurança da Barragem (PSB). O PAEBM deve ser elaborado para todas as barragens enquadradas no disposto nos §§ 1.º e 2.º do art. 9. Inclusive, cópias físicas do documento devem ser entregues para as Prefeituras e aos organismos de defesa civil.

O conteúdo mínimo exigido para O PAEBM deve conter:

- a) Apresentação e objetivo do PAEBM;
- b) Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificações;
- c) Descrição geral da barragem e estruturas associadas;
- d) Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência em níveis 1, 2 e/ou 3

- e) Ações esperadas para cada nível de emergência.
- f) Descrição dos procedimentos preventivos e corretivos
- g) Recursos materiais e logísticos disponíveis para uso em situação de emergência
- h) Procedimentos de notificação (incluindo o Fluxograma de Notificação) e Sistema de Alerta;
- i) Responsabilidades no PAEBM (empreendedor, coordenador do PAE, equipe técnica e Defesa Civil)
- j) Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS (Zona de auto salvamento) e ZSS (zona secundária), assim como dos pontos vulneráveis potencialmente afetados;
- k) Declaração de Encerramento de Emergência, quando for o caso;
- l) Plano de Treinamento do PAE;
- m) Descrição do sistema de monitoramento utilizado na Barragem de Mineração;
- n) Registros dos treinamentos do PAEBM;
- o) Relação das autoridades competentes que receberam o PAEBM e os respectivos protocolos;
- p) Relatório de Causas e Consequências do Evento em Emergência Nível 3

Para a presente pesquisa é fundamental entender do que se trata o estudo de inundação e suas zonas de auto salvamento (ZAS) e secundárias (ZSS), uma vez que o sistema de alerta proposto é direcionado a ZSS, sendo melhor apresentado tais conceitos de acordo com a Portaria nº 187, de 26 de outubro de 2016.

2.1.3 Legislação internacional.

Em todo o mundo, as ações de segurança de barragens passaram a se tornar importante somente após grandes desastres. LAURIANO (2009) relata que após o acidente de *Malpasset*, a França tornou obrigatório a preparação de planos de alerta e socorro às populações a jusante de barragens, baseados em mapas de inundação. Em 1988, no Canadá, a exigência da legislação passou a cobrar os donos de barragens a elaboração de Planos de Emergência e de Sistemas de Aviso específicos para cada local. E na Itália, especificamente na década de 80 a legislação obrigou os responsáveis pelas barragens a efetuarem estudos relativos às áreas inundáveis a jusante, por efeito de descargas e de hipotéticos colapsos estruturais, inclusive

considerando o sistema de alarme e a sinalização de perigo, em caso de ruptura (BALBI, BARBOSA, SILVA 2012).

A questão das regulamentações de segurança de barragens não é matéria restrita apenas ao Brasil, vários países aprovaram também seus decretos como forma de prevenção de fatalidades e mitigação de riscos para esses empreendimentos que possuem grande importância. Sampaio, (2014) listou alguns deles, como por exemplo o Canadá, que publicou uma edição revisada do *Dam Safety Guidelines* através da *The Canadian Dam Association* (CDA), contendo recomendações para avaliação de segurança de barragens existentes, atentos a problemas de ordem construtiva e principalmente, no intuito de contribuir com a legislação e regulamentação sobre barragens.

Em Portugal o primeiro regulamento sobre projeto e construção de barragens de terra intitulado “Regulamento de Pequenas Barragens de Terra” foi oficializado através do Decreto-Lei No. 48.373/68, em 08/05/1968. Em 1990, o governo português instituiu um novo Regulamento para Segurança de Barragens, na forma de anexo ao Decreto-Lei No. 11/90 de 06/01/90. Em 1993 foi publicado um novo Regulamento de Pequenas Barragens, anexo ao Decreto Lei Nº 409/93. Em 1999 foi publicada a Legislação Sobre Segurança de Barragens.

Na Espanha, em 1992 foi publicada a *Legislacion Espanola Sobre Seguridad de Presas*, produzida pela *Comission de Normas de Grandes Presas*. Em 12 de março de 1996, por ordem ministerial, foi aprovado “*El Reglamento Técnico Sobre Seguridad y Emblases*”.

Na Inglaterra a segurança das barragens foi regulamentada por Ato do Parlamento, em 1930; garantindo assim as ações de inspeção dessas estruturas, por engenheiro especialista em barragens. Dando continuidade aos trabalhos o governo britânico vem promovendo programas de avaliação de segurança de barragens, a luz do conhecimento técnico e ferramentas tecnológicas atuais, através do *Building Research Establishment (BRE)*.

Nos Estados Unidos, em 1929, após o acidente com a barragens *Saint Francis*, o Estado da Califórnia aprovou um programa de segurança de barragens. Posteriormente, ocorreram outros acidentes com barragens, causando perda de vidas e propriedades, fato que motivou a elaboração de legislações adicionais a nível estadual e federal. O Congresso Americano, em 1972, promulgou a Lei Publica 92-367, conhecida como a “Lei Nacional de Segurança de Barragens”.

Na Austrália, o *Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD)*, publicou uma revisão dos documentos intitulados: *Guidelines on Dam Safety Management* e,

Guidelines on Risk Assessment, em 1994; com o objetivo de contribuir no planejamento, projeto, construção e operação de grandes barragens.

O Quadro 1 destaca as legislações/decretos aplicados em alguns países estrangeiros com suas devidas recomendações referente a segurança de barragens.

Quadro 1 - Legislações e decretos sobre segurança de barragens em alguns países.

País	Descrição de regulamentos
África do Sul	O <i>Department Water Affairs and Forest - DWAF</i> (2008) publicou em 25 de julho de 1986 as <i>Dam Safety Regulations (DSR)</i> , entrando em vigor em 1987 para barragens classificadas como de risco.
Alemanha	A norma técnica alemã DIN8 19700 de 1986 considera 5 tipos de barragens (reservatórios, controle de cheias, vertedouros, reservatórios de bombeamento e de resíduos minerais), independente da altura ou do volume acumulado.
Argentina	O governo argentino promulgou em 1999 o Decreto 239/99 que cria o Organismo Regulador de Seguridad de Presas - ORSEP, que tem a função de supervisionar questões de segurança de barragens desde o projeto, construção, manutenção e operação de projetos hidrelétricos.
Áustria	A <i>Federal Water Law</i> é a principal lei que trata de segurança de barragens no país.
Canadá	O gerenciamento de recursos hídricos cabe às províncias. Mas caso sejam insuficientes as legislações específicas sobre segurança de barragens as <i>Dam Safety Guidelines 13 - DSG</i> elaboradas pela <i>Canadian Dam Association - CDA</i> atualizadas em 2007 são aceitas.
China	Na China são diversas as leis e regulamentações que tratam de segurança de barragens. Entre elas estão: <i>Flood Control Law - FCL</i> , elaborado em 29 de agosto de 1997 que impõe aos indivíduos e unidades responsabilidades pela prevenção de cheias e o regulamento sobre segurança de reservatórios e o regulamento de combate a enchentes editado pelo " <i>State Concil</i> ".

Espanha	A regulamentação sobre segurança de barragens se relaciona com inúmeras publicações, como a Ley das Águas (1979), a " <i>Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas</i> " (1962 e 1967), " <i>Programas de Seguridad y Explotación de Presas del Estado</i> " (1983 e 1992), " <i>Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones</i> " (1994) e " <i>El Reglamento Técnico sobre Seguridad e Emblases</i> " (1996).
Estados Unidos	As leis relacionadas à segurança de barragens são tanto federais como estaduais. Cada estado controla sua regulamentação de forma particular. A " <i>United States Society on Dams</i> " USSD, que representa o ICOLD nos Estados Unidos, e a <i>Association of States Dam Safety Officials</i> (ASDSO) apresenta inúmeros trabalhos sobre a segurança de barragens no país.
Portugal	Podem ser citados documentos como o Regulamento de Segurança de Barragens - RSB, Decreto-Lei nº 11/90, de 6 de janeiro de 1990, Portarias nº 846/93 e 847/93, de 10 de setembro que estabelecem Normas de Projeto de Barragens e Normas de Observação e Inspeção de Barragens. Ainda em 1993 foi promulgado um documento de pequenas barragens presente no decreto nº 409/93. Em 2007 o RSB foi atualizado e publicado no Diário da República em outubro pelo Decreto-Lei nº. 344/2007, que impõe a realização de estudos de ruptura, mapas de inundações e classificação das barragens em função dos danos potenciais associados.
Brasil	Em 1976 o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens - CBDB (atual Comitê Brasileiro de Barragens) criou um Grupo de Segurança de Barragens que redigiu uma minuta que tratava de diretrizes para inspeção e avaliação da Segurança das Barragens em operação publicada em 1979. Ainda em 1979 o governo do estado de São Paulo emitiu um Decreto-Lei relativo à segurança de barragens para o estado e em 2001 foi desenvolvido o Guia Básico de Segurança de Barragens. Em 2010 entrou em vigor a Lei 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água de quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

Fonte: Adaptado de Cestari jr. e Jonatas (2013).

2.1.4 Plano de Contingência (Portaria Nº 187 de 19 de outubro de 2017).

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2017) Plano de Contingência (PLANCON) funciona como um planejamento da resposta e por isso, deve ser elaborado na normalidade, quando são definidos os procedimentos, ações e decisões que devem ser

tomadas na ocorrência do desastre. Por sua vez, na etapa de resposta, tem-se a operacionalização do plano de contingência, quando todo o planejamento feito anteriormente é adaptado a situação real do desastre. Contingência é a situação de incerteza quanto a um determinado evento, fenômeno ou incidente, que pode se concretizar ou não, durante um período de tempo determinado.

Considerando a Portaria nº 187 da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional a qual aprovou o "Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens", que tem por finalidade propor orientações para a elaboração de Planos de Contingência Municipais, para os cenários de risco gerados pela presença de barragens em seu território e para efeito da portaria em questão, o item XVIII que trata do Plano de Contingência na Zona de Autossalvamento estabelece a necessidade de um plano elaborado pelo empreendedor e apresentado a Defesa Civil com o objetivo de mitigar os danos humanos num cenário de desastre na zona de autossalvamento, compreendendo o planejamento para que o maior número possível de pessoas que habitam a citada zona possa ser alertado e orientado em tempo hábil para chegar ao ponto de encontro.

Referente a Zona de Segurança Secundária, o § 1º da portaria nº 187 informa que o mapa de inundação a que se refere o caput deve ser detalhado e deve exibir em gráficos e mapas georreferenciados as áreas a serem inundadas, explicitando a ZAS e a ZSS, os tempos de viagem para os picos da frente de onda e inundações em locais críticos abrangendo os corpos hídricos e possíveis impactos ambientais.

Segundo a Agência Nacional de Mineração (2017), tendo em vista que o empreendedor é o responsável pela segurança da barragem e é quem deve providenciar todos os recursos necessários para alertar e garantir evacuação das pessoas na ZAS com segurança, deve ter também a obrigação de capacitar por meios dos simulados. A solicitação formal da Defesa Civil seria interessante para a ZSS, visto que essa zona faz parte do PLANCON.

2.2 ACIDENTES ENVOLVENDO BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Barragens de rejeitos de mineração são estruturas projetadas para decantação e manutenção de rejeitos e água de processo (EUROPEAN COMMISSION, 2004). Por não possuir valor comercial, o rejeito necessita ser descartado da forma mais econômica, minimizando, porém, os impactos ambientais resultantes. No caso de rejeitos na forma de sólidos a deposição será em barragens de rejeitos.

O manual de segurança e inspeção de barragens define barragem de rejeitos como sendo um barramento construído para reter rejeitos ou materiais estéreis de mineração e de outros processos industriais (BRASIL, 2002).

De acordo com ANA (2018) as barragens de contenção de rejeitos são construídas com o próprio material da atividade minerária ou industrial. A partir de uma estrutura inicial de contenção, denominada dique de partida. Os rejeitos são lançados para armazenamento, formando um depósito com uma zona denominada praia e outra denominada lagoa de decantação.

Barragens de mineração, também podem apresentar falhas, pois estas ocorrem quando uma barragem perde sua integridade estrutural e libera o material do reservatório que sob a força da gravidade se movimenta como uma onda de inundação que contém uma densa mistura de sólidos e líquidos, muitas vezes com resultados catastróficos (USEPA, 2014). Daí a importância das vistorias periódicas, dos cuidados quanto as análises das instrumentações e de um plano de emergência eficaz quando da necessidade de sua utilização.

Devido ao método construtivo e a dinâmica empregada na mineração o método que tende a apresentar menos problemas é o método de jusante. Isto devido ao fato de a geometria da barragem apresentar certa constância e o controle das propriedades dos materiais de construção independe do ritmo de deposição do rejeito, ou seja, se tem um controle nítido de toda a barragem, compactação do material, drenos e impermeabilização.

Pelo fato dos alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados, estes estão em condição saturada e tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos (CARDOZO, PIMENTA, ZINGANO, 2016).

O RSB (Relatório de Segurança de Barragens) de 2018 apontou a existência de 17.604 barragens cadastradas pelos órgãos fiscalizadores. Do total de barragens cadastradas 7.368 (ou 42%) possuem algum tipo de ato de autorização (outorga, concessão, autorização, licença, entre outros), estando, portanto, regularizadas.

De acordo com o DNPM (2018), o Brasil apresenta 786 barragens cadastradas no país, sendo destas 417 inseridas na PNSB e 369 não inseridas na PNSB conforme demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Total de barragens cadastradas no país.

Fonte: DNPM, 2018.

Consta no RSB (2018) o relato de três acidentes e dois incidentes com barragens, sendo os acidentes reportados são semelhantes, com rompimento total de pequenas barragens de terra durante período de chuvas intensas, que acabaram por romper outras barragens menores localizadas a jusante. Já os incidentes estão relacionados a processos erosivos e percolação, todos relacionados à manutenção das barragens (ANA, 2018).

Dentre as centenas de casos de rompimentos de barragens de mineração ao longo da história, SAMPAIO (2006) destaca na tabela 1, casos ocorridos no mundo todo com informações sobre o número de vítimas, sendo adicionada à esta estatística os acidentes de Mariana e Brumadinho no Brasil

Tabela 1 - Acidentes em barragens de mineração por número de mortos (1962 – 2020).

MINA/PROJETO E LOCALIZAÇÃO	ANO	MORTES
<i>Huogudu, Yunnan Tin Group Co., Yunnan</i>	1962	171
<i>Mir mine, Sgorigrad, Bulgaria</i>	1966	488
<i>Alberfan, Wales</i>	1966	144
<i>Mufulira, Zambia</i>	1970	89
<i>Buffalo Creek, West Virginia, USA</i>	1972	125
<i>Bafokeng, South Africa</i>	1974	12
<i>Stava, North Italy, 2, 3</i>	1985	269
<i>Shizhuyuan Non-ferrous Metals Co., Hunan</i>	1985	49
<i>Huangmeishan, China</i>	1986	19

<i>Longjiaoshan, Daye Iron Ore mine, Hubei</i>	1994	31
<i>Merriespruit, near Virginia, South Africa, Harmony</i>	1994	17
<i>Surigao del Norte placer, Philippines</i>	1995	12
<i>Nandan Tin mine, Dachang, Guangxi</i>	2000	28
<i>Miliang Zhen'an Country, Shaanxi Province, China</i>	2006	17
<i>Taoshi, Linfen City, Shanxi Province, China</i>	2008	277
<i>Zijin Mining, Guangdong Province, China</i>	2010	22
<i>Ajka Alumina Plant, Kolontar, Hungary</i>	2010	10
Bento Rodrigues, Brasil	2015	11
Brumadinho, Brasil	2019	256

Fonte: Adaptado de SAMPAIO, 2006.

Os acidentes com barragens de mineração no mundo geram preocupação, tanto pelo número de mortes como pela devastação ambiental. Os relatórios sobre acidentes de barragens datam de 1626, sendo 1994 o ano com o maior número de acidentes. No final de 2015, o acidente de Mariana, no Brasil, destacou-se como o incidente com o maior volume de rejeitos já registrado. Mais da metade dos acidentes relatados foram relacionados a erro humano (59%), enquanto processos naturais (32%) foram relatados como a segunda causa mais importante de acidentes.

A partir dos anos 60, ocorreu um aumento substancial no número de eventos, especialmente com Cu e Au ou várias combinações de minérios. A maior quantidade de acidentes ocorreu nas Américas (51,1%), onde os Estados Unidos e o Chile foram os países com mais ocorrências. Cerca de 31% dos incidentes relataram mortes e um grande número de pessoas sem-teto como resultado do acidente. Entre os países com acidentes, todos possuem legislação que regulamenta as atividades de mineração (Nereu, 2017). No entanto, as barragens de rejeitos são mais vulneráveis e propensas a acidentes do que outras estruturas de retenção devido a várias características (Rico, Benito e Díez-Herrero 2008).

Na Tabela 2 tem-se o registro dos acidentes ocorridos no Brasil o número de barragens rompidas nos últimos anos também é alarmante, principalmente no Estado de Minas Gerais, onde cinco barragens se romperam nos últimos 15 anos.

Tabela 2 - Casos de rupturas de barragens minerárias no Brasil.

LOCAL	ANO	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Itabirito	1986	Barragem de Fernandinho	Barragem mineração.	7 Óbitos
Nova Lima	2001	Barragem de Macacos	Barragem de mineração	5 Óbitos
Miraf	2007	Barragem da Rio Pomba/Cataguases	Barragem de mineração	Mais de 4000 pessoas desabrigadas ou desalojadas.
Itabirito	2014	Barragem da Herculano	Barragem de mineração	3 Óbitos
Mariana	2015	Barragem Fundão	Barragem de mineração	19 Óbitos e 8 desaparecidos

Fonte: ESDHC, 2015.

Segundo Nereu (2017) Um total de 141 acidentes com barragens de rejeitos de mineração foram relatados para o período entre 1626 e 2017. Na Tabela 3 pode-se verificar os países com maior percentual de acidentes com barragens de mineração, conforme os continentes territoriais.

Tabela 3 – Continentes/Países com maior percentual de acidentes.

CONTINENTE	PAÍS	PERCENTUAL DE OCORRÊNCIAS
América do Norte	EUA	26%
	Canadá	4,2%
	México	1,4%
América do Sul	Chile	9%
	Brasil	5%
	Peru	3%
	Bolívia	1,4%
	Guiana	0,7%
Ásia	China	11%
	Filipinas	6,3%
	Japão	2%
	Mianmar, Israel e Indonésia	0,7%
Europa	Reino Unido	4%
	Bulgária e Rússia	3%
	Romênia	2%
	Espanha e Hungria	1,4%
	Suécia, Armênia,	0,7%

	França, Alemanha, Itália, Macedônia, Finlândia e ex-Iugoslávia	
Oceania	Austrália	3%
	Nova Zelândia	1%
África	África do Sul e Zâmbia	1,4%
	Zimbábue	0,7%

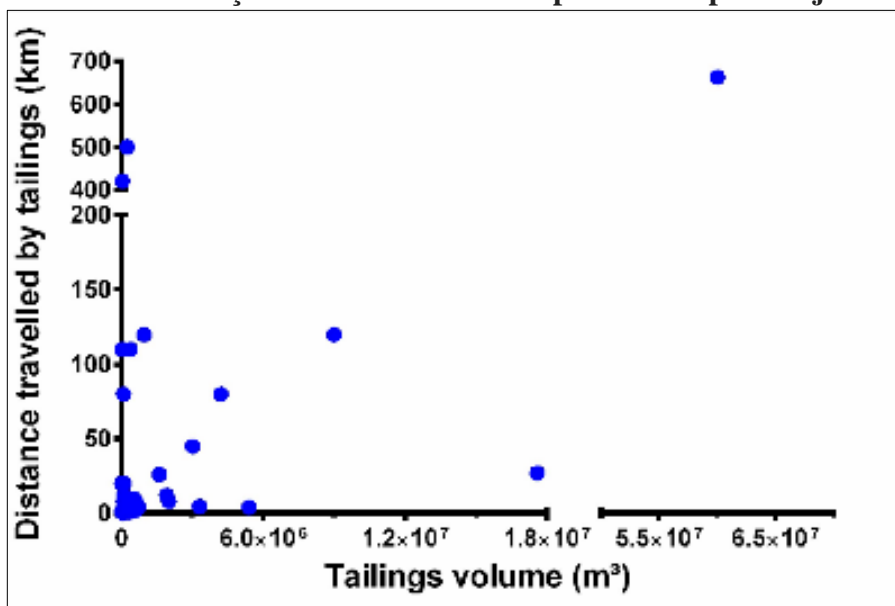
Fonte: Adaptado de Nereu, 2017.

Fernandes et. al (2016) comenta que, dependendo da quantidade de rejeito despejado, a área total de atingimento após um desastre com barragem de mineração, em sua grande maioria, ultrapassa os limites de 10 km (ZAS) chegando à zona secundária (ZSS), daí a importância dos avisos de alerta. A maior distância percorrida por um vazamento de rejeitos foi registrada no acidente da Samarco Mining (Figura 1), espalhada por mais de 650 km da barragem ao Oceano Atlântico, onde os rejeitos viajaram rio abaixo por 41 municípios, afetando mais de um milhão de pessoas.

O estudo da ONG americana *Bowker Associates, Science & Research In The Public Interest*, apontou que o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana (MG) foi o maior deste gênero no mundo desde que os dados começaram a ser sistematicamente coletados, a partir de 1910 (*Lindsay Newland Bowker, 2015*). Na metodologia proposta por essa ONG, dois indicadores são mensurados: o volume liberado (*release*) e a distância linear (*runout*); o acidente de Mariana foi considerado o maior do mundo em ambos. Antes dele, o acidente com maior volume liberado havia sido Luzon (nas Filipinas) em 1992, onde 32,2 milhões de metros cúbicos de rejeitos foram liberados no meio ambiente; já o de maior distância percorrida havia sido El Porco (na Bolívia) em 1996, com cerca de 300 quilômetros de extensão.

Neureu (2017) analisou a relação volume x distância percorrida pelo rejeito após rompimento de barragens e concluindo que a maioria dos acidentes liberando menos de 107 m³ de rejeitos não percorreram mais de 200 km. O gráfico 2 demonstra a relação volume x distância percorrida pelos rejeitos.

Gráfico 2 - Relação volume X distância percorrida pelos rejeitos.



Fonte: Nereu, 2017.

Dentre os vários tipos de acidentes com barragens, a seguir serão apresentados três casos que apresentam relação com a temática de alerta de emergência, sendo comentado também as causas, consequências e outras informações.

2.2.1- BARRAGEM ST FRANCIS – ESTADOS UNIDOS – 1928

A barragem St Francis não se trata de um empreendimento de mineração, porém vale destaca-la neste capítulo devido o contexto da não existência de sistemas de alerta de emergência, ocasionando por isso, a morte de aproximadamente 450 pessoas (JANSEN, 1983).

Localizada a 72 km ao norte de Los Angeles, Califórnia, EUA, a barragem *St. Francis* era de concreto gravidade arqueada e fazia parte do sistema de abastecimento de água dessa cidade. O enchimento da estrutura teve início em 1 de março de 1926, verificando-se as primeiras infiltrações cerca de um mês depois (no início de abril), quando o nível da água atingiu a área de uma falha inativa localizada no encontro ocidental da barragem.

Em 7 de março de 1928, com o nível da água já muito próximo da base do descarregador de superfície, foram detectadas várias fendas e infiltrações em ambos os contornos da barragem. O rompimento ocorreu em 12 de março de 1928, 7 dias após o enchimento total da barragem, quando a mesma não suportou o deslizamento da ombreira

esquerda devido as características geológicas do local, gerando uma onda com cerca de 43 m de altura que se propagou para jusante. Dias antes da ruptura foram detectadas trincas, alguns vazamentos pela estrutura e surgências pela fundação (JANSEN, 1983). 47 milhões de litros de água inundou o vale de Santa Clarita e avançou em direção ao oceano Pacífico, com velocidade estimada de 29 km/h. A cidade de Santa Paula ficou debaixo de 6 metros de lama e destroços. Áreas enormes do município de Ventura foram tomadas por montanhas de detritos com mais de 20 metros de altura. Quando a busca por corpos foi finalmente encerrada, semanas depois, o número de mortos e desaparecidos chegava a 450.

Naquela ocasião, a responsabilidade pela catástrofe foi atribuída ao engenheiro Willian Mulholland, então chefe do Departamento de Água e Energia da cidade de Los Angeles e responsável tanto pelo projeto quanto pela obra. No ano de 1924, apenas dois anos antes da inauguração, Mulholland tomou a decisão de aumentar a altura da barragem em cerca de 3 metros para ampliação da capacidade de armazenamento do lago que ela formaria, contudo, as rochas do cânion onde a barragem estava sendo construída eram muito porosas e potencialmente instáveis.

Uma investigação iniciada logo após o acidente levantou várias hipóteses, inclusive a de que um terremoto pudesse ter provocado o rompimento da barragem – ideia rapidamente descartada. Concluiu-se que a instabilidade geológica do cânion era mesmo a responsável (SUPER INTERESSANTE, 2012). A figura 1 demonstra a vista da barragem antes e depois do rompimento.

Figura 1 - Vista da barragem de ST Francis antes e após o rompimento.



Fonte: Jansen, 1983.

2.2.2- BARRAGEM DE FUNDÃO – BRASIL – 2015

Localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, a 35 km do centro do município de Mariana, Minas Gerais, o acidente ocorreu na tarde de 5 de novembro de 2015. A pré-ruptura já havia sido observado um ano antes, sendo que o Ministério Público de Minas Gerais diz que a empresa não havia tomado as medidas necessárias para conter o acúmulo excessivo de água e, segundo os relatórios periciais, foi o que causou o rompimento da barragem. Com esse acontecimento foi liberado um grande volume de rejeitos que causou a morte de 19 pessoas e incontáveis danos aos meios físicos, biótico e sociocultural (Mendes, 2018). A Figura 2 apresenta uma imagem do cenário de destruição do distrito após a onda de inundação formada por lama.

No caso específico, o conceito-tendência ganha força analítica no momento em que os principais relatórios oficiais conclusivos (Polícia Civil de Minas Gerais e Ministério Público Estadual) sugerem falhas no monitoramento contínuo do nível de água junto aos rejeitos arenosos depositados na barragem, assim como possível deficiência operacional constatada nas atividades de monitoramento da barragem devido à insuficiência de tecnologias instaladas. Duas dessas constatações foram relacionados à ausência de um sistema de alerta por sirenes e à deficiência das técnicas de monitoramento cotidiano da resistência da barragem via piezômetro (Alcântara; Sampaio, 2016).

Figura 2 - Distrito de Bento Gonçalves após a onda de inundação.



Fonte: Alves, 2015.

O fluxo de lama (mistura de água e rejeito) percorreu aproximadamente 663 km de curso fluvial através do Rio Doce e atingiu a costa atlântica causando severos danos ambientais por todo o trajeto percorrido, e até aquele ano, havia sido considerado o maior acidente da mineração brasileira (FERNANDES et. al., 2016; NEVES et. al., 2016).

A “barragem de Fundão”, como era denominado o reservatório de rejeitos minerais que rompeu, operava com armazenamento, segundo a empresa, de 56 milhões de metros cúbicos de rejeitos. De acordo com a própria empresa, no dia 5 de novembro de 2015, com seu rompimento, os rejeitos chegaram a barragem de “Santarém” provocando o galgamento e a consequente dispersão da lama, que alcançou as bacias dos rios Gualaxo do Norte, do Carmo, até desaguar no Rio Doce (MMA, 2015).

2.2.3- BARRAGEM DE REJEITOS DA MINA DO CÓRREGO DO FEIJÃO – BRASIL - BRUMADINHO (MG) – 2019.

Localizada no município de Brumadinho (MG) aproximadamente 65 km da capital mineira, Belo Horizonte, o rompimento da barragem ocorreu em 25 de janeiro de 2019. O acidente ocasionou um número de óbitos superior a 250 e danos ambientais, incluindo, a contaminação do rio Paraopeba. Além deste, originou também danos econômicos, sociais e no abastecimento público de água. No dia do rompimento da barragem, em Brumadinho, Minas Gerais, as sirenes de alerta da mina Córrego do Feijão não foram acionadas, pois, segundo a empresa, a falha se deu “devido à velocidade com que ocorreu o evento”. A sirene que ia tocar foi atingida pela quebra da barragem antes que ela pudesse ser acionada (Freitas; Silva, 2019). A figura 3 apresenta a inundação após ruptura da barragem de Brumadinho.

Figura 3 - Vista da inundação da ruptura da barragem de Brumadinho.



Fonte: AGB Campinas (2019).

Os principais impactos associados ao rompimento de uma barragem são, primeiramente, a perda de vidas humanas. Não obstante, a devastação ambiental é algo indescritível, assim como, os prejuízos de ordem financeira. Estes desastres têm um preço extremamente alto em vidas, provocam danos ambientais, muitas vezes irreparáveis, e implicam no investimento de bilhões de dólares para reparação das áreas atingidas (PAIVA; BARBOSA, 2006).

No contexto dos acidentes de barragem é importante explicar sobre os procedimentos de inspeção das estruturas, tendo em vista que a lei 12.334/2010 deixa claro que o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la. Nesta mesma lei, no Art. 19, informa que os empreendedores de barragens enquadradas no parágrafo único do art. 1º terão prazo de 2 (dois) anos, contado a partir da publicação desta Lei, para submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores o relatório especificando as ações e o cronograma para a implantação no Plano de Segurança da Barragem e, após o recebimento do relatório os órgãos fiscalizadores terão prazo de até 1 (um) ano para se pronunciarem.

Machado (2007) alerta que a inspeção deve ser realizada por consultores e especialistas em barragens com largo conhecimento técnico e científico e o conhecimento do comportamento, se possível, do passado da barragem, e para segurança do empreendimento, profissionais independentes.

2.3 ESTUDOS DE INUNDAÇÃO

2.3.1 Mapas de Inundação

Conforme já mencionado a Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017 e art. 2º prevê a obrigatoriedade da elaboração de Plano de ação de emergência para barragens de Mineração (PAEBM), por parte do empreendedor, para todas as barragens enquadradas no disposto nos §§ 1.º art. 9 da Lei 12.334 de 2010, sendo exigido no conteúdo do Plano estudos de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e ZSS assim como dos pontos vulneráveis potencialmente afetados.

Os mapas de inundação são um importante instrumento na prevenção, controle e gestão de inundações, pois podem definir áreas de risco (NORONHA, 2016). A elaboração, as

verificações e as pesquisas em torno de assunto, são importantes, especialmente em cenários de risco iminente de tragédias. Os estudos das áreas, onde a mancha ou onda de inundação pode atingir após a ocorrência de rompimento de barragens, são de extrema relevância para que ocorram pesquisas de avaliação de riscos, inclusive para o desenvolvimento do plano de ação para segurança de barragens.

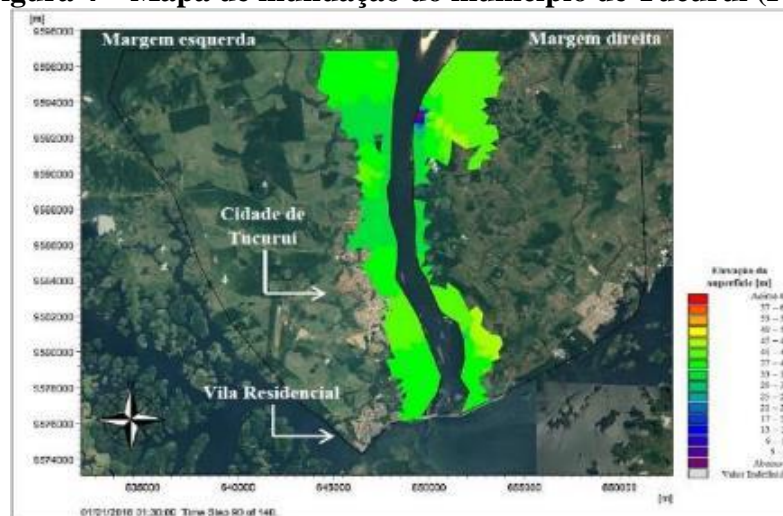
O PAEBM deve disponibilizar informações para a Defesa Civil, inclusive a designação formal do coordenador do Plano e seu substituto, que devem ser profissionais com autonomia e autoridade para mobilização de equipamentos, materiais e mão de obra para serem utilizados nas ações corretivas.

Os estudos que fazem referência aos mapas de inundação são tão importantes que, segundo Dias (2016), a Defesa Civil tem como contribuição à elaboração dos planos de contingência em toda a extensão do mapa e a definição de estratégias de alerta, comunicação e elaboração a população potencialmente afetada sobre os procedimentos a serem adotados em situações de emergência.

Obviamente que a avaliação do potencial de perdas de forma antecipada através de um mapa de inundação e com a realização de um planejamento prévio é importante, contudo, a realidade pode ser bem diferente quando são consideradas as perdas financeiras, os danos ambientais e o total de perda de vidas humanas, contudo, este estudo prévio pode colaborar também no momento de resgate das vítimas (Junior, 2013).

A Figura 4 apresenta um exemplo de Mapa de inundação após o rompimento hipotético da barragem de UHE Tucuruí no Pará.

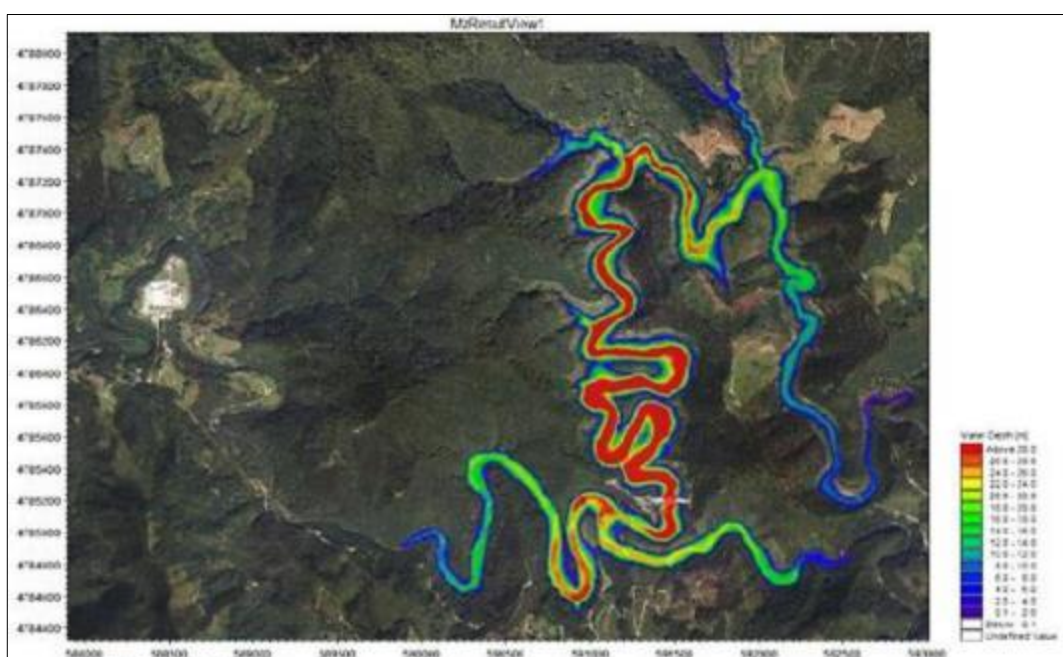
Figura 4 – Mapa de inundação do município de Tucuruí (PA).



Fonte: Santos, 2017.

Segundo Silva (2016), os mapas de inundação podem ser divididos em dois grandes grupos. Aqueles que fornecem informações sobre as características da inundação são chamados de “mapas de risco”. Outros mapas, que reúnem informações casadas das características de inundação com outros pontos sensíveis de uma cidade, como quantidade de casas afetadas, são conhecidos como *mapas de vulnerabilidade*. A Figura 5 mostra o mapa de vulnerabilidade de uma cidade atingida pela inundação proveniente do rompimento de uma barragem com cenários de atingimentos nas principais vias.

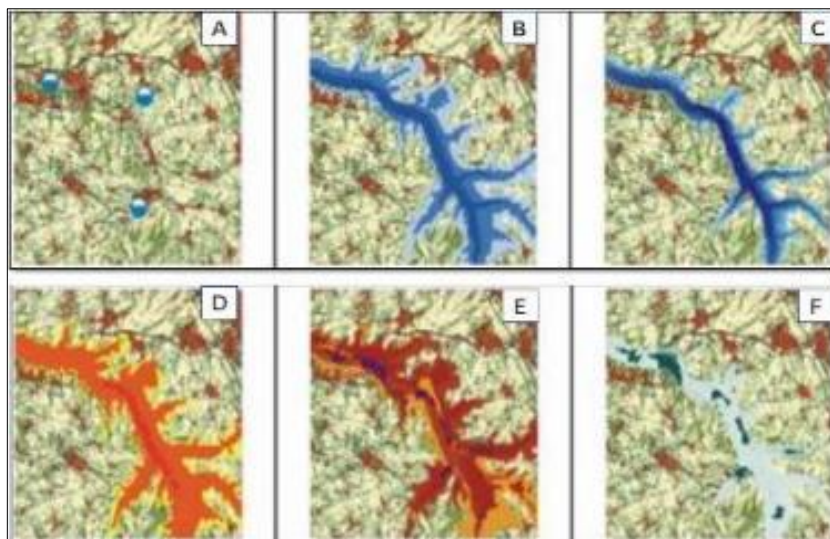
Figura 5 - Mapa de Inundação.



Fonte: Barrera e Larcen, 2010.

No entanto, a obtenção da mancha de inundação de forma hipotética, após o rompimento de uma barragem para um determinado local não é simples de gerar, apesar da disponibilização de diversos *softwares* no mercado. Como exemplo de mancha de inundação gerado através de um *software*, especificamente o HEC-geoRAS, dentro do *software* ArcGIS 9.3, onde foi possível o processamento dos resultados obtidos em simulação do HEC-RAS, obteve-se um exemplo de mancha, conforme Figura 6, onde diversos mapas de inundação são gerados com características distintas, como por exemplo um mapa histórico de inundação (A), a mancha de inundação (B), a profundidade da inundação (C), o mapa de perigo (D), o mapa de perigo quantitativo (E) e o mapa de perdas econômicas (F).

Figura 6 – Sequência de mapas gerados através de softwares.



Fonte: Adaptado de Moel, 2009.

Rocha (2015) destaca que os mapas são fundamentais para o planejamento das ações emergenciais, uma envoltória de inundação incorreta ou muito improvável resulta em um Plano de Ações Emergenciais falho, impactando, por exemplo, a eficiência do plano de evacuação elaborado pelos agentes públicos responsáveis por essa atividade.

Cardia (2015) afirma que o mapa de inundação deve conter, para cada cenário analisado, a identificação dos pontos de danos, a velocidade do escoamento e a altura da lâmina d'água (ou cota máxima atingida pelas águas, em determinada seção de controle).

A eficácia do plano, se necessário, ainda depende de um estudo dos cenários, capaz de caracterizar adequadamente as possíveis ocorrências devido a uma possível quebra de barragem. Os cenários analisados e os métodos do estudo devem ser incluídos no PAEBM, bem como o mapa de cenários que compreende a demarcação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas pelos possíveis cenários associados. (BRASIL, 2013).

Apesar da comprovação da importância da geração de um mapa, para atingir uma condição desejável de informações para posterior análise, esta permanece bastante complexa. As obtenções dos dados técnicos de uma barragem não são simples de conseguir, tendo em vista que, a maioria dos proprietários não fornecem tais informações por receio das ações que podem ser tomadas pelos órgãos fiscalizadores, contudo, métodos podem ser realizados para a obtenção, e que no mínimo se aproxime da realidade, sendo uma das formas de obtenção da mancha a utilização de ferramentas de geoprocessamento (Valencio, 2006).

É importante ressaltar que a utilização de modelagens tem aumentado de forma significativa a confiabilidade dos mapas gerados, tendo em vista o nível de acertos por esses proporcionados e, embora existam atualmente, também os modelos hidrodinâmicos capazes de fornecer respostas precisas quanto à predição de manchas de inundação originadas por rompimentos de barragens. Qi & Mustafa (2012) apontam que estudos deste tipo são complexos, sendo os resultados dependentes não só da dimensionalidade utilizada (1D, 2D e 3D), mas também das variáveis de entrada, e das simplificações consideradas durante o processo.

As modelagens de engenharia para elaboração de estudos de *Dam Break* (ruptura de barragens), com base em simulações, têm sido revisadas e calibradas ao longo dos anos com avaliação dos resultados das modelagens frente aos dados de inundações reais, desta forma, os modelos são aprimorados ao longo dos anos e tem sua confiabilidade aumentada progressivamente (EHSAN *et al.*, 2015).

2.3.2 Zonas de Autossalvamento (ZAS) e de Segurança Secundária (ZSS)

Quando da realização de estudos de inundações de barragens duas zonas devem ser identificadas nos mapas de inundação, conforme Resolução da ANM de nº 13 de Agosto 2019, a Zona de Autossalvamento (ZAS), a qual equivale à região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda igual a 30 minutos ou uma distância de 10 km; e a Zona de Segurança Secundária (ZSS), região constante do mapa de inundação, não definida como ZAS (ou seja, fora da ZAS).

A Figura 7 ilustra as duas zonas, no caso da barragem de Tucuruí, destacando os respectivos responsáveis pelo procedimento de alerta, em caso de uma ocorrência de ruptura.

Figura 7 - Divisão de responsabilidades em relação ao sistema de alerta.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Considerando a área de inundação, o alerta à população é uma atribuição do Sistema de Defesa Civil. Entretanto, dada à rapidez com que se pode propagar uma onda de inundação causada pela ruptura de uma barragem, a responsabilidade pela implementação de sistema de alerta relativo à população localizada no vale imediatamente a jusante da barragem, ou seja, na ZAS é do empreendedor. A jusante da ZAS, cabe aos Sistemas de Defesa Civil de cada um dos municípios proceder ao alerta, conforme estabelecido no respectivo Plano de Contingência Municipal (PLANCON).

A elaboração dos mapas deve ser realizado de forma geral, ou seja, não apenas voltado para a área de autossalvamento, como também em zona secundária. Segundo a *Federal Guidelines For Dam Safety* (2004), em seu guia de planejamento de ações de emergência para proprietários de barragens, um mapa de inundação deve delinear as áreas que seriam inundadas como resultado de uma falha na barragem.

Os mapas de inundação são usados tanto pelo proprietário da barragem como pelos oficiais de gerenciamento de emergência para facilitar a notificação e evacuação oportunas das áreas afetadas por uma falha ou condição de inundação da barragem. Esses mapas facilitam bastante a notificação, exibindo graficamente as áreas inundadas e mostrando os tempos de viagem para frente de onda e picos de inundação em locais críticos.

2.3.2.1 – Zoneamento de Risco

No PAE, em seu capítulo 5º, posteriormente a modelagem das cheias de ruptura já definida, as apreciações devem ser realizadas do vale a jusante dos barramentos e identificadas suas vulnerabilidades (ANA, 2015).

O zoneamento de risco está fortemente associado ao valor econômico das propriedades, estabelecendo severas condições para o planejamento de uso e controle do solo. Diversos são os critérios de zoneamento de risco. Uma grande maioria se baseia na distância da população em risco à barragem, nos limites de produtos críticos, na distribuição da população no espaço e a eficácia dos processos de alerta e evacuação (Vieira, 2017). O Quadro 2 especifica às leis que fazem referência a recursos hídricos e barragens.

Quadro 2 - Leis referentes a recursos hídricos e barragens.

Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 e Lei nº 12.334/2010	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e a de segurança de barragens. Essas não mencionaram o zoneamento de risco.
Resoluções nº 144, de 10 de julho de 2012 e nº 91, 02 de abril de 2012, e as portarias nº 416, de 03 de setembro de 2013, e nº 526, de 09 de dezembro de 2013.	Não citam o zoneamento de risco.
Minuta da ANA de 2012 no art. 2º.	Conceitua as zonas de autossalvamento como: Região a jusante da barragem que se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente, devendo-se adotar a menor das seguintes distâncias: 10 km ou a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos.
Minuta da ANA de 2012 nos Art. 8º e 14º.	Responsabiliza o empreendedor da barragem alertar a população potencialmente afetada na zona de autossalvamento e relata que o sistema de alerta pode compreender a indicação das áreas afetadas com indicação dos níveis e cotas altimétricas atingidas pela onda de cheia.
Resolução nº 236 da ANA, de 30 de janeiro de 2017 e a portaria nº 70.389 do DNPM,	Ambos confirmam a necessidade de um zoneamento de risco mais detalhado constantes no PAE, de forma que contemple um estudo de inundação, com mapas,

de 17 de maio de 2017.	identificação das ZAS e os pontos vulneráveis passíveis de serem afetados.
Resolução nº 236 da ANA, de 30 de janeiro de 2017.	Estão escritas algumas responsabilidades do empreendedor da barragem; dentre elas estão o alerta à população potencialmente afetada pela ZAS e o estabelecimento junto à Defesa Civil de estratégias de comunicação e defesa da população.
Portaria nº 70.389 do DNPM	É abordada uma zona nomeada como ZSS, assim é definida: “Zona de Segurança Secundária - ZSS: Região constante do Mapa de Inundação não definida como ZAS”. Barragens de mineração com Danos Potenciais Associados altos, ou médios que seguem alguns critérios descritos no documento relativos a impactos à população a jusante e ao meio ambiente, devem conter mapas que explicitem as ZAS e ZSS.
Nota Técnica nº 24/2012/GESER/SER da ANA	Nos estudos de rompimento de barragem devem ser definidas áreas afetadas que servirão de auxílio para evacuação em caso de acidente.
Manual do Empreendedor, volume IV – Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ações e Emergências da ANA, 2015.	No PAE devem constar a caracterização geral do vale a jusante da barragem com mapas de inundação e o correspondente zoneamento de risco, com descrição e localização das populações e infraestrutura de risco, de forma a permitir que a defesa civil possa realizar as ações necessárias.

Fonte: Adaptado de Vieira, 2017.

- *Crítérios internacionais para definição de Zonas de risco*

Conforme Viseu (2006) o zoneamento de risco em nível internacional se baseia de forma geral no variável tempo de chegada da cheia induzida. Nas zonas de maior risco a proteção das pessoas ocorre por meio de avisos e a população que já deve conhecer os lugares de refúgio seguem para áreas mais seguras. Ainda para ela, a diferenciação dos níveis de risco é pouco precisa.

No Quadro 3 estão descritos os diferentes zoneamentos de risco em âmbito internacional.

Quadro 3 - Diferentes zoneamentos de risco em âmbito internacional.

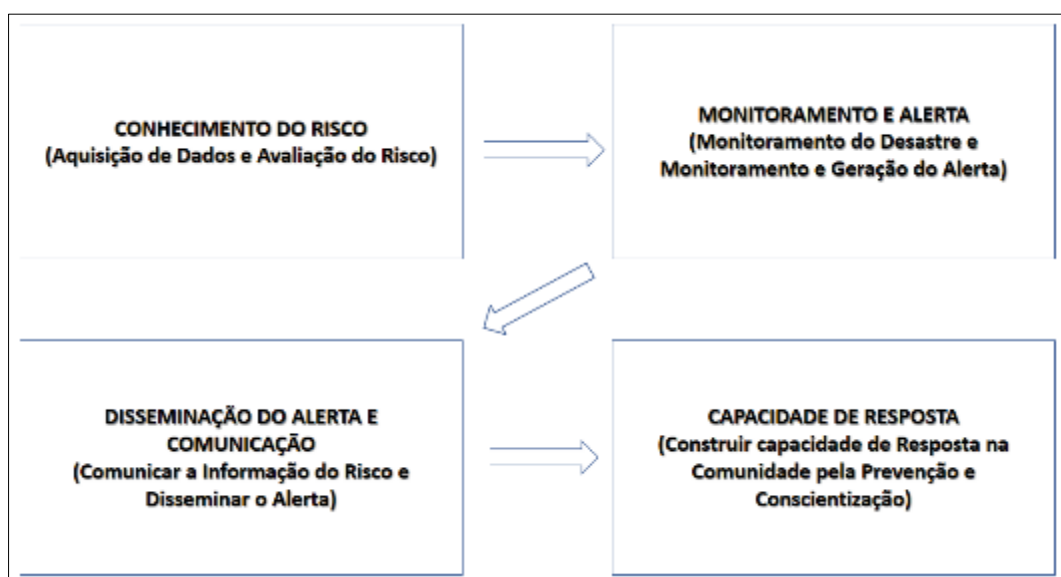
PAÍS	FONTE	DESCRIÇÃO
França	PARQUIER (1993)	<ul style="list-style-type: none"> • Se diferem de acordo ao tempo de chegada da onda induzida. • Zona de um quarto de hora (Zona de autossalvamento): Correspondente à distância percorrida pela onda em um quarto de hora no intervalo de 5 a 10 km. Zona de alerta I: Sofre inundações significativas e deve existir um PAE e Zona II: Inundações pouco importantes.
Espanha	ALMEIDA (1999)	<ul style="list-style-type: none"> • Zona 1: Percurso da onda de inundação igual a 8,5 km. (Zona com maior risco na qual a população deve estar sujeita a um programa específico de prevenção/proteção e deve ser considerada a possibilidade de não ser autorizada a ocupação permanente. • Zona 2: Percurso da onda de inundação no intervalo de 8,5 e 25 km. • Zona 3: Para casos com percursos maiores que 25 km.
Portugal	SSBPC (ROCHA, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> • Zona de risco máximo é a distância percorrida pela onda de inundação em 30 minutos (definindo, ainda, um percurso mínimo de 5 km). Mas em cada caso é necessário maior análise.
EUA	USBR (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • As zonas próximas à barragem compreendem o trecho de alerta de barragens de até 4 horas.
Austrália	NSW (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • O Manual da evolução das inundações (2005) da Austrália também apresenta gráficos de zoneamentos de risco baseados no produto crítico, classificando o risco em o risco como alto e baixo. • As zonas de alto risco são consideradas as que oferecem risco à segurança das pessoas, zonas com evacuação difíceis e zonas que oferecem perigo significativo nas construções. As de baixo risco são as que os meios de transporte são utilizados facilmente pelas pessoas e em segurança.
Áustria	MILANESI et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • São definidas relações de velocidade e profundidade (produto crítico) e valores de energias específicas do escoamento; a partir daí são estabelecidos níveis de perigo por ordem de cores num período de retorno de 150 anos.

Fonte: Vieira, 2017.

2.4 SISTEMAS DE ALERTA DE EMERGÊNCIA

Dentre as medidas de preparação que possibilitem a organização, comunidades e indivíduos responderem rapidamente e de forma eficaz a situações de desastres, está a implementação de sistemas de emissão de alertas (CARTER, 2008). Estes podem ser definidos como um sistema integrado de monitoramento, previsão e avaliação de riscos de desastres, abrangendo também atividades e processos de comunicação e prevenção, que permite que aqueles expostos a eventos adversos tomem medidas em tempo suficiente e de forma antecipada para reduzir os riscos de desastres (UNISDR, 2006). Esta definição, adotada internacionalmente, está bem alinhada com o modelo de quatro elementos das Nações Unidas para sistemas de alertas eficazes (Figura 8) e com a abordagem preventiva centrada nas pessoas e defendida pelo Marco de Sandai (UNISDR, 2017).

Figura 8- Modelo de quatro elementos para sistemas de alertas eficazes.



Fonte: Adaptado de Alhmoudi e Aziz (2016).

Para Silva (2016), um sistema de alerta é um meio de obter informações sobre uma emergência iminente, comunica-las àqueles que precisam e facilitar boas decisões e respostas oportunas, podendo vincular ciência, tecnologia, níveis de governo e público.

Nos últimos anos, os processos de detecção, notificação e até alerta para a população são comumente assegurados por sistemas automatizados, com maior ou menor assistência humana, obviamente, que dependendo de cada país, as leis podem ser mais severas dependendo do tipo de evento. Por exemplo, os Estados Unidos não possuem uma estratégia

de alerta nacional abrangente que cubra todos os riscos em todos os lugares. Em vez disso, as práticas de alerta público são descentralizadas em diferentes governos e no setor privado.

A preparação desigual para emitir alertas existe nas comunidades locais; portanto, as pessoas são protegidas de forma desigual contra o aparecimento surpresa de desastres naturais. Sem mudanças nessa situação, as desigualdades crescerão e os ganhos obtidos em salvar vidas nas últimas décadas podem ser revertidos. Desde que a primeira avaliação da pesquisa sobre riscos naturais foi concluída em 1975, houve melhorias significativas nas previsões e advertências para alguns riscos, contudo apenas melhorias marginais para outros. Previsões para enchentes, furacões e erupções vulcânicas melhoraram significativamente, e a disseminação pública de alertas melhorou mais para furacões (Sorensen, 2000).

Nos Estados Unidos, os sistemas de alerta continuam sendo um meio muito importante para alertar a população de possíveis desastres. Segundo Moore (2010) o sistema de alerta de emergência é constituído sobre uma estrutura concebida na década de 1950, quando a transmissão pelo ar era a melhor tecnologia disponível para disseminar amplamente os alertas de emergência.

Sullivan (2005) ratificou que os sistemas acessíveis de prontidão e alerta devem facilitar medidas práticas de treinamento, aumentar a conscientização e apoiar ações que salvam vidas de pessoas.

Diversos países adotaram medidas de alerta sonoro como principal meio de alertar a população em risco, o Japão é um exemplo que utiliza da tecnologia para alertar os riscos provenientes de um *Tsunami* (Furomoto, et al., 1999; JMA, 2005); os alertas são divulgados na televisão (Figura 9) e as sirenes podem ser tocadas em áreas de risco (Figura 10).

Figura 9 – Transmissão de aviso de *tsunami* na televisão japonesa em 2004.



Fonte: JMA, 2005.

Figura 10 – Sirene de alerta de *tsunami* em *Urakawa*, Japão.



Fonte: JMA, 2005.

Os avisos também podem ser enviados por meio de anúncios em áudio apresentados por meio de sistemas de alto-falante estacionário (SAWS) e por veículos dos bombeiros com alto-falantes móveis. É importante informar que, folhetos com informações são entregues para as pessoas e simulados são realizados. Destaca-se que vários fatores, como condições climáticas e se os moradores estão com as janelas abertas ou não, podem limitar a recepção dessas mensagens pelo público-alvo (para não mencionar aqueles com deficiência auditiva) (Furomoto, 2005).

Segundo Valerius (2014) sistemas de alerta têm uma relação interessante com outras ferramentas de gerenciamento de risco. “são as últimas linhas de defesa depois que, por exemplo, soluções de engenharia são aplicadas para reduzir a probabilidade de um evento abaixo de um nível aceitável. Os Estados Unidos construiu sistemas de alerta para uma ampla gama de eventos que podem impor uma ameaça rápida ao público. Eventos geológicos desse tipo incluem terremotos, erupções vulcânicas, *tsunamis* e deslizamentos de terra. Os riscos climáticos que podem atingir rapidamente uma população incluem furacões, tornados, inundações e avalanches. A tecnologia também impôs situações de emergência que exigem avisos públicos. Alguns dos mais óbvios são acidentes de usinas nucleares, acidentes de produção de materiais perigosos em locais fixos, riscos; acidentes de transporte de materiais e falhas de barragens.

Ver o público de um risco iminente é uma ocorrência diária nos Estados Unidos. Estimamos que os avisos públicos de emergência sejam emitidos, em média, pelo menos uma vez por dia e talvez até com mais frequência. O número real de pessoas que são avisadas varia entre os eventos. Para a maioria dos eventos, apenas algumas dezenas de pessoas precisam ser avisadas. No entanto, muitos eventos ocorrem exigindo alertar uma população de tamanho substancial. Além disso, um evento de aviso geralmente é localmente único, embora em algumas comunidades os avisos sejam mais comuns (por exemplo, avisos de inundação ao longo do *Mississippi* ou avisos de tornado no *Kansas*). Os sistemas de aviso também podem ser usados para comunicar informações sobre segurança e riscos; esse aspecto dos sistemas de aviso é importante porque na maioria dos eventos de aviso, mais pessoas que podem ouvir o alerta estão satisfeitas do que em risco (Sorensem, 2009).

Na china, sistemas de alerta de emergência também já foram utilizados com bastante eficiência e impedindo, principalmente que perdas de vidas ocorressem. Segundo Yong (2008), dois deslizamentos de terra sucessivos dentro de um mês começaram em 11 de outubro de 2018 e barraram duas vezes o rio *Jinsha* na fronteira entre a província de *Sichuan* e o *Tibete* na China. Ambos os eventos tinham potencial para causar inundações catastróficas que teriam interrompido vidas de milhões e induzido perdas econômicas significativas. Felizmente, a ação imediata das autoridades locais, apoiada pela implantação de um sistema de alerta, permitiu a construção rápida e segura de um vertedouro para drenar o lago represado. Evitou o pior cenário sem perda de vidas e propriedades.

Na Finlândia, o desenvolvimento de ações de resgate com base na análise de inundação de barragens estabeleceu que em caso de rompimento de barragens, o alerta rápido e eficiente da população é um papel crucial para a segurança. Segundo relatório do (*Community Action Programme in the Field of Civil Protection*, 2001), o fator mais importante que afeta o aviso, a evacuação e o resgate da população local é o período entre a falha da barragem e a notificação da falha e o início da operação de resgate. Se um alarme de falha da barragem for dado com atraso, as condições para fazer reparos de emergência na barragem são ruins e a probabilidade de vítimas humanas aumenta. Ao mesmo tempo, os benefícios do sistema de alarme público instalado na área de perigo da barragem são perdidos. Observou-se que a velocidade de notificação da falha da barragem tem uma correlação direta com a perda de vidas humanas (Douglas et al. 1999, Lemperiere 1999). O monitoramento de segurança da barragem deve corresponder aos fatores de risco da barragem. Quanto maior o

risco de falha da barragem, maior a demanda por funções de monitoramento de segurança da barragem.

Sistemas de alerta geralmente, incorporam vários tipos diferentes de agências governamentais de organizações; instituições acadêmicas ou científicas; e os meios de comunicação que devem estar ligados através de processos interativos, a fim de disseminar eficazmente mensagens de aviso para o público em geral. Neste caso, sistemas automatizados de aquisição de dados monitoram continuamente a barragem, transferindo informações para uma central de operação e emergência de barragens que supervisiona o comportamento global da barragem, com capacidade de emitir mensagens de notificação para uma lista pré-definida de pessoal de manutenção e especialistas (VISEU, 2009).

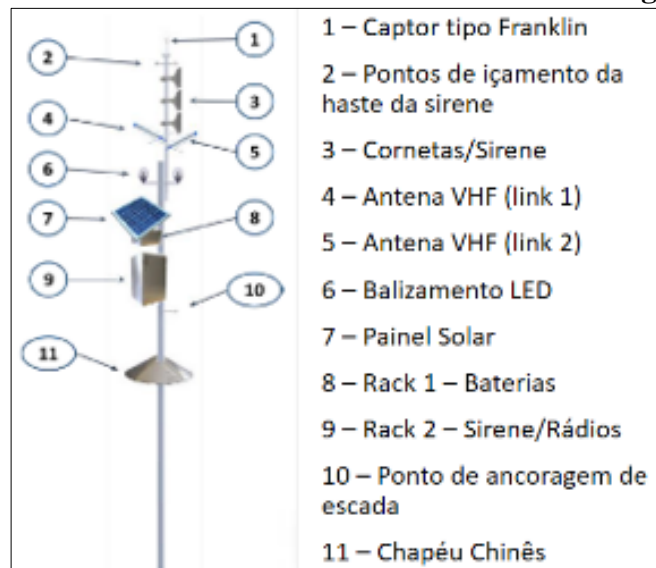
Os sistemas de alerta de emergência possuem importância considerável em um evento que envolve segurança, principalmente quando fazem parte de uma relação de educação das pessoas que estão em condições de risco, no entanto, também as autoridades devem fazer sua parte em conjunto com órgãos especializados, principalmente, para evitar o rompimento da barragem, tendo em vista que, como incidente é um evento inesperado que acontece com um rejeito que representa uma ameaça à segurança geral da barragem e precisa de resposta rapidamente para evitar uma possível falha (Mainali, 2006). De fato, a capacidade de antecipar e responder ao risco de inundação depende da existência de educação pública sobre risco, sistemas de alerta ou coordenação entre agências de emergência e autoridades (Sanmartin, 2018). Ao mesmo tempo, residentes em áreas afetadas devem ser alertados de que uma situação insegura está se desenvolvendo (*Dams Sector Crisis Management Handbook*, 2008).

2.4.1 Equipamentos e Sistema Básico de Funcionamento.

Os sistemas de alerta de emergência são utilizados para informar a população potencialmente afetada na ZAS sobre a ocorrência de perigo iminente, sendo que estes sistemas são compostos por vários equipamentos devidamente instalados em torres e uma parte dos mesmos, dentro do Centro de Controle Operacional (CCO) o qual receberá as informações em tempo real referente às condições da barragem e emitirá os avisos de alerta.

As Figuras 11 e 12 contém respectivamente, um exemplo de uma torre de alerta de emergência com indicação de seus acessórios e os materiais necessários para a montagem da torre.

Figura 11 – Acessórios de uma torre de alerta de emergência.



Fonte: TELEMÁTICA, 2017.

Figura 12 – Lista de materiais para montagem.

LISTA DE EQUIPAMENTOS		
ITEM	DESCRIÇÃO	QDT
1	Eletroduto rígido em aço galvanizado (Ø 1")	9m
2	Eletroduto rígido em aço galvanizado (Ø 2")	3m
3	Eletroduto flexível com conector macho (Ø 1")	2cj
4	Eletroduto flexível com conector macho (Ø 2")	4cj
5	Caixa de ligação tipo "L" (Ø 1")	1pç
6	Caixa de ligação tipo "T" (Ø 1")	1pç
7	Caixa de ligação tipo "T" (Ø 2")	1pç
8	Bucha para eletroduto aço galvanizado (Ø 1")	1pç
9	Bucha para eletroduto aço galvanizado (Ø 2")	3pç
10	Luva para eletroduto aço galvanizado (Ø 1")	2pç
11	Luva para eletroduto aço galvanizado (Ø 2")	3pç
12	Redução em 1x1/2"	3pç
13	Redução em 2x1/2"	1pç
14	Prensa cabos (Ø 1/2")	3pç
15	Fita de amarração em aço inox	20m
16	Fecho para travamento de fita em aço inox	15pç
17	Junção de eletrodutos (Ø 2")	1pç

VISTA LATERAL DIREITA ESO: 1/50
 VISTA LATERAL ESQUERDA ESO: 1/50

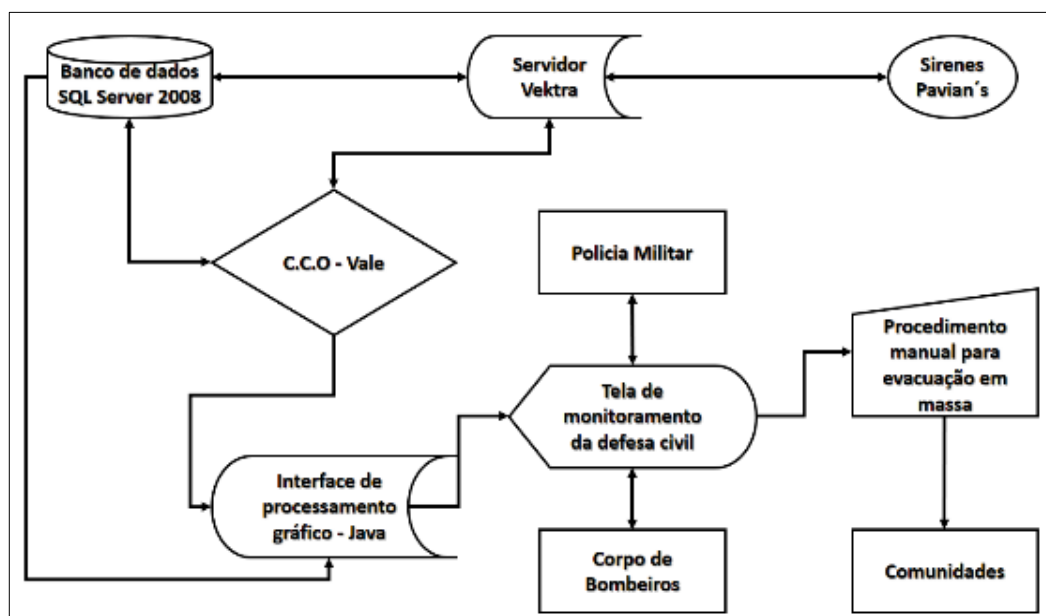
Fonte: TELEMÁTICA, 2017.

O sistema de alerta de emergência (torres de alerta), devem estar sintonizados com um servidor (*software*) para fornecer os serviços de rede, tais como, armazenamento de arquivos, compartilhamento de sistemas, controle de usuário, *backup*, replicação e outros. Todas as informações, além de ficarem armazenadas em um banco de dados também poderão

ser compartilhadas para o CCO (Centro de Controle Operacional). A interface do processamento gráfico será visualizada constantemente pelo CCO que poderá compartilhar as informações em tempo real com a Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e Polícia Militar em caso de emergência e, desta forma, colocar em prática as ações do PAEBM e PLANCON. Na figura 13 é possível visualizar o esquema de operação para um sistema de alerta de forma simples.

Como o estudo em questão faz referência à região de ZSS, ou seja, fora do raio de 10 km ou 30 minutos já mencionado anteriormente, é possível obter um excelente resultado no que se refere a evacuação das pessoas que residem em áreas urbanas, pois, segundo Monte-Mor (2014), os sinais de avisos públicos são melhores adaptados para áreas urbanas, considerando que o alarme pode ser dado rapidamente e uma grande população poderá ser alcançada.

Figura 13 - Esquema de operação para um sistema de alerta.



Fonte: Próprio Autor.

2.4.2 Cornetas/Sirenes

Segundo Center (2015), as cornetas foram os primeiros dispositivos de amplificação sonora a serem estudados e desenvolvidos. As cornetas/sirenes são muito importantes no sistema de alerta e, em sua maioria, são fabricadas em alumínio fundido e devem possuir uma tela de aço inoxidável com o objetivo de impedir a entrada e conseqüentemente a criação de ninhos/casas de aves e insetos, pois podem interferir na saída dos sons e provocar ruídos.

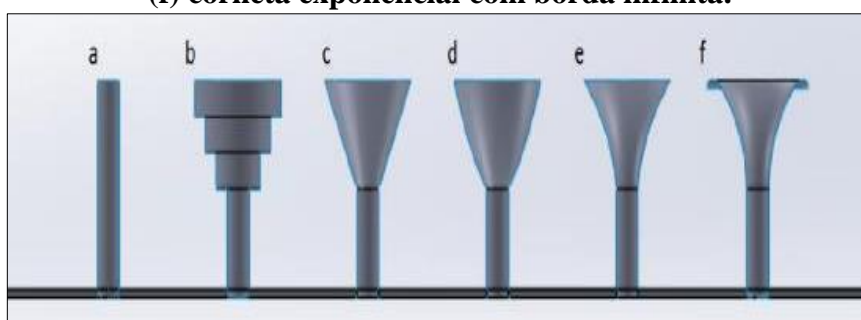
Estes, segundo Balbinot (2011) é todo sinal indesejado que interfere em uma medição, limitando assim, a exatidão do sistema de instrumentação. As sirenes são capazes de realizar testes em frequência sonora, não audíveis ao ser humano a partir de um comando manual ou periódico automático a partir do *software* instalado e com objetivo de atestar preventivamente a integridade do sistema (TELEMÁTICA, 2017).

Talvez o estudo mais significativo sobre a tecnologia das cornetas desenvolveu-se por Arthur Gordon Webster em 1919, abordando conceitos de impedância acústica e analisando várias formas e estruturas de cornetas (KOLBREK, 2014).

A disposição das cornetas é bastante importante para a propagação sonora em locais urbanos e, em uma série de artigos na revista *Audio Xpress*, Kolbrek (2008) descreve o papel das cornetas em sistemas de transmissão sonora através de duas funções básicas, a transmissão da energia da fonte e a capacidade de direcionar a energia sonora, directividade. Desta forma, a utilização das cornetas nos sistemas de alerta é para transmissão de ondas de forma mais plana possível. Segundo Kolbrek (2008), a capacidade de uma corneta em concentrar as ondas sonoras de uma fonte evita que energia seja desperdiçada em áreas indesejadas, isso faz das cornetas, instrumentos fundamentais em projetos acústicos em ambientes abertos, sendo fundamental o efeito de direcionamento do som para que seja possível proporcionar aos ouvintes a mesma potência independentemente da posição ocupada no ambiente e também evitar transmissão de ondas sonoras a locais indesejados.

Vitorino (2014) afirma que as cornetas acústicas estão sendo estudadas a mais de um século, principalmente devido ao fato de que os primeiros equipamentos de reprodução de áudio empregavam as suas formas. Kolbrek (2008) reúne alguns exemplos de geometria que eram normalmente empregadas conforme Figura 14.

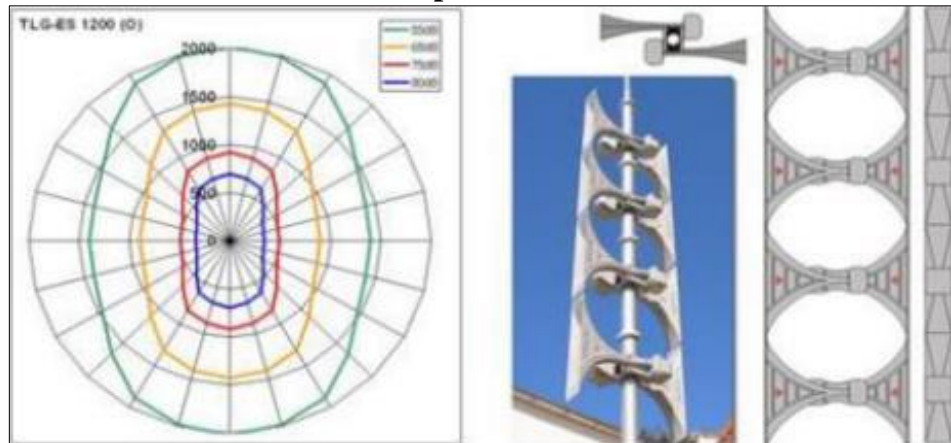
Figura 14 - Formas de transmitir e direcionar o som: (a) tubo reto, (b) corneta segmentada, (c) corneta com cone reto, (d) corneta parabólica, (e) corneta hiperbólica e (f) corneta exponencial com borda infinita.



Fonte: Vitorino, 2014.

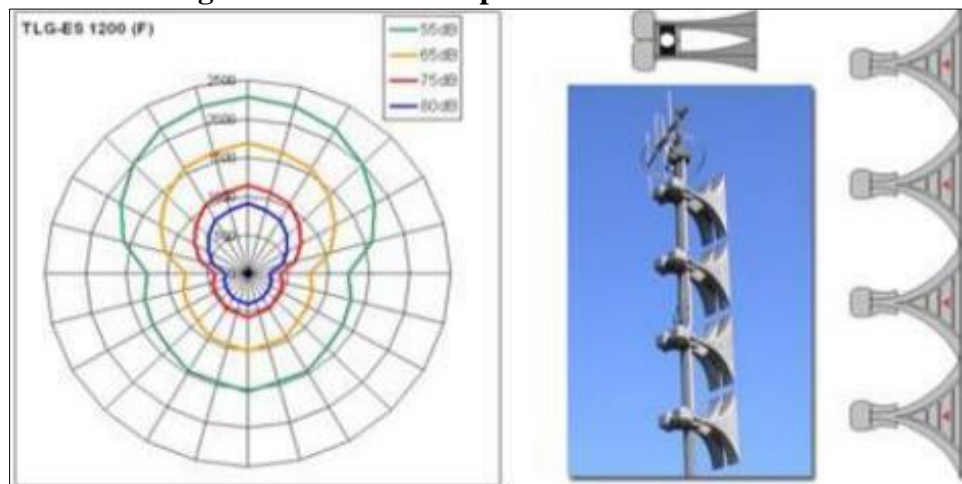
As Figuras de 15 a 17 demonstram a forma de onda de propagação sonora, nos sistemas de alerta de emergência, de acordo com a disposição das cornetas, sendo que, para a definição da característica direcional, esta dependerá de avaliação técnica para cada ponto de instalação.

Figura 15 – Forma em “O” – Configuração com característica elíptica gerada durante o disparo sonoro.



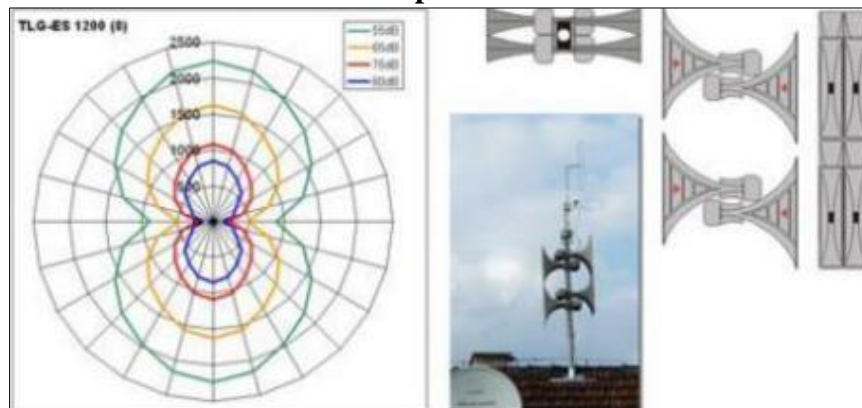
Fonte: TELEMÁTICA, 2017.

Figura 16 – Forma em “F” – Configuração com característica direcional gerada durante o disparo sonoro.



Fonte: TELEMÁTICA, 2017.

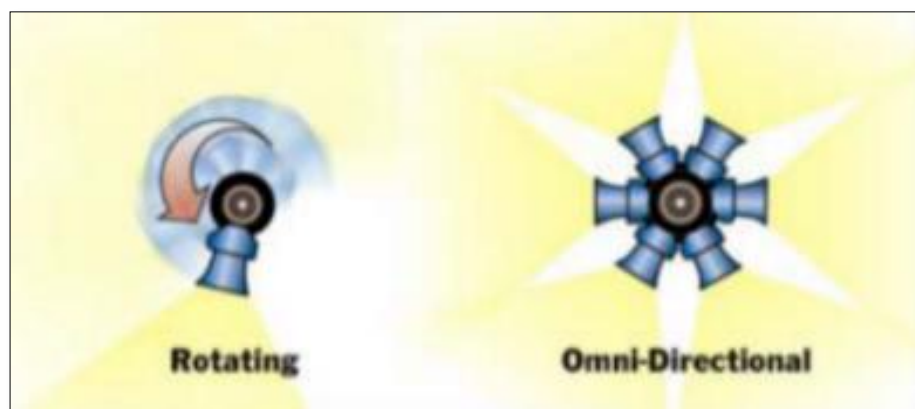
Figura 17 – Forma em “8” – Configuração com característica oitavada gerada durante o disparo sonoro.



Fonte: TELEMÁTICA, 2017.

A Figura 18 representa cornetas em Rotating e Omni-Directional, também com aplicações em barramentos.

Figura 18 – Formas em “Rotating e Omni-Directional”.



Fonte: TESTATO, 2017.

As sirenes com as cornetas no formato OMNI-direcionais proveem melhor cobertura que as rotativas ou direcionais. Garantem uma emissão mais constante que melhora o alerta ao público em áreas com grande flutuação dos ruídos de fundo do ambiente, em conjunto com o efeito de reforço de múltiplas fontes de som (aumento de até 3 dB que duas fontes adjacentes de sons nas mesmas condições ambientais). Portanto as sirenes OMNI-direcionais podem ser usadas com boa vantagem em áreas com grande densidade populacional, áreas com grande nível de ruídos de fundo (por exemplo: próximo a fábricas,

rodovias e aeroportos) e para cobrir “falhas de cobertura” entre sirenes direcionais, particularmente para áreas com topografia montanhosa (TESTATO, 2017).

A Figura 19 apresenta uma torre de alerta de emergência em processo de instalação das sirenes na configuração com características oitavada.

Figura 19 - Torre de alerta de emergência em processo de implantação.



Fonte: VALE, 2017.

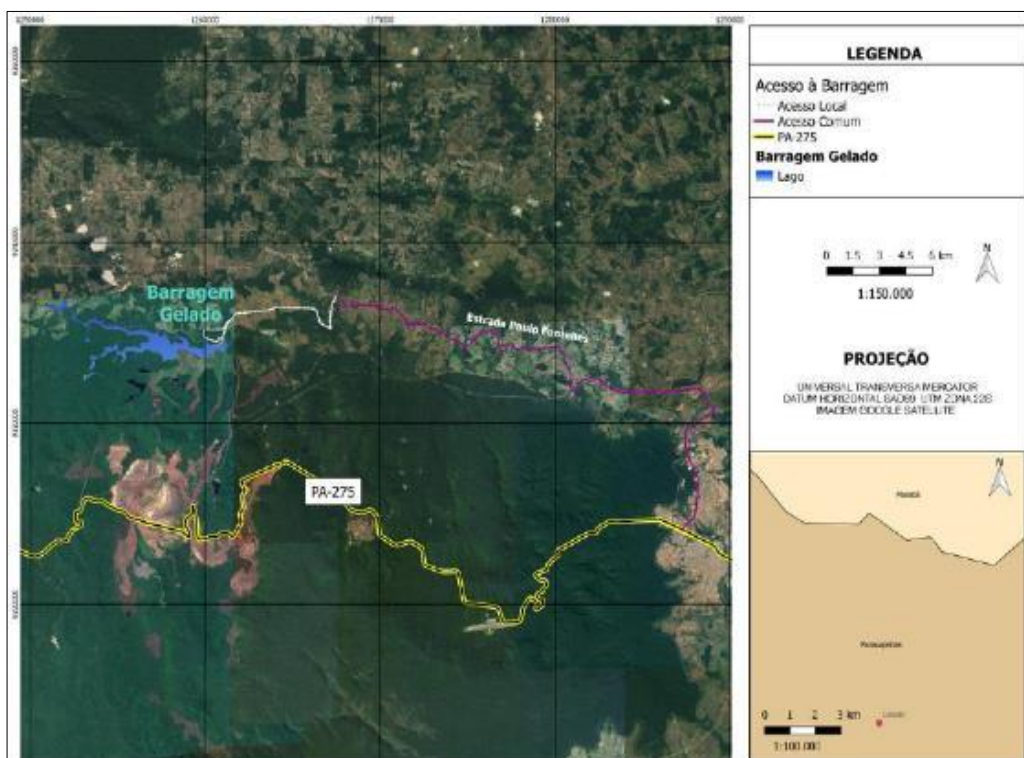
3. APRESENTAÇÃO DA BARRAGEM ESTUDO DE CASO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM DO GELADO

A Barragem do Gelado está inserida no município de Parauapebas/PA, na Mina Serra Norte pertencente ao Complexo Carajás, administrada pela empresa VALE e está localizada no estado do Pará há 220 km do município de Marabá. O acesso ao complexo, a partir de Marabá, é feito percorrendo-se 105 km através da estrada PA-150 km. O referido empreendimento foi concebido para atender a regularização das vazões para abastecimento de água na Usina de Beneficiamento de Minério de Ferro e a contenção de rejeitos e sedimentos da Pilha Norte.

A Figura 20 apresenta a localização da barragem indicando o acesso local (estrada de acesso ao projeto Salobo) e o acesso comum (estrada de chão utilizada pela população que reside próximo a barragem). A Figura 21 ilustra a vista aérea do empreendimento.

Figura 20 - Localização da Barragem do Gelado.



Fonte: PAEBM da barragem do Gelado, 2018.

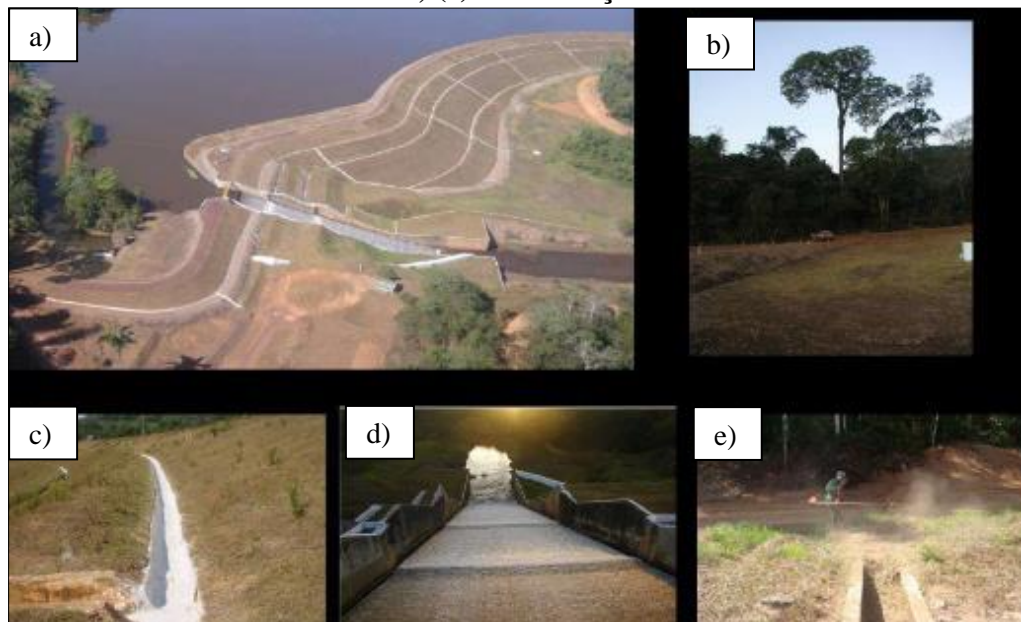
Figura 21 - Vista área da barragem do Gelado.



Fonte: Oliveira, 2014.

Na Figura 22 é possível a visualização da barragem do Gelado com a vista geral da barragem, inspeção, drenagem, vertedouro e a manutenção.

Figura 22 - (a) Vista geral da barragem; (b) inspeção; (c) drenagem; (d) vertedouro; (e) manutenção.



Fonte: Oliveira, 2014.

A barragem do Gelado está classificada, conforme ANM (2019), como categoria B (categoria de risco baixa e dano potencial associado alto) e apresenta as seguintes características técnicas indicadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados gerais da barragem do Gelado.

DADOS GERAIS	
Localização (m)	595.023 E e 9.339.012 N (SIRGAS 2000)
Finalidade	Disposição de Rejeitos
Cota da Crista (m)	217,40
Comprimento da Crista (m)	920
NA Normal (m)	214,00
Altura da Barragem (m)	34,0
Volume do Reservatório (m ³)	141.187.217
Tipo de Seção	Homogênea
Cheia de Projeto	10.000 anos
Drenagem Interna	Filtro vertical de areia e tapete drenante de areia, do tipo sanduíche no fundo do vale, e dreno de pé.
Instrumentação	Piezômetros, Régua Limnimétrica, Indicadores de Nível d'água, Medidores de Vazão.
Estrutura Vertente	Vertedor de superfície, em concreto armado, com soleira em perfil Creager, implantado na ombreira direita. O emboque é seguido pelo “rápido (calha lisa) e pela bacia de dissipação.

Fonte: Adaptado de PAEBM, 2018.

O PAEBM da barragem do Gelado foi elaborado em janeiro de 2018, por empresa de consultoria e está formalizado em um documento intitulado “Plano de ações emergenciais das barragens de mineração – Barragem do Gelado – Relatório Técnico” e foi elaborado. Após a elaboração do referido Plano, este foi encaminhado para a Prefeitura de Parauapebas e a Defesa Civil do município, estando disponível para consulta na Defesa Civil. É importante ressaltar que a barragem do Gelado está classificada, conforme ANM (2020), como de classe B (categoria de risco baixo e dano potencial associado alto) e apresenta as seguintes características técnicas indicada na tabela 4.

No que se refere o estudo de ruptura hipotética, também conhecido como estudo de *dam break* foi considerado, para a Barragem do Gelado e suas respectivas situações de emergências, os seguintes modos de falha: a) Galgamento; b) Percolação não controlada na água (*piping*) no maciço ou na fundação; c) Instabilização 1 e d) Instabilização.

Quadro 4 - Modos de falha e suas respectivas situações de emergência.

Situação de Emergência	Modos de Falha	Nível de Emergência (NE)
Estruturas extravasoras com problemas identificados, com redução de capacidade vertente; redução da borda livre.	Galgamento	1
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e, portanto, <u>a anomalia não foi extinta ou controlada.</u>		2
Galgamento do barramento com abertura de brecha de ruptura. A ruptura é iminente ou está ocorrendo.		3
Surgência nas áreas a jusante com carreamento de material ou vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura.	Percolação não controlada de água (<i>piping</i>) no maciço ou na fundação	1
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e, portanto, <u>a anomalia não foi extinta ou controlada.</u>		2
Erosão regressiva (<i>piping</i>) com evolução e desenvolvimento da brecha de ruptura. Ruptura iminente ou está ocorrendo.		3
Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deformações e recalque).	Instabilização	1
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e, portanto, <u>a anomalia não foi extinta ou controlada.</u>		2
Instabilização em evolução e desenvolvimento da brecha de ruptura. A ruptura é iminente ou está ocorrendo.		3
Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deterioração dos taludes/paramentos).	Instabilização	1
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e, portanto, <u>a anomalia não foi extinta ou controlada.</u>		2
Instabilização em evolução e desenvolvimento da brecha de ruptura. A ruptura é iminente ou está ocorrendo.		3

Fonte: PAEBM da barragem do Gelado, 2018.

Para cada situação de emergência tem-se um nível de emergência que de acordo com a Portaria DNPM nº. 70.389/2017, representam:

Nível 1 - Quando detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos em qualquer coluna do Quadro 3- Matriz de Classificação Quanto à Categoria de Risco (1.2 – Estado de Conservação), do Anexo V, ou seja, quando iniciada uma Inspeção de Segurança Especial (ISE) e para qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura;

Nível 2 - Quando o resultado das ações adotadas na anomalia referida em “a” for classificado como "não controlado", de acordo com a definição do § 1º do art. 27 da Portaria supracitada;

Nível 3 - A ruptura é iminente ou está ocorrendo.

3.1.1 - Hidrograma de ruptura e mancha de inundação.

O apêndice A apresenta a envoltória de inundação com cinco mapas mostrando vias de acesso, hidrografia e seções de referência, indicações da localização do barramento, cidades ou núcleos populacionais, marcos de distância e de tempo de chegada da onda de ruptura, indicadores de atingimento do critério de parada, mancha de inundação, ZAS e indicação de pontos de encontro. Considerando o hidrograma de ruptura da barragem do Gelado, sendo possível verificar informações importantes no decorrer do percurso da inundação, no que se refere à vazão, tempo e nível de água. O hidrograma além de auxiliar (nesta pesquisa) na análise das áreas alagadas e definição da locação das torres de emergência, também é fundamental para a implementação de exercícios de simulados de emergência, uma vez que após o disparo das sirenes possibilita a verificação do tempo de evacuação e a chegada do resgate nos locais afetados.

Para a obtenção do mapa de inundação foi adotada a seguinte metodologia: a) estudos hidrológicos; b) definição do modo de falha e geração do hidrograma de ruptura; c) propagação e mapeamento da onda de ruptura no vale a jusante do barramento.

O trânsito de cheias no reservatório foi simulado a partir dos parâmetros físicos e hidrológicos das bacias de contribuição, da precipitação de projeto, da curva cota-volume do reservatório e da capacidade de descarga do extravasor. Desta forma, a partir do software HEC-HMS 3.5, o volume de água máximo calculado na Barragem do Gelado é igual a 217,00 m. As informações do estudo de trânsito de cheias são apresentadas na tabela 5, e as parcelas de volume que compõe o reservatório podem ser visualizadas esquematicamente no croqui apresentado na Figura 23.

Tabela 5 - Síntese dos principais dados hidrológicos.

BARRAGEM DO GELADO	
Tempo de retorno chuva de projeto (anos)	10.000
Área de drenagem afluyente (km ²)	130,9
Duração da chuva de projeto (dias)	10
Altura da chuva de projeto (mm)	707

Nível da crista da barragem (m)*	217,40
Nível de água normal no reservatório (m)*	214,00
Nível de água máximo (m)*	217,00
Borda livre remanescente (m)	0,40
Vazão máxima afluyente da área de drenagem (m ³ /s)	116,0
Vazão máxima efluente do reservatório (m ³ /s)	71,6
Volume do lago** (m ³)	27.384.515
Volume disponível para o transito de cheias (m ³)	30.230.309
Volume total de sólidos depositados (m ³)	113.802.702

*Níveis baseados no datum vertical local PDE04 Carajás

**Volume de água referente ao NA normal

Fonte: PAEBM, 2018.

Figura 23 - Croqui da quantificação dos volumes da barragem do Gelado.



Fonte: PAEBM, 2018.

Segundo o PAEBM, 2018, os estudos hidrológicos evidenciam que o sistema extravasor possui uma capacidade de descarga suficiente para uma cheia decamilenar com borda livre remanescente de 0,4 metros. Neste contexto, selecionou-se o modo de falha estabilização na simulação da ruptura desta estrutura.

Para determinação do volume mobilizado para síntese do hidrograma de ruptura foi considerado o somatório dos seguintes componentes: (a) volume útil disponível até o nível de água máximo normal; (b) volume da brecha; (c) 37,1² % do volume de sólidos depositados no reservatório obtido com base nas curvas de nível, de 07/2016, e (d) volume do trânsito de cheias.

O tempo de formação da brecha, de 145,24 minutos, e sua geometria final foram estimados a partir do modelo empírico de Froehlich (2016). O cenário de propagação do rompimento considerou a sobreposição dos efeitos do hidrograma de ruptura hipotética, em

dia chuvoso (Rainy Day), com o hidrograma de cheia natural, associado ao tempo de retorno anual de 100 anos, ao longo do vale a jusante.

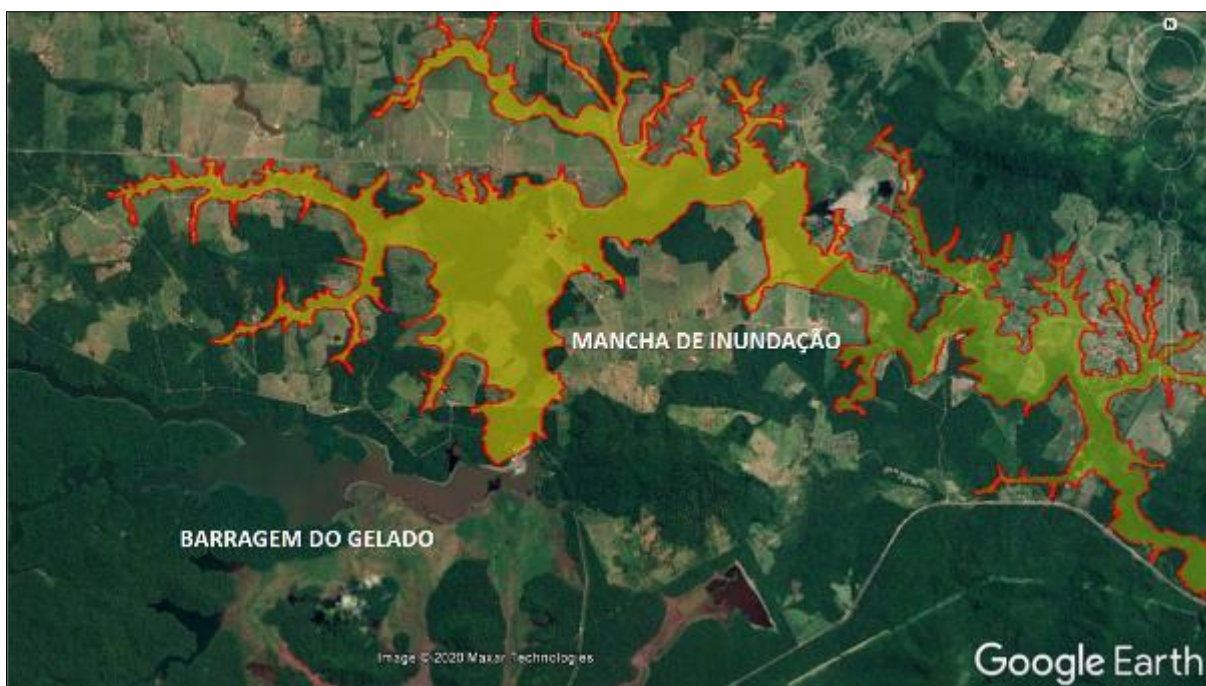
A Vazão da cheia natural a jusante da barragem foi calculada a partir da regionalização das séries históricas de vazão de seis estações fluviométricas inseridas na bacia federal do Tocantins-Araguaia disponibilizadas pela ANA. Simulou-se então a vazão natural em condições de regime permanente e uniforme ao longo do curso de água a jusante da barragem para efeito de delimitação da envoltória de cheia natural.

O critério de parada do mapeamento de inundação resultante da modelagem hidráulica da ruptura hipotética da barragem baseou-se na seção transversal que apresentou diferença de profundidade de escoamento entre a cheia resultante da ruptura e a cheia natural de 100 anos de retorno igual ou inferior à 2,0 pés ou 0,61 m.

A propagação da onda de ruptura e o mapeamento das áreas potencialmente inundáveis possui, aproximadamente 145 km de extensão, a jusante da barragem, considerando os trechos do igarapé Gelado, Rio Parauapebas e Rio Itacaiunas, inseridos na bacia federal do Rio Tocantins.

A Figura 24 ilustra uma visão mais geral da mancha de inundação, sendo destacada a localização da barragem do Gelado.

Figura 24 - Mancha de inundação.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.2 - Responsabilidades do PAEBM durante a emergência.

No PAEBM da barragem estudo de caso estão definidas responsabilidades à agentes internos e externos, dada a ocorrência de uma situação de emergência, a saber:

INTERNO: atuação é exercida por funcionários que tem como responsabilidades: a detecção, avaliação e classificação da emergência, bem como a tomada de decisão, a execução das ações corretivas, o alerta à população da ZAS e a notificação/comunicação aos agentes externos.

EXTERNO: atuação dos agentes externos (autoridades e órgãos públicos) que tem como responsabilidade formal atuar durante a ocorrência de situações de emergência nos municípios, por meio da ação coordenada entre estes nas diferentes esferas (municipal, estadual e/ou federal).

No caso das responsabilidades do empreendedor durante a emergência é válido pontuar:

- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAEBM;
- Executar as ações e notificações previstas no fluxograma;
- Notificar a defesa civil estadual, municipal e nacional, a(s) prefeituras(s) envolvida(s), os órgãos ambientais competentes e o DNPM em caso de situação de emergência;
- Emitir e enviar via SIGBM, a Declaração de Encerramento de Emergência de acordo com o modelo do Anexo VI da Portaria nº 70.389/2017, em até 5 (cinco) dias após o encerramento da citada emergência;
- Providenciar a elaboração do Relatório de Causas e Consequências do Evento de Emergência em Nível 3, conforme Art. 40 da Portaria nº 70.389/2017, com a ciência do responsável legal da barragem, dos organismos de defesa civil e da(s) prefeitura(s) envolvidas;
- Solicitar ao CECON o alerta à população potencialmente afetada na Zona de Autossalvamento (ZAS), no nível de emergência 2, sem prejuízo das demais ações previstas no PAEBM e das autoridades públicas competentes;
- Orientar, acompanhar e dar suporte no desenvolvimento dos procedimentos operacionais do PAEBM;
- Avaliar, em conjunto com a equipe técnica de segurança de barragem, a gravidade da situação de emergência identificada;

- Acompanhar o andamento das ações realizadas, frente à situação de emergência e verificar se os procedimentos necessários foram seguidos;
- Elaborar, junto com a equipe de segurança de barragem, a Declaração de Encerramento de Emergência de acordo com o modelo do Anexo VI da portaria 70.389/2017.

No Plano também estão detalhadas as responsabilidades das equipes durante as ações de emergência, em caso de colapsos da barragem. O Quadro 5 contém a descrição da atuação das Equipes de Geotecnia, Operação e Manutenção, Segurança do Trabalho, Comunicação e Defesa Civil, para efeito de exemplo.

Quadro 5 - Responsabilidades das equipes nas ações de emergência.

Equipe	Responsabilidades durante as ações de emergência
Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> • Compor o comitê de emergência local, ao ser acionado, em função da ocorrência de uma situação de emergência; • Deslocar imediatamente para o local onde foi identificado o incidente/acidente, para avaliar o cenário e o nível da emergência; bem como classificar a gravidade da situação de emergência identificada, conforme os níveis de Emergência (Níveis 1, 2 e 3 de acordo com Art. 37 da Portaria no 70.389/2017 do DNPM) e reportar ao Coordenador; • Informar o início da situação de emergência ao DNPM; • Avaliar, definir e orientar ações corretivas necessárias; • Contatar responsável técnico pelo projeto e obra, e/ou consultor externo quando necessário; • Acompanhar e registrar as ações de reparo necessárias à mitigação/eliminação, da situação adversa, em conjunto com os grupos solicitados do Comitê de Segurança Local da Barragem, quando necessário; • Realizar diariamente a Inspeção Especial da barragem, durante a situação adversa; • Acompanhar e prestar as informações necessárias aos representantes do DNPM; • Reportar status de comunicações externas ao CECOM.
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Compor o comitê de emergência local, ao ser acionado, em função da ocorrência de uma situação de emergência; • Executar os serviços de manutenção corretiva definidos pela equipe de Geotecnia; • Comandar a execução das ações definidas, pela geotecnia, em campo; • Executar prontamente as ações de resposta relativas à situação de emergência, mediante orientação do Coordenador do PAEBM e grupos envolvidos, caso necessário, imediatamente; • Assegurar a disponibilidade de equipamentos para atuar na situação de emergência; • Solicitar os recursos faltantes junto ao Coordenador do PAEBM, caso necessário; • Colaborar na elaboração do Relatório de Encerramento de Eventos de Emergência.
Segurança do Trabalho	<ul style="list-style-type: none"> • Manter contato com o CECOM, ao ser acionado, em função da ocorrência de uma situação de emergência; • Compor o comitê de emergência local caso seja designado pelo

	<p>Coordenador do PAEBM;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar e manter atualizados os procedimentos técnicos ligados à segurança do trabalho, frente às situações de emergência nas quais esteja envolvida; • Auxiliar o Empreendedor juntamente com o Coordenador do PAEBM no estabelecimento e divulgação de alertas e alarmes internos; • Dar suporte ao isolamento das áreas de risco; • Fornecer equipamentos de segurança.
Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Manter contato com o CECOM, ao ser acionado, em função da ocorrência de uma situação de emergência; • Compor o comitê de emergência local caso seja designado pelo Coordenador do PAEBM; • Assessorar e orientar a empresa (em toda a sua extensão) nos aspectos de comunicação institucional; • Promover, conforme a ocorrência, entrevistas e/ou coletivas de imprensa, ou responder através de notas os órgãos de comunicação; • Mapear e apoiar porta-voz da empresa; • Centralizar o recebimento e responder informes de comunicação externos; • Reportar status de comunicações externas ao CECOM.
CECOM	<ul style="list-style-type: none"> • Manter contato com o Coordenador do PAEBM, ao ser acionado, em função da ocorrência de uma situação de emergência; • Iniciar acionamentos dos envolvidos no comitê de emergência local e dos demais integrantes da equipe de segurança; • Iniciar e/ou acompanhar a comunicação externa por meio dos representantes da equipe de segurança (geotecnia, meio ambiente, segurança empresarial, comunicação e recursos humanos); • Integrar todas as comunicações estabelecidas durante a situação de emergência; • Acionar o sistema de alerta nas ZAS em situação de emergência Nível 2, por solicitação do Empreendedor, ou automaticamente no Nível 3, quando este for declarado; • Acompanhar os envolvidos nas ocorrências iniciadas na situação de emergência; • Manter contato com clínicas/hospitais locais e regionais para permanecerem em regime de prontidão devido à possibilidade de receberem acidentados, mediante acordo prévio estabelecido com os mesmos; • Manter controle e meios de comunicação com os empregados dos distintos turnos envolvidos nas ações de emergência.
Defesa Civil	<ul style="list-style-type: none"> • Atuar de acordo com as prerrogativas definidas na Lei Federal 12.608/2012; • Atuar conforme definido em seu plano de contingência, notadamente com as ações de evacuação e abrigo temporário da população, e em linha com o Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens" instituído pela Portaria nº 187, de 26 de outubro de 2016 da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional.

Fonte: PAEBM da barragem do Gelado, 2018.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARAUPEBAS

Segundo Paiva (2016) o município de Parauapebas está localizado no sudoeste do Estado do Pará, apresenta uma área de 7.007,737 km², sendo fundado em 1988 quando ocorreu o desmembramento do município de Marabá. A cidade integra um dos doze municípios que compõem a região do Carajás, sendo esta a maior produtora de ferro do Pará (Paiva, 2016).

Parauapebas fica distante 645 km da capital Belém e, na sua ocupação, aproximadamente 14.000 trabalhadores se deslocaram para a implantação da mina de ferro de Carajás, pertencente à empresa VALE (antes denominada de Companhia Vale do Rio Doce - CVRD). Para atender as necessidades de moradia de tanta gente, a VALE iniciou a construção de um núcleo habitacional fora da mina de Carajás, sendo este núcleo denominado de Parauapebas, em referência ao nome do rio que corta a região. Na Figura 25 é apresentada a localização do município de Parauapebas.

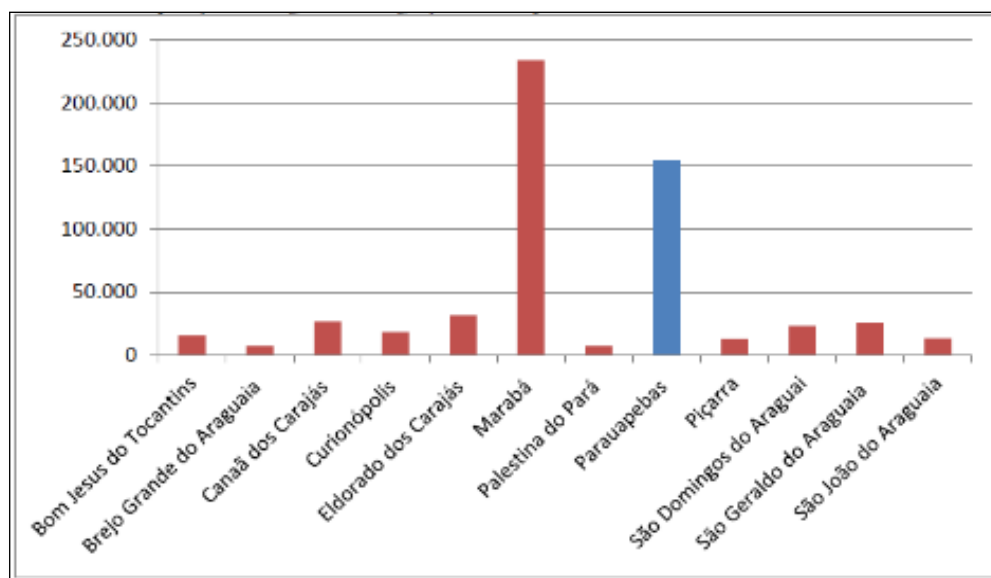
Figura 25 - Localização do Município de Parauapebas – PA.



Fonte: Silva, 2019.

Os doze municípios citados representam as áreas mais povoadas do estado do Pará, sendo Marabá a cidade polo com aproximadamente 233.669 habitantes, sendo Parauapebas o segundo município em número de população da região, conforme observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Municípios integrantes de Carajás e suas respectivas populações.



Fonte: IBGE/CENSO, 2010.

Em 2019 a população estimada para o município de Parauapebas foi de 208.273 habitantes (IBGE, 2019). O núcleo urbano de Parauapebas, onde foi implantada a sede do município, está situado no curso médio e a margem direita do Rio Parauapebas, estando próximo a uma das maiores províncias minerais brasileiras situada na Serra dos Carajás. A atividade mineradora de ferro, ouro e manganês é a mais forte da economia do município, motivo pelo qual há uma grande execução de projetos e obras de estruturação, além de uma atividade migratória intensa, considerada a maior do estado (PARÁ, 2014). A expansão urbana e a evolução demográfica de Parauapebas acompanham os condicionantes econômicos do ciclo da exploração mineral (PARAUPEBAS, 2019).

No *ranking* dos maiores PIB's do Estado do Pará apresentado na tabela 6, Parauapebas se destaca, estando em segundo lugar, atrás somente de Canã dos Carajás.

Tabela 6 - Ranking dos 10 maiores PIB's do Estado do Pará em 2019.

Município	PIB (R\$)
Canaã dos Carajás	107.164
Parauapebas	100.598
Barcarena	32.902
Tucuruí	27.045
Ourilândia do Norte	21.775
Floresta do Araguaia	21.186
Marabá	18.159
Oriximiná	18.073
Bannach	15.828
Paragominas	15.416

Fonte: GAZETA DE SANTARÉM, 2019.

O município de Parauapebas é o maior arrecadador de royalties provenientes da (CFEM) dentre os 2421 municípios com atividades minerárias, conforme ANM (2020). Os estados de Minas Gerais e Pará participaram com aproximadamente 64,64% da arrecadação nacional; dentre os maiores arrecadadores, oito municípios são mineiros e dois paraenses de acordo com a tabela 7.

Tabela 7 - Ranking de recolhimento da CFEM dos dez municípios com atividades minerárias em 2020.

MUNICÍPIO/UF	RECOLHIMENTO CFEM (R\$)
PARAUAPEBAS – PA	264.433.087,24
NOVA LIMA – MG	20.696.853,83
ITABIRA – MG	50.036.162,90
MARIANA – MG	19.886.731,97
SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO – MG	29.866.334,67
ITABIRITO – MG	18.649.681,15
BRUMADINHO – MG	13.205.804,29
CONGONHAS – MG	51.143.149,04
BELO VALE – MG	27.724.433,82
CANÃA DOS CARAJÁS – PA	182.136.338,09

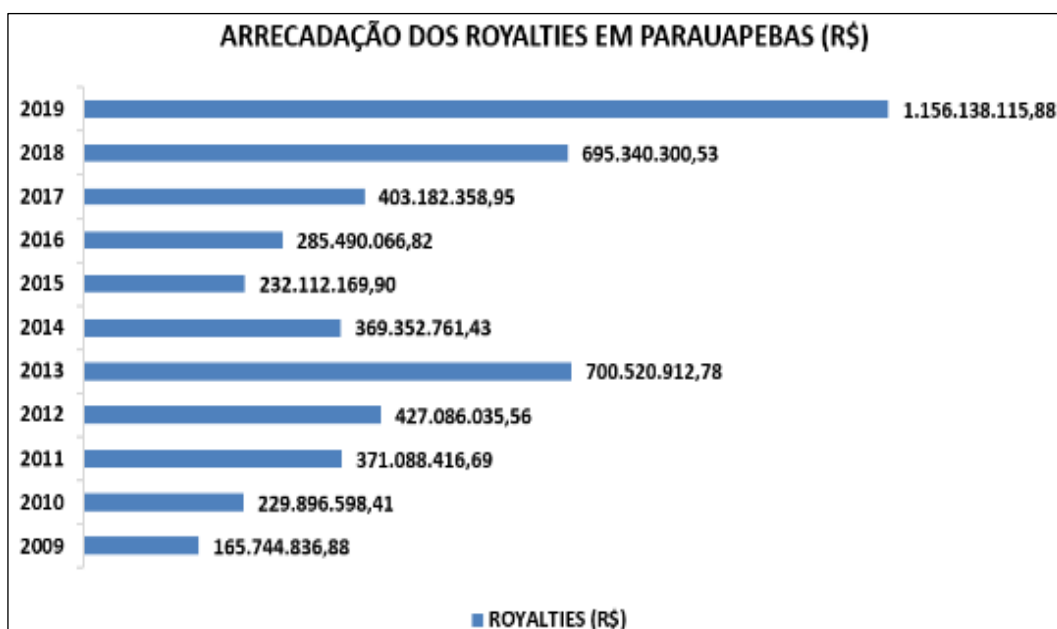
Fonte: ANM, 2020.

Existe uma restrição legal de que essas rendas não sejam utilizadas para pagamentos de dívidas e no quadro permanente de pessoal conforme o art. 8º da Lei nº7.990/89 em redação dada pela Lei nº8.001/90, justamente para que a aplicação dessas receitas seja

produtiva. Assim, a recomendação, já que o texto constitucional não vincula a aplicação dessa receita, do DNPM é que as rendas sejam revertidas em projetos que, direta ou indiretamente, revertam em prol da comunidade local, na forma de melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde e educação.

De acordo com a ANM entre os anos de 2009 e 2019, o município paraense de Parauapebas arrecadou um valor total de aproximadamente R\$5.035.952.573,83 (Cinco bilhões, trinta e cinco milhões, novecentos e cinquenta e dois mil, quinhentos e setenta e três reais e oitenta e três centavos). O Gráfico 4 contém dados da evolução da arrecadação dos *royalties* em Parauapebas de 2009 a 2019.

Gráfico 4: Arrecadação municipal de Parauapebas nos últimos 11 anos.

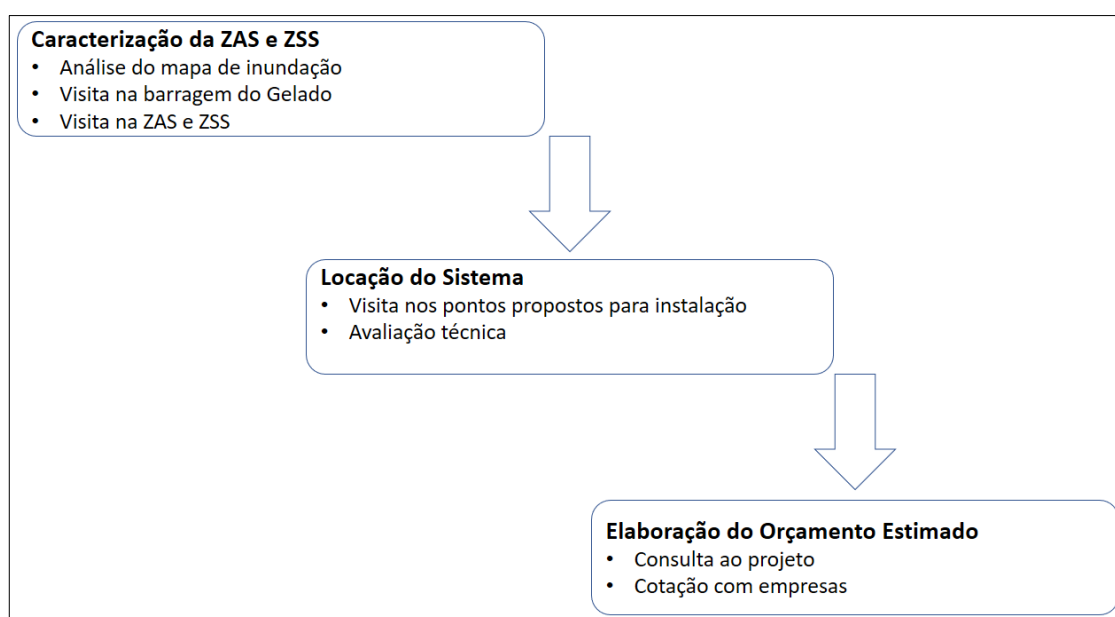


Fonte: Adaptado de ANM (2019).

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa, tendo como enfoque os objetivos da dissertação foi dividida em três etapas, sendo a etapa 1 procedimentos para a caracterização das ZAS e ZSS, a etapa 2, definição da localização da instalação do sistema de alerta de emergência para a ZSS da barragem do Gelado e a etapa 3, a descrição da metodologia para o levantamento do orçamento estimado do sistema de alerta na ZSS. A Figura 26 apresenta um fluxograma contendo o detalhamento das etapas e sub-etapas da metodologia da pesquisa.

Figura 26: Metodologia da pesquisa.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZAS E ZSS DA BARRAGEM DO GELADO

Para a caracterização das ZAS e ZSS da barragem estudo de caso, realizou-se a análise do mapa de inundação do empreendimento (consta no Apêndice A deste manuscrito), estando o mapa no documento PSB da barragem do Gelado (2018) - Capítulo 11. O Plano de Segurança foi fornecido pela Defesa Civil de Parauapebas para a realização das consultas. Após a análise foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Obtenção das coordenadas dos locais mais adequados para a realização das instalações dos sistemas de alerta utilizando-se o *Google Earth*, onde foi possível visualizar as áreas não atingidas;
- b) Visitas *in loco* na própria ZAS e ZSS da barragem, observadas as áreas da zona secundária, potencialmente atingidas pela mancha de inundação.
- c) Vistoria dos 21 pontos onde hoje encontram-se instalados os sistemas de alerta de emergência a uma distância de 20 km (acompanhando a trajetória da mancha de inundação apresentada no PAEBM) da barragem do Gelado na ZAS, assim como, nos locais mapeados como possibilidade de serem instalados os cinco sistemas de alerta em ZSS.
- d) Análise dos locais cobertos pelo raio de ação sonoro de até 2 km de distância por sistema de alerta, ou seja, avaliação do número de residências, locais com grande concentração de pessoas como igrejas e escolas e, ruas e avenidas principais. Parte da verificação foi realizada com visitas nos locais, assim como, pela análise dos mapas apresentados pela Defesa Civil.

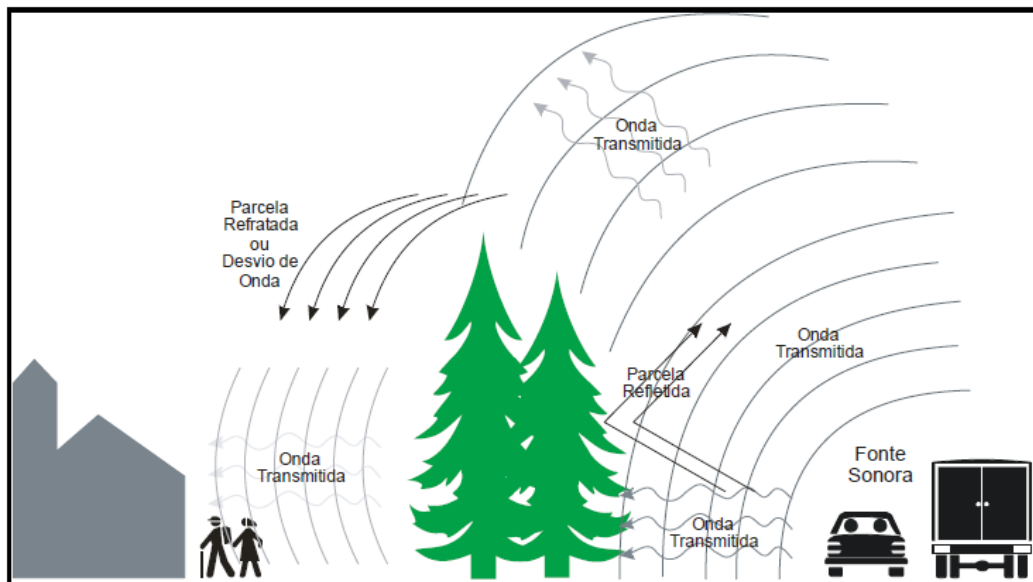
4.2 DEFINIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALERTA NA ZSS

Para a locação das torres que compõem o sistema de alerta sonoro da ZSS primeiramente foi realizada a análise do mapa de inundação da barragem do Gelado, ocorrendo posteriormente visitas aos locais à jusante, especificamente nos pontos de alagamento, sendo definidos os respectivos pontos de coordenadas e elevações para a locação das torres. Analisou-se ainda o tempo de chegada da onda inundação nos pontos de alagamento (observa-se que não foram realizadas análises a respeito dos locais destinados ao ponto de encontro).

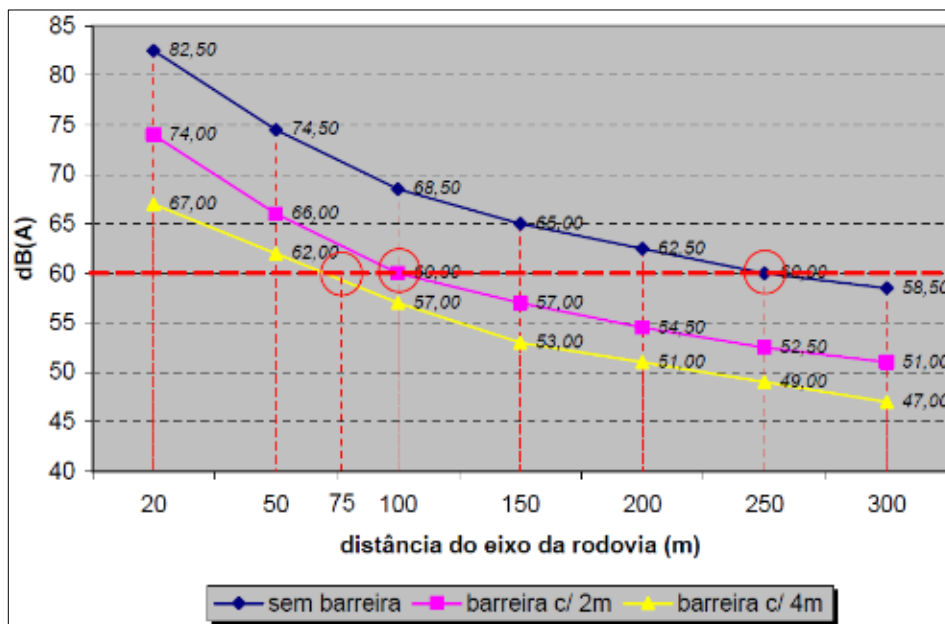
Nesta fase de locação, recorreu-se também a coleta de informações junto à equipe da Defesa Civil de Parauapebas para melhor reconhecimento da área. A partir de então, contando com o auxílio de profissionais conhecedores da tecnologia dos sistemas de alerta de emergência, definiu-se os critérios de locação das torres de alerta, descritos a seguir:

- a) Garantia de que a área selecionada em ZSS para a implantação do sistema estivesse fora da delimitação da mancha de inundação para evitar o “engolfamento” das torres, em caso de ruptura de barragem, atendendo assim a orientação da Resolução ANM n.º. 13, de 2019 (Art. 7º) que determina que as barragens que necessitam possuir PAEBM devem contar com sistemas automatizados de acionamento de sirenes instalados fora da mancha de inundação.
- b) Instalação em áreas urbanas; verificação da existência ou não de árvores de grande porte no local, pois a presença destes elementos atua como barreira acústica (Figura 27), o que para situação do sistema de alerta pode acarretar interferências na propagação da onda sonora transmitida, impedindo desta forma, que o alcance sonoro das cornetas chegue ao local desejado (raio de ação sonora pré-estabelecido de 2 Km). Segundo Morellato (2010) a presença de árvores atua como mitigadoras de ruídos, através da absorção de ondas sonoras pelas folhas que também é representado no Gráfico 5.

Figura 27: Interferência de árvores de grande porte na propagação de onda transmitida.



Fonte: DNIT, 2006.

Gráfico 5: Interferência sonora de acordo com a altura da barreira.

Fonte: DNIT, 2006.

- c) Prioridade da instalação do sistema em áreas urbanas, preferencialmente locais públicos, tais como: praças, escolas da rede municipal, hospitais e etc., uma vez que em locais particulares a instalação pode não ser aceita pelos proprietários; caso não seja possível a instalação do sistema de alerta nestes locais, verificação de mais de uma possibilidade de locação em pontos não muito distantes e com proprietários diferentes;
- d) Além de áreas públicas, buscar priorizar locais que possuam serviço de vigilância 24 horas, tais como hospitais e escolas, para evitar possíveis furtos dos equipamentos;
- e) Verificar se o local selecionado permite ponto de captação para utilização de energia solar, pois a alimentação do banco de baterias das torres depende desta fonte de energia;

Ainda para o estudo, houve a preocupação com quatro elementos fundamentais de acordo com a *UN Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR, 2006)*, a saber:

- a) Conhecimento do risco: Mapeamento dos riscos para reconhecimento e priorização das áreas mais críticas, possibilitando o estabelecimento de medidas estratégicas específicas para prevenção e resposta aos desastres;
- b) Previsão: Monitoramento 24 horas por dia e fornecimento antecipado das estimativas de potenciais riscos;
- c) Comunicação: Disseminação de informações claras e sintéticas que permitam respostas adequadas tanto dos órgãos públicos competentes quanto da população do local potencialmente afetado e;
- d) Coordenação das ações necessárias para atendimento da população afetada por um desastre.

4.3 ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE EMERGÊNCIA NA ZSS

Para a construção da planilha de custo de instalação do sistema de alerta para a ZSS de Parauapebas, tomou-se como base um *template* de projeto executivo de torres de alerta de emergência concebido por uma empresa do setor, já aplicado em um ambiente de barragem de mineração.

A cotação dos materiais e equipamentos foi baseada em orçamentos de empresas nacionais que já realizaram fornecimentos de tecnologias para sistemas de alertas e outras que, após o recebimento dos componentes, fizeram as instalações no Sul do Pará. No caso da tecnologia disponível para estes sistemas, é válido destacar que mais de 70% desta tecnologia é importada, sendo a maior parte oriunda da Eslováquia e com os valores especificados em dólar. Logo, na composição do custo foi realizada a devida conversão em moeda nacional e considerando as devidas taxas de importação.

Elaborou-se assim, uma planilha orçamentária, cujo modelo apresenta-se na Tabela 8, contendo a descrição dos insumos necessários para a montagem das torres (materiais e equipamentos), as suas respectivas quantidades e custos.

Tabela 8 – Modelo da planilha orçamentária para materiais e equipamentos.

Conjunto dos Sistemas de Controles.				
Descrição do Materiais e Equipamentos	Quantidade	Quantidade Estoque	Valor Unit. (R\$)	Sub-Total (R\$)
Materiais de Composição.				
Sistema Repetidor				
Valor Total do Sistema de Alerta				R\$

Fonte: Próprio Autor.

A previsão do custo com a execução do serviço de instalação das torres foi baseada na cotação junto à empresas especializadas do setor de Sistemas de Alerta de Emergência que atuam no Brasil e que forneceram a tecnologia para empreendedores (donos de barragens) nas regiões Sudeste e Norte do Brasil. No entanto, utilizou-se como modelo a Tabela 9, contendo a previsão dos custos com os sub-serviços de montagem e fornecimento das torres, custos com equipamentos e veículos para apoio dos serviços e, por fim custos com o consumo de mão de obra.

Tabela 9 – Modelo de planilha orçamentária para montagem das Torres.

Fornecimento e Execução de Montagens das Torres			
Descrição do serviço	Quantidade	Unidade	Sub-Total (R\$)
Equipamentos / Veículos de Apoio a Obra.			
Custo com a Equipe de Montagem			
Armador			
Carpinteiro			
Pedreiro			
Montador de Andaime			
Servente de Obras			
Mecânico Montador			
Ajudante de Montagem Mecânica			
Eletricista			
Encarregado de Obras			
Técnico de Planejamento/Medição			
Técnico de Segurança e Meio Ambiente			
Engenheiro (Preposto do Contrato)			
Valor Total do Sistema de Alerta			R\$

Fonte: Próprio Autor.

Considerou-se também no orçamento a etapa de manutenção preventiva e corretiva do sistema, alocando-se um custo mensal referente à contratação de empresa local especializada neste tipo de tecnologia, conforme modelo da Tabela 10.

Tabela 10 – Modelo Custos mensal e total com manutenção do sistema de alerta.

Equipe de Manutenção.			
Descrição	Custo Mensal (R\$)	Período	Sub-Total (R\$)

Fonte: Próprio Autor.

A partir de todos os custos estimados (aquisição e instalação dos materiais e equipamentos; e manutenção do sistema), obteve-se o investimento total necessário para a implantação do sistema de alerta na ZSS de Parauapebas, sendo registrado na Tabela resumo 11.

Tabela 11 – Planilha resumo do custo total para a instalação do sistema de alerta na ZSS de Parauapebas.

Descrição	Sub- Total (R\$)
Aquisição dos Materiais e Equipamentos	
Instalações dos Equipamentos	
Manutenção Preventiva	
INVESTIMENTO TOTAL	
INVESTIMENTO POR SISTEMA	

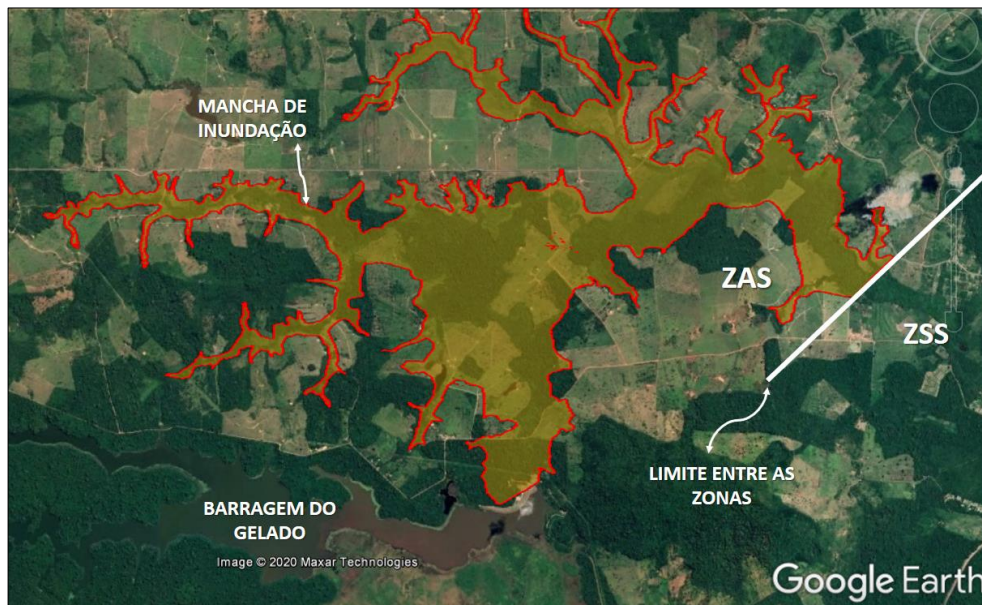
Fonte: Próprio Autor.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZAS E ZSS DA BARRAGEM DO GELADO

A ZAS da barragem do Gelado trata-se de área localizada à jusante da própria barragem exposta à onda hipotética de inundação em que não há tempo hábil para que chegue a Defesa Civil ou o próprio empreendedor para alertar as pessoas, caso a barragem se rompa, e segundo a ANM (2019) é limitada a uma distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a 30 minutos ou 10 km conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 – ZAS e ZSS da barragem de mineração do Gelado.



Fonte: Próprio Autor.

A ZAS neste local se caracteriza por ser assistida como APA (Área de Proteção Ambiental) onde residem aproximadamente 120 famílias de pequenos agricultores, onde grande parte das famílias fazem parte da Associação Comunitária dos Produtores Rurais da APA do Gelado (Aproapa). Esta área possui proteção sonora composta por 21 sirenes que foram instaladas pelo empreendedor responsável pela barragem do Gelado, sendo que 18 estão inseridas dentro da comunidade e 3 dentro do projeto pertencente a VALE na região de Carajás. É importante ressaltar que, as instalações dos sistemas de alerta ultrapassam os limites de 10 km chegando em área de ZSS, contudo, não são suficientes para proteção sonora

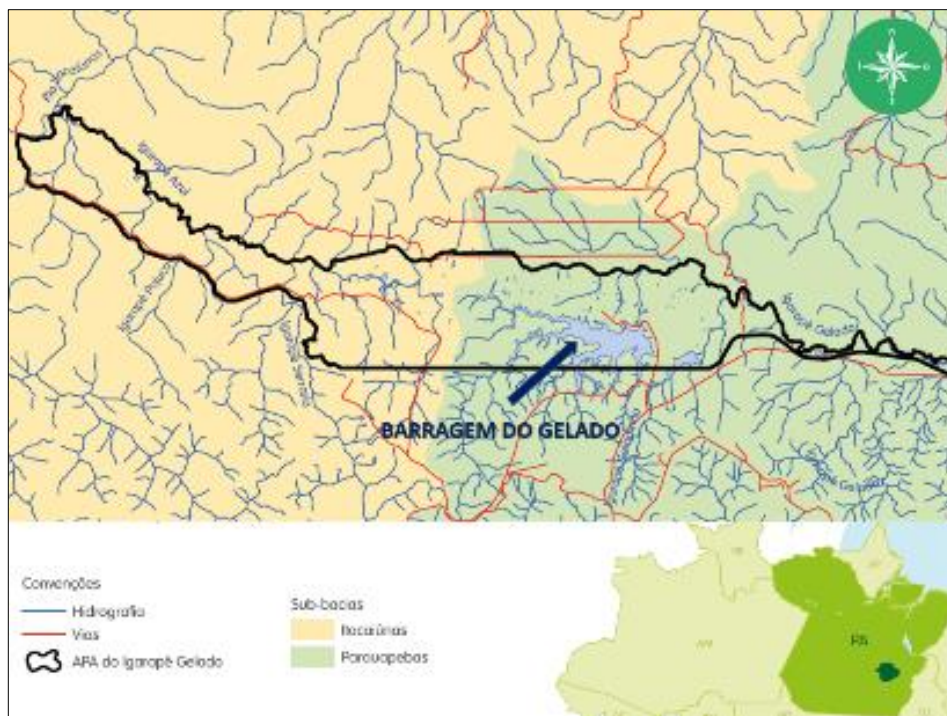
nos bairros de Parauapebas, onde o mapa de inundação demonstra a possibilidade de atingimento.

Parte da ZAS da barragem do Gelado está inserida na APAIG (Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado) na Zona Rural de Parauapebas. Segundo o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado (2017) residem na área 138 famílias, em torno de 460 pessoas em 191 lotes, sendo que 61% das pessoas encontram-se na área há mais de 20 anos e apenas 4,5% chegaram à área há menos de 5 anos. A população é culturalmente diversificada, proveniente de várias regiões do Brasil, com predominância de moradores vindos do Maranhão, Tocantins e Goiás.

A maior parte da população é residente, apesar de existirem casos de moradores antes fixos e que hoje residem no núcleo urbano de Parauapebas por motivos variados. Essa afirmação é confirmada pelo Cadastro mantido pelo ICMBio (2017). É importante ressaltar uma característica hidrográfica importante da APAIG está relacionada à existência de estruturas hidráulicas na forma de barramentos dos igarapés Gelado e Geladinho, ambos construídos com o objetivo de receber rejeitos da atividade minerária de Carajás.

A Figura 29 ilustra a ZAS da barragem e a área correspondente a área de proteção ambiental do Igarapé Gelado.

Figura 29 - ZAS inserida na APA do Igarapé Gelado.



Fonte: Adaptado do Plano de Manejo, 2017.

No que se refere à ZSS da barragem do Gelado, foram verificados diversos bairros da cidade de Parauapebas com potencial de risco de atingimento, sendo cinco deles mapeados estrategicamente para receber os sistemas de alerta de emergência (Vale do Sol, Jardim Tropical, União, Liberdade e Vila Rica. Em termos de unidades residenciais, estimou-se na ZSS um total de 1.235 casas com potencial de atingimento pela mancha de inundação, o que corresponde a 4.075 habitantes, tomando-se como base o último CENSO (2010) do IBGE que divulgou um número médio de 3,3 moradores por domicílio no Brasil.

Pode-se inferir que uma vez instalado o sistema de alerta de emergência na ZSS, a proteção sonora pode beneficiar, além das unidades habitacionais, os estabelecimentos comerciais como Igrejas, restaurantes, padarias, supermercados e algumas das principais vias de acesso da cidade; a rodovia Faruk Salmem e a Rua “F”.

5.2 LOCAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALERTA DE EMERGÊNCIA.

5.2.1 Sistema de alerta pré-existent.

Antes de apresentar os resultados sobre a locação dos sistemas de emergência na ZSS, é necessário explicar que já existe o sistema de alerta de emergência instalado na área da ZAS da barragem, realizada em 2017 pelo empreendedor em atendimento à legislação (Resolução nº236, de 30 de janeiro de 2017). O empreendedor, no caso, optou por ampliar o limite do alerta sonoro de 10 km para 20 Km com o intuito de resguardar com mais rigor a segurança da população local.

A Figura 30 apresenta a localização dos 21 pontos de alerta sonoros instalados pelo empreendedor na ZAS, sendo que estes sistemas atendem simultaneamente à três empreendimentos existentes: barragem do Gelado, barragem Geladinho e barragem da Pera Jusante, sendo que três destas atendem a área interna do empreendedor.

Figura 30 - Localização dos pontos de alerta instalados na ZAS pelo empreendedor.



Fonte: VALE, 2018.

Ocorre, porém, que os locais onde encontram-se instalados os sistemas de alerta, mesmo com abrangência sonora de 20 km (em trecho acompanhando o trajeto da mancha de inundação), não são suficientes para a proteção nas áreas ZSS de Parauapebas, tendo em vista que a cidade está distante, em linha reta, em aproximadamente 28 km da barragem do Gelado, conforme ilustrado nas Figuras 31 e 32.

Figura 31: Inundação pós-ruptura da barragem do Gelado até Parauapebas.



Fonte: Adaptado de PAEBM, 2018.

Figura 32: Visualização da inundação pós-ruptura da barragem do Gelado no município de Parauapebas.

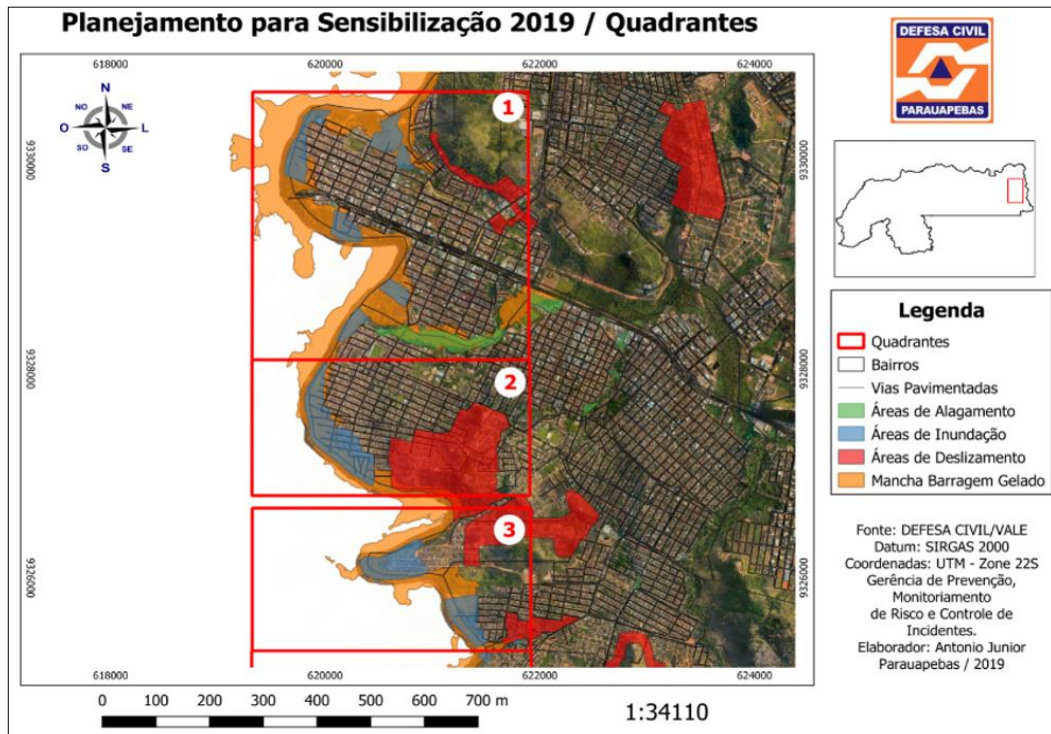


Fonte: Adaptado de PAEBM, 2018.

Considerando a ZSS (os locais vulneráveis e com risco de atingimento pela mancha de inundação) após análise do mapa de inundação, ficou definido um total de cinco torres de alerta alocadas em áreas urbanas e superando os 20 km de distância onde já existem sistemas de alerta instalados.

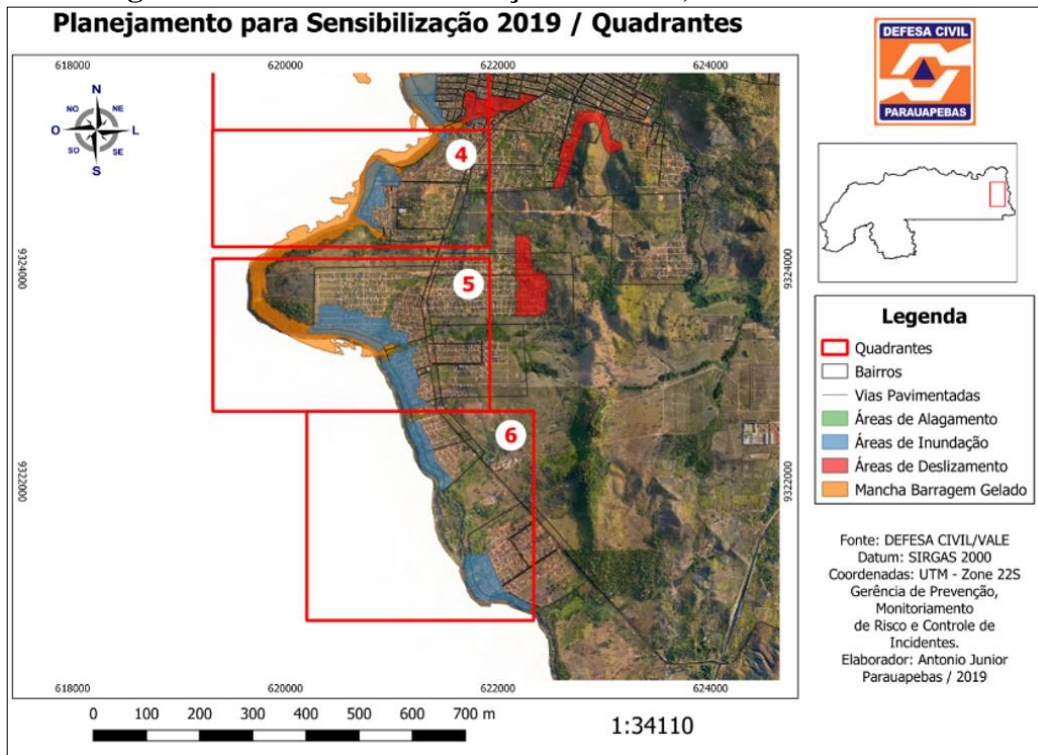
A locação das torres tomou como base também mapas elaborados pela Defesa Civil/Empreendedor em 2019 contendo os bairros afetados pela mancha hipotética, representados nos quadrantes assim numerados: 1- União / Cidade Nova, 2- Liberdade, 3- Guanabara, 4, 5 e 6- Vila Rica e 7- Vale do Sol / Jardim Tropical. Os mesmos estão especificados nas Figuras de 33 a 35.

Figura 33 - Mancha de inundação: bairros 1-União/Cidade Nova, 2-Liberdade e 3-Guanabara.



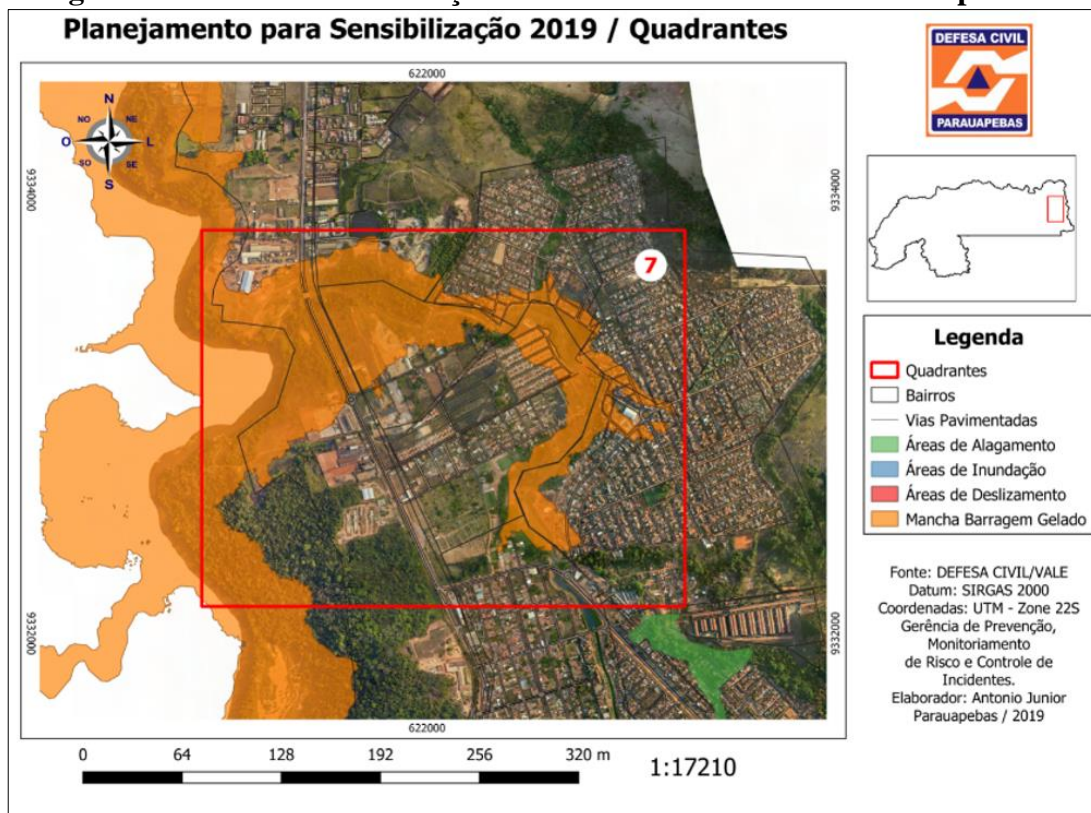
Fonte: Defesa Civil/VALE, 2019.

Figura 34: Mancha de inundação: bairro 4, 5 e 6- Vila Rica.



Fonte: Defesa Civil/VALE, 2019.

Figura 35: Mancha de inundação: bairro 7-Vale do Sol/Jardim Tropical.



Fonte: Defesa Civil/VALE, 2019.

5.1.2 Locação dos sistemas de alerta sonoros na ZSS do município de Parauapebas

A Tabela 12 contém a indicação das coordenadas propostas para as instalações das cinco torres de emergência, nomeadas de acordo com a identificação dos locais para instalações, e atendendo ao raio de ação de até 2 km para as instalações dos sistemas de alerta para aviso da população.

Tabela 12 – Proposta de localização das torres do sistema de alerta na ZSS.

TORRES (Sistemas de Alerta)	Coordenada Geodésica		Coordenada Angular	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Torre 01 (Vale do Sol)	-6.011080	-49.892108	6°00'39.9"S	49°53'31.6"W
Torre 02 (Jardim Tropical)	-6.031511	-49.898064	6°01'53.4"S	49°53'00.0"W
Torre 03 (União)	-6.067193	-49.908354	6°04'01.9"S	49°54'30.1"W
Torre 04 (Liberdade)	-6.087674	-49.900046	6°05'15.6"S	49°54'00.2"W
Torre 05 (Vila Rica)	-6.107419	-49.907783	6°06'26.7"S	49°54'28.0"W

Fonte: Próprio Autor.

Na Tabela 13, verifica-se a elevação da mancha de inundação e a elevação do local proposto para as instalações dos sistemas de alerta de emergência.

Tabela 13- Elevação da mancha de inundação nas áreas atingidas e elevação dos locais de locação das torres.

Sistema de Alerta de Emergência	Elevação da mancha de Inundação (m)	Elevação do local proposto para instalação (m)
Torre 01 (Torre Vale do Sol)	148	162
Torre 02 (Torre Jardim Tropical)	149	155
Torre 03 (Torre União)	148	162,95
Torre 04 (Torre Liberdade)	148	155,94
Torre 05 (Torre Vila Rica)	201	157,91

Fonte: Adaptado de PAEBM, 2018.

Em detalhes apresenta-se, a seguir, as informações pertinentes para a definição do local de instalação de cada torre de alerta de emergência.

a) Proposta para instalação do sistema de alerta 01 (Torre Vale do Sol)

Analisando a evolução da mancha de inundação na área que se encontra o bairro Vale do Sol, conforme consultado o PAEBM da barragem, esta área seria atingida pela mancha após o decorrer de 09h17min do início da ruptura da barragem (Tabela 14).

Tabela 14 – Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 01.

Distância da Barragem (km)	44,4
Profundidade Máxima da Inundação (m)	14,6
Elevação Máxima (m)	148
Vazão de Pico do Hidrograma (m ³ /s)	1477
Tempo de chegada da inundação (hh:mm)	09:17
Tempo para o Pico do Hidrograma (hh:mm)	13:08
Velocidade Máxima (m/s)	0,817

Fonte: PAEBM, 2018.

Os instrumentos/equipamentos do sistema podem emitir um alerta sonoro com alcance de 2 km de distância com 75 decibéis como limite, neste caso se obtém os limites de atuação a partir do estudo da mancha, tendo sido realizadas também visitas *in loco* como apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Configuração da mancha de inundação no bairro Vale do Sol e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 1.



Fonte: Adaptado do PAEBM, 2018.

Para uma futura instalação da Torre 01 foi levado em consideração, além da elevação de aproximadamente 162 m que faz com que a torre fique fora do raio de ação da mancha e, totalmente livre da possibilidade de ser “engolfada” em caso de ruptura da barragem, a proteção sonora que a mesma pode proporcionar nas áreas em torno do DETRAN (Departamento Estadual de Trânsito), City Park Tênis Clube, Igreja Católica, parte de uma das principais rodovias municipais, a Faruk Salmen e 50 residências (Figura 37). Ainda, como forma de garantir o aviso sonoro, a torre deverá possuir uma altura de aproximadamente 13 m e a configuração mais indicada para montagem das cornetas, seria com características *rotating* ou *omni-directional*.

Figura 37 - Local sugerido para instalação do sistema de alerta Torre 01.



Fonte: Próprio Autor.

b) Proposta de instalação do sistema de alerta 02 (Torre Jardim Tropical)

O local de instalação da Torre 02 (Figura 38), no bairro Jardim Tropical, próximo à rodovia Faruk Salmem, possui um terreno com elevação de 155 m, ou seja, 6 m acima da elevação máxima informada no PAEBM 2018, o que conserva a segurança para a torre de alerta com seus acessórios, ainda pode-se considerar a instalação estratégica, pois fica no interior de uma empresa de construção civil e com vigilância 24h.

Segundo o PAEBM (2018), após 09h13 min do rompimento da barragem, a mancha de inundação atinge uma parte do bairro, sendo que o barramento fica localizada a uma distância de aproximadamente, 43,5 km, sendo que o alerta sonoro pode cobrir um total de 400 residências (Tabela 15). Neste caso, é importante que a torre tenha uma altura de 13 metros e a configuração de montagem das cornetas com características “*omni-direcionais*”, pois nesta configuração é possível adequar a montagem com o objetivo de obter o melhor aproveitamento possível do sinal sonoro (Figura 39).

Tabela 15 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 02.

Distância da Barragem (km)	43,5
Profundidade Máxima da Inundação (m)	14,5
Elevação Máxima (m)	149
Vazão de Pico do Hidrograma (m ³ /s)	1489
Tempo de chegada da inundação (hh:mm)	09:13
Tempo para o Pico do Hidrograma (hh:mm)	12:52
Velocidade Máxima (m/s)	1,05

Fonte: PAEBM, 2018

Figura 38 - Configuração da mancha de inundação no bairro Jardim Tropical e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 02.



FONTE: Adaptado do PAEBM, 2018.

Figura 39 - Local sugerido para instalação do sistema de alerta Torre 02.



FONTE: Próprio Autor

c) Proposta de instalação do sistema de alerta 03 (Torre União).

A proposta de instalação da Torre 03 (Figura 40) fica localizada em um dos bairros mais conhecidos de Parauapebas, o União, e inserido no DAM (Departamento de Arrecadação Municipal). O local possui um terreno com elevação de 162,95 metros, ou seja, quase 15 metros superior a passagem da mancha de inundação. A proposta para instalação deverá ocorrer no interior do prédio do DAM, que pertence à prefeitura de Parauapebas e que também possui vigilância 24 hora. A proteção sonora abrangerá uma das principais avenidas da cidade, a Rua “F”, farmácias, centro comercial, bancos, imóveis urbanos e etc. Segundo os estudos do PAEBM (2018), esta área é atingida após um intervalo de 10h:17min após a ruptura (Tabela 16), sendo que a barragem do Gelado se encontra a 49,1 km de distância da área em questão e, a implantação do sistema poderá garantir a cobertura sonora de aproximadamente 300 residências. Para abranger uma cobertura sonora considerável, nestas condições, é importante que a configuração de montagem das cornetas seja em “*omni-direcionais*” e a altura da torre de 13 metros. A Figura 41 demonstra a disposição do raio sonoro após disparo.

Tabela 16 - Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 03.

Distância da Barragem (km)	49,1
Profundidade Máxima da Inundação (m)	6,48
Elevação Máxima (m)	148
Vazão de Pico do Hidrograma (m ³ /s)	87,7
Tempo de chegada da inundação (hh:mm)	10:17
Tempo para o Pico do Hidrograma (hh:mm)	24:08
Velocidade Máxima (m/s)	0,833

Fonte: PAEBM, 2018.

Figura 40 - Local sugerido para instalação da Torre 03.

FONTE: Próprio Autor.

Figura 41 - Configuração da mancha de inundação no bairro União e área de proteção sonora do sistema de alerta Torre 03.

FONTE: Adaptado do PAEBM, 2018.

d) Proposta de instalação do sistema de alerta 04 (Torre Liberdade)

Para a instalação da torre de alerta no bairro Liberdade (Figura 42), a elevação do terreno para que a torre seja inserida corresponde a 155,94 metros. A proteção sonora abrangerá igrejas, áreas urbanas, escolas, restaurantes, complexo esportivo e aproximadamente 450 residências. Em relação a área de inundação, pelos estudos do PAEBM (2018), também é considerada área importante em decorrência da proximidade com o rio Parauapebas. Devido ao pouco tempo para evacuação da área pela população que se encontra no raio de ação da mancha de inundação, é importante que a configuração de montagem das cornetas seja em “OMNI-direcionais” e sua altura de 13 metros. Os dados da evolução da mancha no bairro em questão são apresentados na Tabela 17 e a mancha de inundação com sua respectiva proteção são demonstrados na Figura 43.

Tabela 17 – Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 04.

Distância da Barragem (km)	53,5
Profundidade Máxima da Inundação (m)	6,29
Elevação Máxima (m)	148
Vazão de Pico do Hidrograma (m ³ /s)	34,0
Tempo de chegada da inundação (hh:mm)	11:42
Tempo para o Pico do Hidrograma (hh:mm)	24:00
Velocidade Máxima (m/s)	0,401

Fonte: PAEBM, 2018

Figura 42 -Local sugerido para instalação da Torre 04.



FONTE: Próprio Autor.

Figura 43 - Configuração da mancha de inundação no bairro Liberdade e área de proteção sonora Torre 04.



FONTE: Adaptado do PAEBM, 2018.

e) Proposta de instalação do sistema de alerta 05 (Torre Vila Rica).

Para a instalação da Torre 05 no bairro Vila Rica (Figura 44), a elevação do terreno para que a torre seja inserida corresponde a 157,91 metros. A proteção sonora abrangerá igrejas, áreas urbanas, escolas, postos de combustíveis, 35 residências e a estrada denominada VS-10 que interliga o bairro Vila Rica a outros bairros importantes da cidade. Em relação a área de inundação, pelos estudos do PAEBM (2018), também é considerada área importante devido à proximidade com o rio Parauapebas. A configuração de montagem das cornetas deverá ser do tipo “OMNI-direcionais” e sua altura de 13 metros. Na Tabela 18 são apresentados os dados da mancha nesta localização e na Figura 45 a mancha de inundação com o raio de ação sonoro pós instalação.

Tabela 18 – Dados da evolução da mancha próximo ao sistema de alerta 05.

Distância da Barragem (km)	57,7
Profundidade Máxima da Inundação (m)	4,91
Elevação Máxima (m)	201
Vazão de Pico do Hidrograma (m ³ /s)	8,75
Tempo de chegada da inundação (hh:mm)	12:13
Tempo para o Pico do Hidrograma (hh:mm)	18:16
Velocidade Máxima (m/s)	0,334

Fonte: PAEBM, 2018.

Figura 44 - Local sugerido para instalação da Torre 05.



FONTE: Próprio Autor.

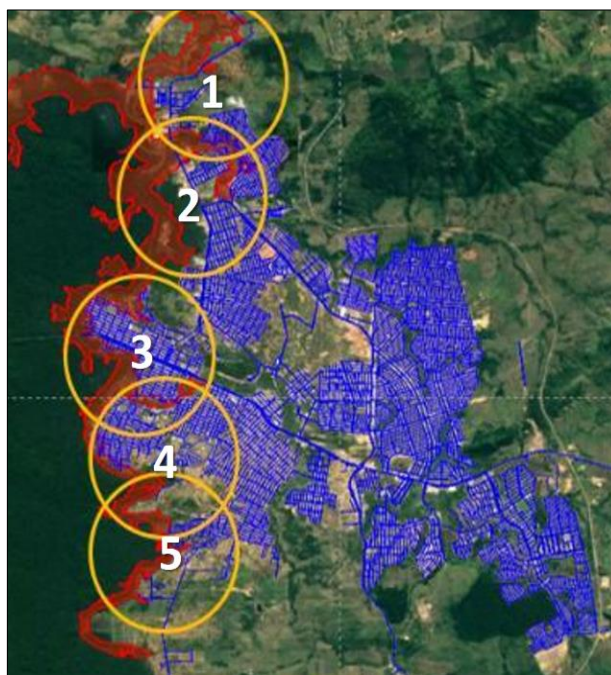
Figura 45 - Configuração da mancha de inundação no bairro Vila Rica e área de proteção sonora Torre 05.



FONTE: Adaptado do PAEBM, 2018.

Após avaliação das locações dos sistemas de alerta nos bairros que compõe o objeto deste estudo, obviamente que se levando em consideração todos os pré-requisitos mencionados anteriormente, observa-se na Figura 46 a área total de cobertura sonora com o acionamento dos cinco sistemas de forma simultânea.

Figura 46 – Área de cobertura sonora quando acionados todos os sistemas de alerta.

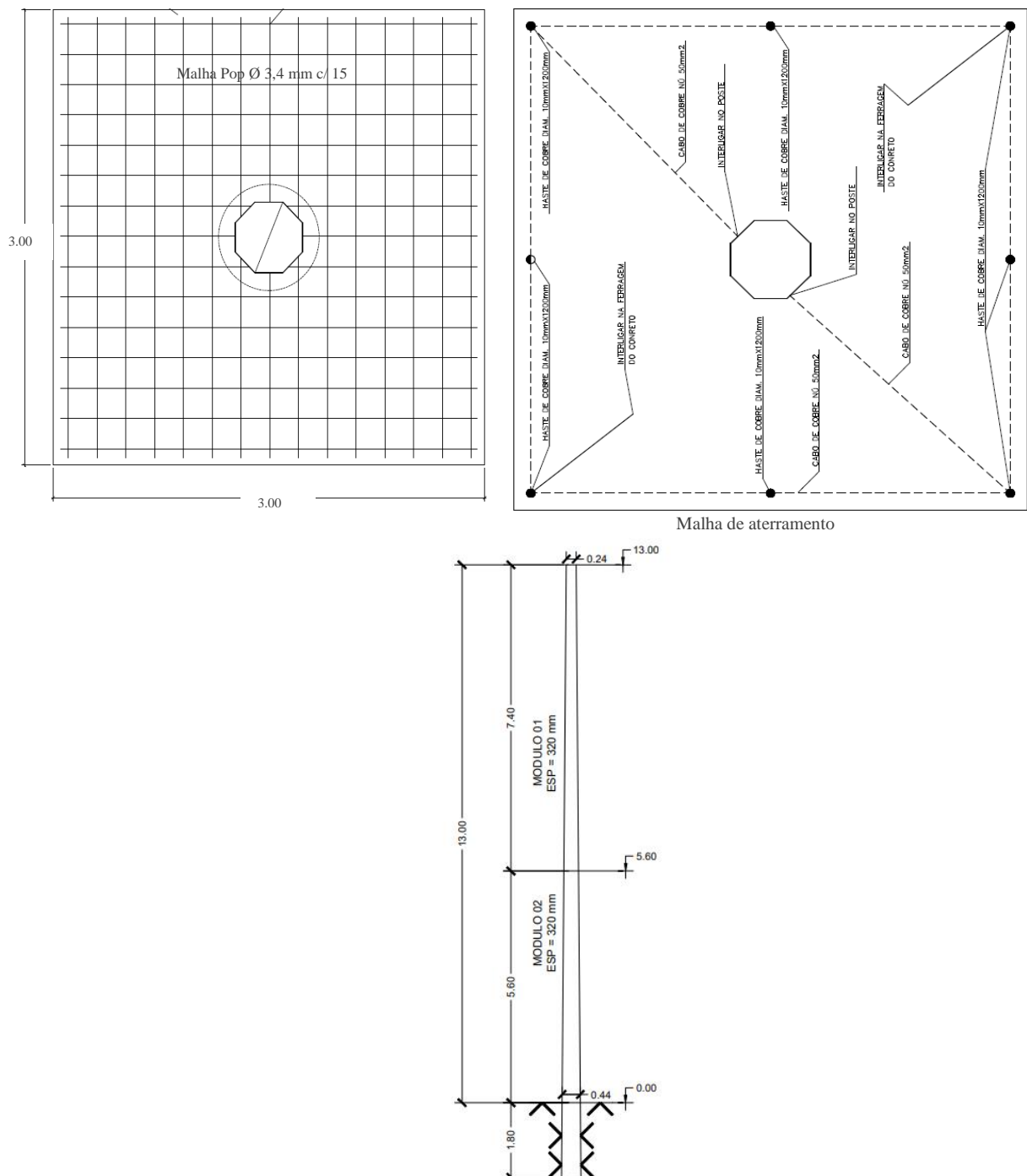


Fonte: Próprio Autor.

5.3 ORÇAMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE EMERGÊNCIA NA ZSS DE PARAUAPEBAS.

A Figura 47 apresenta o projeto básico da torre do sistema de alerta emergência, o qual é composto por uma (01) torre de alerta bipartida, chapéu chinês, e um conjunto de talas metálicas aparafusadas para fixação da instrumentação, fixada em uma fundação e bloco em concreto armado (3,00 x 3,00) m, resistência do concreto igual a f_{ck} 15 MPa, contendo malha de aterramento em seu entorno. O detalhamento do projeto completo pode ser verificado no Apêndice C.

Figura 47 – Projeto básico da torre de sistema de alerta de emergência.



Fonte: Adaptado de ENGEFAME, 2017.

Com base no projeto, foi elaborado o orçamento para a instalação completa do sistema de alerta proposto na pesquisa. As Tabelas 19, 20, 21 e 22 contêm as planilhas orçamentárias referentes ao:

- a) Custo com aquisição de materiais e equipamentos;
- b) Custo com montagem das torres;
- c) Custo com manutenção;
- d) Custo total para a instalação do sistema de alerta.

Tabela 19 – Planilha orçamentária de aquisição de materiais e equipamentos.

Conjunto dos Sistemas de Controles.				
Descrição Materiais/Equipamentos	Quantidade	Estoque (unid.)	Valor Unit. (R\$)	Sub-Total (R\$)
Servidor.	1	1	73.842,00	147.684,00
Thin Client.	1	1	14.894,31	29.788,62
Switch industrial.	1	1	19.899,00	39.798,00
No Break bi-volt para autonomia de 4 horas.	1	1	14.250,44	1.738,37
Monitor LED 46”.	1	1	7.256,91	14.513,82
Monitor LED 19”.	1	1	4.890,23	9.780,46
19” – 22Us c/ acessórios.	1	1	2.980,56	5.961,12
Software VEKTRA - sistema de controle do sistema.	1	0	78.596,21	78.596,21
Sistema de gerenciamento de comunicação.	1	0	38.496,00	38.496,00
Sistema repetidor de rádio de dados e voz.	1	1	5.852,86	11.705,72
Conjunto antena vertical plano-terra.	1	1	3.765,98	7.531,96
Unidade móvel para acionamento do alarme.	1	1	4496,00	8.992,00
Materiais de Composição.				
Painel Solar de Potência mínima 240 WATTS.	10	2	4.496,79	53.961,48
Controlador de Carga 20A 12-24 v (Painel Solar).	5	2	3.768,45	26.379,15
Baterias estacionárias 12V.	10	4	2.899,98	40.592,30
Quadro de Controle da Sirene.	5	2	12.890,90	90.236,30
Fonte de alimentação interna.	5	2	3212,76	22.489,32
Placa eletrônica de controle (CPU).	5	2	2590,00	18.130,00
Placa eletrônica de funcionamento.	5	2	2790,00	19.530,00
Placa eletrônica Ethernet.	5	2	2.240,98	15.686,86
Placa eletrônica Amplificador.	5	2	2.450,00	17.150,00

Equipamento de sinalização luminosa a LED.	5	2	4.990,90	34.936,30
Cornetas de 150 Watts.	40	5	2.745,00	123.525,00
Torres Metálicas.	5	1	70.000,00	420.000,00
Antena Direcional para Rádio Digital.	5	2	1.230,00	8.610,00
Captor tipo Franklin para rádio 4 pontas.	5	1	3.900,00	23.400,00
Rádio digital VHF.	10	2	3.880,00	46.560,00
Sistema Repetidor				
Sistema repetidor de rádio de dados e voz.	3	1	12.950,00	51.800,00
Conjunto antena monopólio vertical plano-terra.	3	1	9890,80	39.563,20
Valor Total do Sistema de Alerta proposto				R\$1.447.136,19

Fonte: próprio Autor.

Tabela 20 - Planilha orçamentária para montagem das Torres.

Fornecimento e Execução de Montagens das Torres			
Descrição dos serviços	Quantidade	Unidade	Sub-Total (R\$)
Locação da Obra – Gabarito.	45	m ²	1.426,50
Fornecimento de forma plana com compensado resinado para estrutura de fundação, inclusive escoramento de estruturas verticais.	m ²	6	435,35
Fornecimento, adensamento e cura de concreto fck=15Mpa.	m ³	1.5	1.178,70
Piso em concreto fck=15Mpa, com junta a cada 120cm, acabamento com desempenadeira manual espessura 10 cm, armado com tela soldada Q138.	m ²	45	10.037,70
Fornecimento de cabo de cobre nú embutido ou escavado em terra até 50 cm de profundidade, bitola de 50 mm ² .	M	90	5.346,90
Fornecimento de haste para aterramento em aço cobreado G2491 20mm x 3m, inclusive conector haste / cabo de cobre.	Um	40	4.815,60
Fornecimento de solda exotérmica.	Um	5	1.812,85
Conectores de Pressão tipo Split-Bolt bitolas de 25 à 70mm ² .	Um	60	1.554,60
Equipamentos / Veículos de Apoio a Obra.			
Aluguel de caminhão tipo munck, capacidade até 15t – custo fixo com	1	mês	25.690,00

operador			
Aluguel de pick-up, para cargas médias, tração 4x4 – cap. 5 lugares (Tipo Hilux, Amarock, etc.) – inclusive combustível.	1	mês	13.747,85
Aluguel de Microonibus – Custo Fixo (com motorista) – inclusive combustível.	1	mês	29.193,49
Andaime – montagem, desmontagem, limpeza e organização	96	m ³	5.161,92
Equipe de Montagem			
Armador	2	h/m	9.750,40
Carpinteiro	2	h/m	9.750,40
Pedreiro	2	h/m	9.750,40
Montador de Andaime	2	h/m	10.463,20
Servente de Obras	1	h/m	4.237,20
Mecânico Montador	2	h/m	11.079,20
Ajudante de Montagem Mecânica	2	h/m	8.474,40
Eletricista	2	h/m	14.106,40
Encarregado de Obras	1	h/m	10.071,60
Técnico de Planejamento/Medição	1	h/m	11.083,60
Técnico de Segurança e Meio Ambiente	1	h/m	8.716,40
Engenheiro (Preposto do Contrato)	1	h/m	23.203,40
Valor Total do Sistema de Alerta			R\$231.088,06

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 21 – Custos com manutenção do sistema de alerta.

Equipe de Manutenção.			
Descrição	Custo Mensal (R\$)	Período	Sub-Total (R\$)
Manutenção do Sistema de alerta de emergência	R\$65.000,00	120 meses	7.800.000,00

Fonte: Próprio Autor.

Em relação ao custo com a manutenção nos sistemas de alerta ressalta-se que foi previsto um custo mensal com empresa especializada, atribuindo-se como período a vida útil de até 120 meses (10 anos), que segundo empresas do setor é um período praticado e razoável para a posterior substituição por tecnologias mais recentes. Ainda é bom lembrar que o serviço inclui o fornecimento de mão de obra qualificada, recursos, ferramentas, veículos, combustível e demais itens necessários para manutenção preventiva e, caso necessário a

corretiva do sistema, e testes operacionais. Incluem-se também melhorias, adequações e correções.

Ainda, ressalta-se que os valores estimados com o custo da manutenção tomaram com base os seguintes critérios:

- a) As frentes de trabalho deverão contar com no mínimo 02 (dois) funcionários;
- b) Periodicidade de manutenção preventiva de cada unidade de sinalização sonora, visual e da central de operações realizada a cada 60 dias;
- c) O escopo de manutenção envolve todos os itens necessários para atender as especificações técnicas;
- d) Regime de trabalho da equipe em horário administrativo em Parauapebas compreendendo 44 horas semanais e
- e) Suporte de deslocamento com veículo modelo 4x4 para locomoção à locais de difícil acesso, atendendo às diretrizes de segurança da legislação vigente, assim como, escada elástica de eletricitista para ser utilizada na manutenção e o fornecimento de telefone celular para ser utilizado nas atividades.

Tabela 22 - Planilha do custo total para a instalação do sistema no ZSS.

Descrição	Sub- Total (R\$)
Aquisição dos Materiais e Equipamentos	1.447.136,19
Instalações dos Equipamentos	231.088,06
Manutenção do sistema	7.800.000,00
INVESTIMENTO POR SISTEMA	1.895.644,85
INVESTIMENTO TOTAL	9.478.224,25

Fonte: Próprio Autor.

Na composição do orçamento é de se observar os custos estimados para a manutenção do sistema de alerta, parecem ser muito elevados, quando comparado com a aquisição dos materiais/componentes e implantação do sistema. No entanto, quando se examina o que está embutido neste valor torna-se aceitável. A manutenção envolve os veículos de apoio às atividades da manutenção, instrumentação de controle, dado um período de manutenção corresponde a 120 meses (10 anos), além de que a mão de obra a ser utilizada é composta por profissionais especialistas neste tipo de tecnologia.

Complementa-se que para equipamentos com alta tecnologia, a manutenção é distinta e requer alta responsabilidade; se faz necessário um tratamento diferenciado da manutenção

dos equipamentos, exigindo a utilização de tecnologias que possibilitem avanços contínuos e a impossibilidade de quebra (TESTATO, 2017).

O investimento apresentado para instalação dos sistemas de alerta na ZSS, em comparação com investimentos já realizados por proprietários de barragens no Brasil pode ser praticado, uma vez que investimentos de maior vulto já foram realizados por empreendedores em demandas correlatas, a exemplo da VALE (2017) que investiu US\$ 56 milhões em serviços de manutenção, monitoramento, obras de melhoria, auditorias, análises de riscos, revisões dos PAEBM e implantação de sistemas de alerta. Ainda, a mesma empresa realizou investimento de US\$ 102 milhões em atividades voltadas para gestão de barragens, inclusive, as instalações de dispositivos de alerta de emergência (VALE, 2019).

Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), também realizou investimentos de valor significativo em sistemas de alerta de emergência na Cidade de Alumínio (SP), estes chegam ao valor de R\$ 12 milhões de reais. Segundo a CBA, as sirenes serão colocadas no entorno da barragem de Palmital o que gerará um alerta sonoro em caso de emergência para aproximadamente cinco mil moradores (CBA, 2019).

A NEXA Mineração investiu na tecnologia da segurança por meio de sistemas de alerta e realizou um investimento de R\$ 4,2 milhões de reais apenas na aquisição dos instrumentos, estes são para cobertura sonora das barragens de Pedra e dos Peixes na região de Juiz de Fora (MG) (NEXA, 2019).

Tendo em vista que, conforme DNPM (2019) os recursos da CFEM podem ser aplicados em projetos que tragam benefícios à comunidade local, seja em melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde ou educação, é plausível sugerir a instalação do sistema na ZSS por parte do ente municipal, ou por meio de parceria entre a empresa Vale e o município.

Por outro lado, a instalação do sistema na ZSS possibilitaria vários benefícios diretos e indiretos à comunidade local, destacando-se:

- a) Redução de impactos socioambientais a comunidades que residem em áreas de risco na ZSS, em caso de possível rompimento da barragem estudo de caso;
- b) não pagamento de indenizações milionárias por parte do empreendedor em caso de rompimento da barragem (ajudas emergenciais, acordos trabalhistas e individuais, atendimentos médicos e psicossociais e repasses a órgãos públicos);

- c) Agilidade quanto à comunicação do acidente e indicação de rotas de fuga, resultando em menor número de vítimas.
- d) Agilidade na remoção de animais dos locais que fazem parte da área de risco;

É válido ressaltar que investimento na implementação de um sistema na ZSS é pertinente, haja vista que até aquelas barragens ditas “seguras” já sofreram colapsos, quando se relembra dos casos envolvendo barragens que estavam inseridas na PNSB), como é o caso da barragem de Mineração localizada em Nossa Senhora do Livramento (MT) à 42 km de Cuiabá, que estava classificada com DPA Baixo e CR Baixo e que de acordo com a ANM os extratos de inspeção regulares enviados nunca reportaram qualquer anomalia e que também haviam documentações de condições de instabilidade assinadas por responsável técnico habilitado pelo CREA e pelo proprietário da empresa.

Outros exemplos a serem citados, a barragem de rejeitos de extração de areia que se rompeu em Jacareí (SP), a qual mesmo desativada se rompeu, afetando a vida de 500 mil pessoas. E o caso mais recente de barragem desativada, a barragem do Córrego do Feijão em Brumadinho-MG que, segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), desde 2014 estava fora de operação, contudo, em janeiro de 2019 rompeu.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A proposta de instalação de sistemas de alertas de emergência em ZSS da barragem do Gelado apresenta importância significativa no que concerne à segurança das pessoas que residem em locais fora da ZAS, uma vez que existe a necessidade da comunicação de forma antecipada a todos que estão inseridos no mapeamento de inundação, para assim minimizar os impactos advindos de um possível *dam break*.

A ZAS da barragem é caracterizada por uma Área de Proteção Ambiental (APA) onde residem aproximadamente 120 famílias. Esta zona é assistida por sistemas de alerta de emergência que foi instalada pelo empreendedor, responsável pela barragem do Gelado, em 2017. Não obstante, a ZSS apresenta em sua área aproximadamente 1.235 residências com 4.035 habitantes, também estão incluídos neste local escolas, igrejas, restaurantes e avenidas de acesso à cidade.

Na proposta do projeto para a ZSS foi verificado que um sistema de alerta de emergência composto por cinco torres seria adequado para a cobertura da área da mancha de inundação. Para tanto, considerou-se que cada torre apresentasse uma área de proteção sonora de aproximadamente, 2 km de raio e volume sonoro mínimo de 70 dB. A locação das torres foi definida por meio de critérios técnicos visando a garantia do bom funcionamento sonoro para o momento de uma emergência.

O orçamento total para a instalação do sistema de alerta na ZSS da barragem do Gelado foi estimado em R\$1.678.224,13, sendo R\$231.088,06 referente ao custo necessário para a instalação e R\$7.800.000,00 necessário para os procedimentos de manutenção preventiva e corretiva durante um período de 120 meses.

Tendo em vista que municípios com atividade minerária são beneficiados (segundo a Lei nº 8.001/90) com recursos provenientes dos *royalties* da mineração (CFEM), verificou-se a possibilidade do ente municipal de executar o projeto do sistema de alerta na ZSS da barragem do Gelado, concluindo-se que é possível que a Prefeitura de Parauapebas, em primeira análise, absorva o referido custo, uma vez que os recursos provenientes da CFEM dentre os anos 2009 e 2019 indicaram capacidade financeira.

Em detalhes, a série histórica de receitas do CFEM por parte do município apontou o menor recurso igual a R\$165.744.836,88 (2009) e o maior valor de R\$1.156.138.115,88 (2019). Anualmente, nos últimos 11 anos (2009 a 2019) recebeu uma verba de

R\$457.813.870,35 (recurso que representaria um percentual de 0,37% dos custos de implantação). Em segunda análise, pode-se considerar a possibilidade dos custos serem arcados através de parceria entre Prefeitura de Parauapebas e o empreendedor responsável pela barragem do Gelado.

Considerando a importância do tema para estudos na área de gestão de segurança de barragens, indicam-se as seguintes propostas para trabalhos futuros:

- ✓ Estudos para a otimização da locação das torres de alerta de emergência em zonas de segurança da barragem a partir de modelagem matemática.
- ✓ Atualização do documento PLANCON de Parauapebas considerando o mapeamento da ZSS da Barragem do Gelado.
- ✓ Estudos de impacto ambiental nas áreas passíveis de atingimento pela mancha de inundação nas ZAS e ZSS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2012**. Brasília, DF. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2017**. Brasília, DF. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Nota informativa nº15/18. CONFINS/SFI, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Consulta Pública da Minuta da Resolução nº 1279983**, Brasília, 2017.

AGUIAR, D.O.A. **Contribuição ao Estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas, 2014.

ANON, 2002. Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development, Available at: <https://www.iied.org/mmsd-final-report>.

ALCÂNTARA, P.A.F; SAMPAIO, R.S.R. **O rompimento da barragem de Fundão: Um desastre Tecnológico**. Artigo, 2016.

BRASIL. Projeto de Lei Nº 1.181, de 03 de junho de 2003. **Estabelece diretrizes para a verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais**. Brasília. 2003.

BRASIL. Projeto de Lei Nº 436, de 14 de março de 2007. **Torna obrigatória a contratação de seguro contra o rompimento de barragens**. Brasília. 2007.

BRASIL, **Lei 12.334/2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens**. Congresso Nacional, Brasil: setembro de 2010.

BRASIL, **Lei 12.608/2012: Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Congresso Nacional, Brasília, 2012.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Elaboração de Plano de Contingência**. Brasília, 2017.

BRASIL, **Resolução ANM que trata do plano de emergência de barragens**. Brasil: agosto de 2019.

BRASIL. *Lei nº 8.001/1990 de 13 de março de 1990*. Define os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e dá outras providências. Brasília: DOU: 14/03/1990.

BENOIST, G. **Les études d' ondes de submersion des grands barrages d' EDF**. La Houille Blanche, nº 1, 1989, p 43-54

BRASIL, **Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: 2. Ed., julho de 2002.

BRASIL, **Congresso Nacional. Projeto de Lei nº 1181 de julho de 2003. Estabelece a política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e cria o Conselho Nacional de Segurança de Barragens – CNSB e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens SNISB**. Brasília, DF, julho 2003.

BRASIL, **Relatório de Segurança de Barragens (RSB)**. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, 2018.

BARRERA, M. A. C.; LARSEN, P. T. Two dimensional modelling of dam breach flooding. **In: INTERNACIONAL MIKE BY DHI CONFERENCE**. Copenhagen, 2010.

BRITTO, R.M. **Sistemas de alerta existentes no Rio de Janeiro**. (ARTIGO) – PUC RIO, Rio de Janeiro, 2014.

BIEDERMANN, R. (1997). **Safety Concept for Dams: Development of the Swiss concept since 1980**. Wasser, Energie, Luft, 89: 55-72.

BALBI, D. A. F., BARBOSA, L, R. A., SILVA, E. Do S. **Plano de ações emergenciais para barragens das PCH da CEMIG GT**. Comitê Brasileiro de Barragens. VIII Simpósio sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Porto Alegre – RS. 01 a 04 de maio. T31-A02. 2012.

CARDOZO, F.A.C; PIMENTA, M.M; ZINGANO; A. C. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – Uma revisão**. Artigo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

CARTER, W. Nick. **Disaster Management: A Disaster Manager's Handbook**. Mandaluyong City, Phil; Asian Development Bank, 2008, 416 p.

CESTARI JR., E. **Estudo de propagação de ondas em planície de inundação para elaboração de plano de ação emergencial de barragens - UHE Três irmãos estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. 224 p.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS CIGB; **Lessons from Dam Incidents**. Paris, 1974.

COLLE, G. A. **Metodologias de Análise de Risco para Classificação de Barragens Segundo a Segurança**. 2008. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

CARMO, R. L.; ANAZAWA, T. M; BONATTI, T. F. **Mariana 2015: reflexões sobre um desastre**. *Revista Jurídica Consulex*. São Paulo, n. 455. 2016.

Dams Sector Crisis Management Handbook. **A guide for owners and operators**. Estados Unidos, 2008.

DEFESA CIVIL/VALE. Monitoramento de Riscos e Controle de Incidentes (Mapas). Parauapebas, 2019.

DE MOEL, H. *et al.* Flood risk assess at different spatial scales. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, p. 865-890, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Plano de Segurança de Barragens de Mineração**. (ANA), 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Plano de Segurança de Barragens de Mineração**. (ANA), 2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes. **DNIT 076/2006 – ES. Tratamento ambiental acústico das áreas lindeiras da faixa de domínio – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2016.

DITLEF, A. **Análise da viabilidade técnica e econômica do uso de minerador contínuo de superfície em uma mina de minério e ferro**. (DISSERTAÇÃO) mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2016.

DUARTE, A.P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. (DISSERTAÇÃO) mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

ESTEVES, D.P. **Estudo da propagação e inundação da onda de cheia proveniente do rompimento hipotético de uma barragem**. (DISSERTAÇÃO) Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

ESDHC – Escola Superior Dom Helder Câmara. **O rompimento de Barragens no Brasil e no Mundo: Desastres mistos ou tecnológicos?** 2015.

<Disponível em :www.domhelder.edu.br/uploads/artigo_HRA.pdf> Acesso em: 03 mar 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Reference documento on best available Techniques for management on tailings and waste-rock in mining activities**. Espanha, July 2004. European IPPC Bureau. Disponível em: <http://www.wis Uranium.org/mdiss.html>. Acesso em janeiro/2020.

FREITAS, C.M; SILVA, M.A. **Acidentes de trabalho que se tornam desastres: Os casos de rompimentos em barragens de mineração no Brasil**. Artigo (CNPq), 2019.

FOSTER, M., SPANNAGLE, M., (1998). **Reporto n the Analysis of Embankment Dam Incidents**. The University of South Wales, pp 35.

FEDERAL GUIDELINES FOR DAM SAFETY. **Emergency Action planning for dam Owners**, 2004.

FRANCO, C.S.S.P.A. **Segurança de Barragens: Aspectos Regulatórios**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

FERNANDES, G.W. et al., 2016. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, 4, pp. 35-45. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1679007316301104>.

Furumoto, A, Tatehata, H.; MORIOKA. C. **Japanese Tsunami Warning System**. Science of Tsunami Hazards. 1999.

GOMES, R.L; HORA, S.B. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA** – Artigo (Universidade Federal da Bahia, Ilhéus/BA, 2009.

ICOLD – Internacional Commission on Large Dams. **Dam Safety** (Guidelines), Bulletin 59. 1997.

IBRAM. **Após receber e debater argumentações do IBRAM, deputados aprovam PL 550**. Disponível em: <http://portaldamineracao.com.br/ibram/apos-receber-e-debater-argumentacoes-do-ibram-deputados-aprovam-pl-550/> Acesso em: 12.06.2020.

INSTITUTO MINERE. **Elaboração de planos de contingência para barragens**. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/elaboracao-de-planos-de-contingencia-para-barragens/> Acesso em: 16 de julho de 2019.

IFRC. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. *What is a disaster?* 2012. Disponível em: <http://www.ifrc.org/en/what-wedo/disastermanagement/about-disasters/what-is-a-disaster/>.

JUNIOR, E.C. **Estudo de Propagação de Ondas em Planície de Inundação para Elaboração de Plano de Ação Emergencial de Barragens – UHE Três Irmãos Estudo de Caso**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Três Irmãos, 2013.

LAURIANO, A.W. **Estudo de Ruptura de Barragem de Funil: Comparação entre os Modelos FLDWAV e HEC-RAS**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Lindsay Newland Bowker. (2015) Samarco Dam Failure Largest By Far in Recorded History. Retrieved August 21, 2019, from <https://lindsaynewlandbpwker.wordpress.com/2015/12/12/samarco-dam-failure-largest-by-far-in-recorded-history/>

Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Ministério da integração Nacional, 2002. 148p.

Mainali, G. **Monitoring of Tailings Dams With Geophysical Methods**. (Thesis) – Division of ore geology and applied geophysics – Lulea University of Technology, 2006.

MACHADO, W.G.F. **Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MORELLATO, Valeria R. Revelando Paisagens: **Planos Verdes para Minimização de Impactos na Paisagem de São Francisco do Sul, Santa Catarina**. Curitiba (PR): Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2010.

MENDES, B, C; MACIEL, J, L; LIMA, F, P; LIMA, P, M, O: **Sistema de alerta em caso de rompimento de barragem de rejeito de minério**. Seminário de Iniciação Científica, IFMG, 2019.

MEDEIROS, C. H. de A. C, and MEDEIROS, Y. D. P. **A Structural Framework For Dam safety Plan According To Brazilian National Law On Dam Safety CIGB-ICOLD 2012 Kyoto**. International Symposium On Dams For A Changing World, Kyoto, Japan, June 5, page 5-31 / 5-36. 2012.

NETO, M. C; **Aspectos jurídicos das atividades da defesa civil**. Artigo, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2007.

NORONHA, G.C; SILVA, P.V.R.M; JUNIOR, R.A.F.C. **Flood Mapping and risk assessment of the Paraíba river basin, Alagoas, Brazil: Case Study**. Artigo – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA. **O TEMPO: Minas já sofreu com outros rompimentos de barragens**, c2015. Página inicial. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/minas-ja-sofreu-com-outros-rompimentos-de-barragens-1.1159501>.

PAIVA, J.; BARBOSA, H. **Efeitos do rompimento da barragem de Camará na área urbana do Município de Alagoa Grande-PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

PAIVA, J.L; A geografia da violência no município minerário de Parauapebas no período de 2007 a 2015. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Federal do Pará, 2016.

PEREIRA, D; **Histórias de vidas interrompidas pelo mar de lama: Desastre de Mariana (MG)**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 2018.

PLANO DE MANEJO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO IGARAPÉ GELADO, Brasil, 2017.

Presentation at the *International Symposium on Disaster Preparedness of Persons with Disabilities; the Role of Information and Communication Technologies*, 24-25 January 2005, Yokohama, Japan.

PINHEIRO, T.M.M. **Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 2016.

RICO, M., Benito, G., Salgueiro, A.R., et al., 2008. Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), pp.846-852.

RESNER, D. **Performance Evaluation of the Trustful Space-Time Protocol**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SANMARTIN, J. F. **Review article: Climate change impacts on dam safety**. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Valencia, Spain, 2018.

SAMPAIO, V.N.S. **Segurança de Barragens de Terra: Um Relato da Experiência no Piauí**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SAMPAIO, J. A. L. **The deficiencies of the emergency action planning for dams in Brazil**. *Revista Brasileira de Direito*. Vol. 12 (2): 7-17, 2016.

SANTOS, M. B. **Análise Computacional do Rompimento Hipotético da Barragem de Tucuruí-PA com o auxílio do Software Mike Flood**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, 2017.

SUPER INTERESSANTE. **Barragem de ST Francis**. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/barragem-de-st-francis/> Acesso em: 05.02.2020.

SARLAS, T.L.B. **Elaboração de manchas de inundação para o município de Santa Rita do Sapucaí/MG utilizando SIG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

SILVA, C.V.P. **Lama, Luta e Luto: A Vivência dos Atingidos pelo Desastre da Samarco e a Organização Popular no Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) como Estratégia de Enfrentamento**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação do Departamento de Psicologia Social), São Paulo, 2017.

SILVA, T.C. **Mapeamento das Manchas de Inundação Para a Cidade de Maias Barbosa – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária), Juiz de Fora, 2016.

SILVA, T.G.S. **Barragens Hidrelétricas e Desastres: Uma Avaliação de Metodologias de Gestão de Risco Ambiental**. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica de Brasília, 2002.

SINGH, V. P.; SCARLATOS, P. D. **Analysis of Gradual Earth-Dam Failure**. *Journal of Hydraulic Engineering*, V.114, n.1, Jan. 1988, pp. 21-42.

SINGH, V. P. **Dam Breach Modeling Technology**. Kluwer Academic Publishers. Louisiana, 1996, 242 p.

SINGH, V.P. **Dam Breach Modeling Technology**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1996. 256 p.

SUN, E.; ZHANG, X.; LI, Z. **The internet of things (IOT) and cloud computing (CC) based tailings dam monitoring and pre-alarm system in mines**. Safety Science. v. 50, p. 811-815. 2012.

SULLIVAN, H.T.; HAKKINEN, M.T. **Disaster Preparedness for Vulnerable Populations: Determining Effective Strategies for Communicating Risk, Warning, and Response**.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Apelação Criminal nº 1.0188.01.002864-8/001, 1 dez. 2008. Disponível em: <http://tj-mg.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/5970101/101880100286480011-mg-1018801002864-8-001-1/inteiro-teor-12106389>. Acesso em: 04 de junho de 2019.

TIMBÓ, R.D.R. **Aplicação da lei de segurança de barragem – Estudo de Caso da Barragem Cigana 01, Amajari – RORAIMA**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Roraima, 2018.

TEIXEIRA, L.A.C. **Caracterização de Payloads Via Telemetria**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018

TANUS, H.M. **Importância da inspeção na prevenção de falhas em barragens: Estudo de Caso**. (Trabalho de Conclusão de Curso) Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **An assessment of potential mining impacts on salmon ecosystems of Bristol Bay, Alaska – Tailings Dam Failure**. Seattle. Jan. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **An assessment of potential mining impacts on salmon ecosystems of Bristol Bay, Alaska – Tailings Dam Failure**. Seattle. Jan. 2014.

UNISDR. UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK. Platform for the Promotion of Early Warning, 2006. Disponível em: <http://www.unisdr.org/2006/ppew/whats-ew/basics-ew.htm>. Acesso em: 22 de julho de 2019.

VIOLA, Z. G. G. *Comissão Estadual P2R2 Minas. Condução dos Trabalhos, Lançamento do Mapa de Acidentes Ambientais 2012 e Balanço dos 10 anos do NEA*. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sistema. Diretoria de Prevenção e Emergência Ambiental, 29 nov. 2013. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/375888/>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

WISEU, T.; ALMEIDA, A. B. **Plano de Emergência Interno de Barragens**. In: CONGRESSO DA ÁGUA, Lisboa, 2006.

VALERIUS, M; B. **Cadastro e análise do potencial de risco das barragens de rejeitos de mineração do Estado de Goiás.** Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 2014.

WISEU, T.; ALMEIDA, A. B. **Typical flow diagram of a fully automated data acquisition, notification and warning system,** WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 36, 2009.

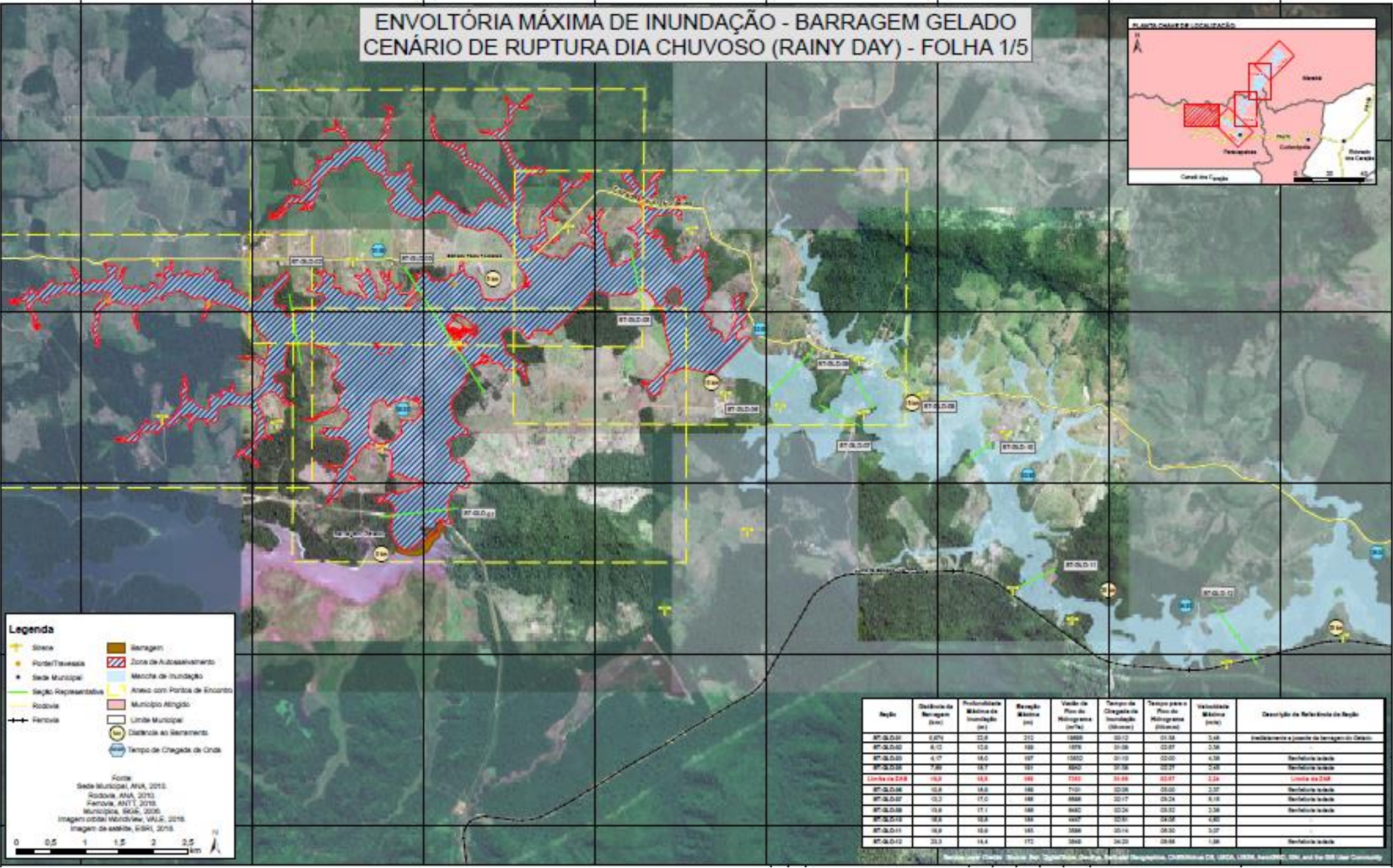
ZHANG, L. M.; XU, Y. *Analysis of Earth Dam Failures – A database approach.* In; First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk. Shanghai. China. 2007.

ZHOURI, Andrea.: Et. al. **O desastre da SAMARCO e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social.** N: Revista Ciência e Cultura da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Vol.68, nº3, São Paulo, jul. / set. 2016.

ZUFFO, M.S.R. **Metodologia de Avaliação para Controle de Barragens.** (DISSERTAÇÃO) Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

APÊNDICE A
MAPAS DE INUNDAÇÃO DA BARRAGEM DO GELADO

ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - BARRAGEM GELADO CENÁRIO DE RUPTURA DIA CHUVOSO (RAINY DAY) - FOLHA 1/5



Legenda

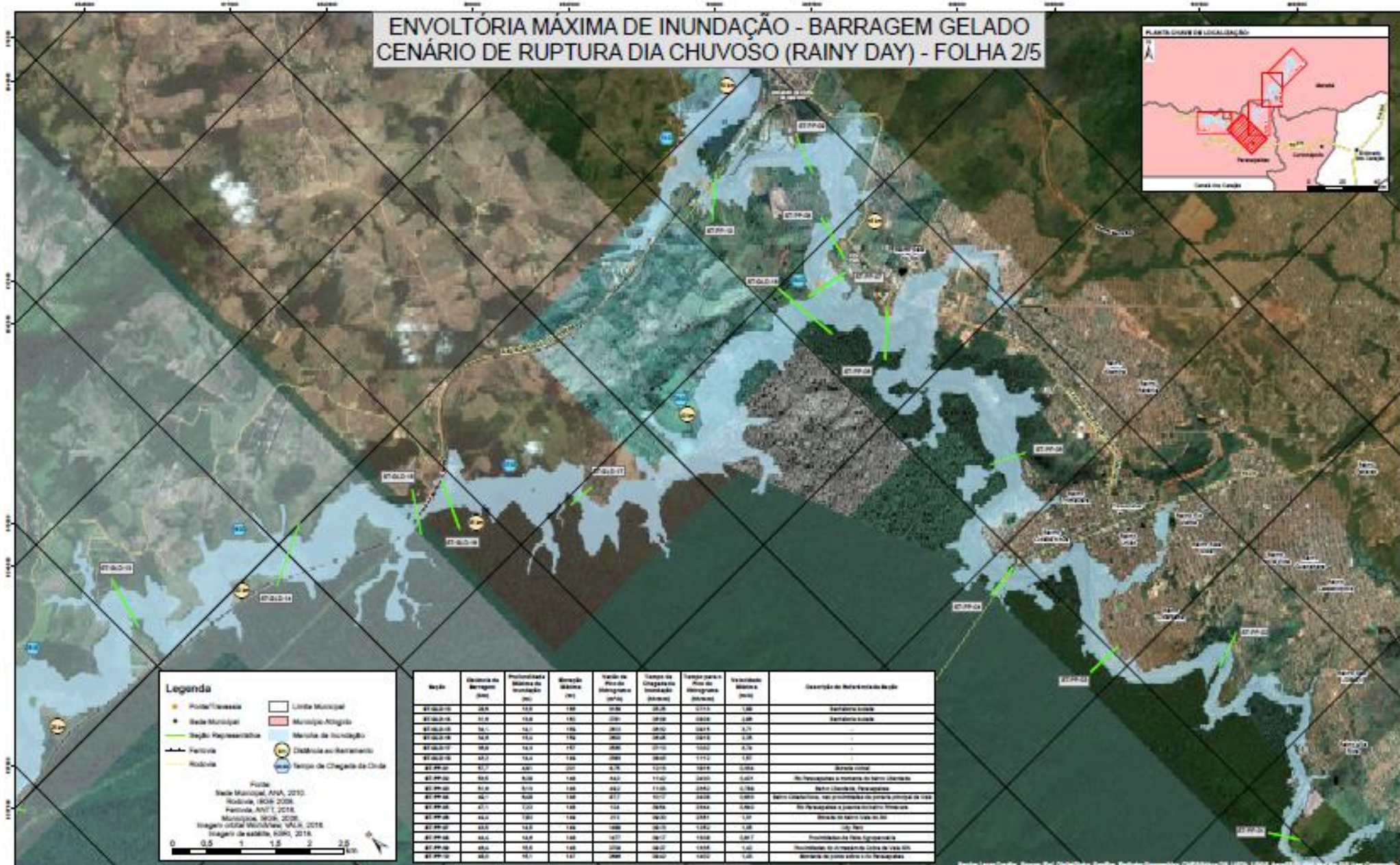
- ★ Sede
- ◆ Ponte/Travessia
- Sede Municipal
- Seção Representativa
- Rodovia
- Ferrovias
- Barragem
- ▨ Zona de Autossustentamento
- ▨ Mancha de Inundação
- ▨ Anexo com Ponta de Encontro
- ▨ Município Alagado
- ▭ Limite Municipal
- ⊙ Distância ao Barramento
- ⊙ Tempo de Chegada de Onda

Fonte:
Sede Municipal, ANA, 2010.
Rodovia, ANA, 2010.
Ferrovias, ANTT, 2010.
Municípios, IBGE, 2000.
Imagem orbital, InSAR, VALS, 2010.
Imagem de satélite, INPE, 2010.

0 0,5 1 1,5 2 2,5 km

Região	Distância da Barragem (m)	Profundidade Máxima de Inundação (m)	Área Alagada (m²)	Vazão de Pico de Inundação (m³/s)	Tempo de Chegada de Inundação (minutos)	Tempo para o Pico de Inundação (minutos)	Velocidade Máxima (m/s)	Descrição de Referência da Região
BT-02-D-01	6,874	22,6	212	18889	02:12	01:34	3,48	Implantação e jusante de Barragem do Dique
BT-02-D-02	8,12	12,8	188	1878	01:58	02:07	2,58	
BT-02-D-03	4,17	18,5	197	10520	01:10	02:00	4,58	Barragem Isabela
BT-02-D-04	7,80	18,7	191	8920	01:58	02:21	2,68	Barragem Isabela
Limite da DAB	18,0	18,0	180	7100	01:48	02:07	2,24	Limite da DAB
BT-02-D-05	12,8	18,0	188	7100	02:08	02:00	2,07	Barragem Isabela
BT-02-D-07	12,2	17,0	188	8888	02:17	02:24	8,18	Barragem Isabela
BT-02-D-08	12,8	17,1	188	8882	02:26	02:32	2,58	Barragem Isabela
BT-02-D-10	18,0	18,0	184	6667	02:01	04:08	4,80	
BT-02-D-11	18,0	18,0	183	5888	02:14	08:30	3,07	
BT-02-D-12	23,2	14,4	172	3888	04:20	08:58	1,38	Barragem Isabela

ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - BARRAGEM GELADO
 CENÁRIO DE RUPTURA DIA CHUVOSO (RAINY DAY) - FOLHA 2/5



Legenda

- Ponte/Passagem
- Sede Municipal
- Região Representativa
- Favela
- Rodovia
- Limite Municipal
- Município Atendida
- Município de Inundação
- Estação de Tratamento
- Pontos de Chegada da Cidade

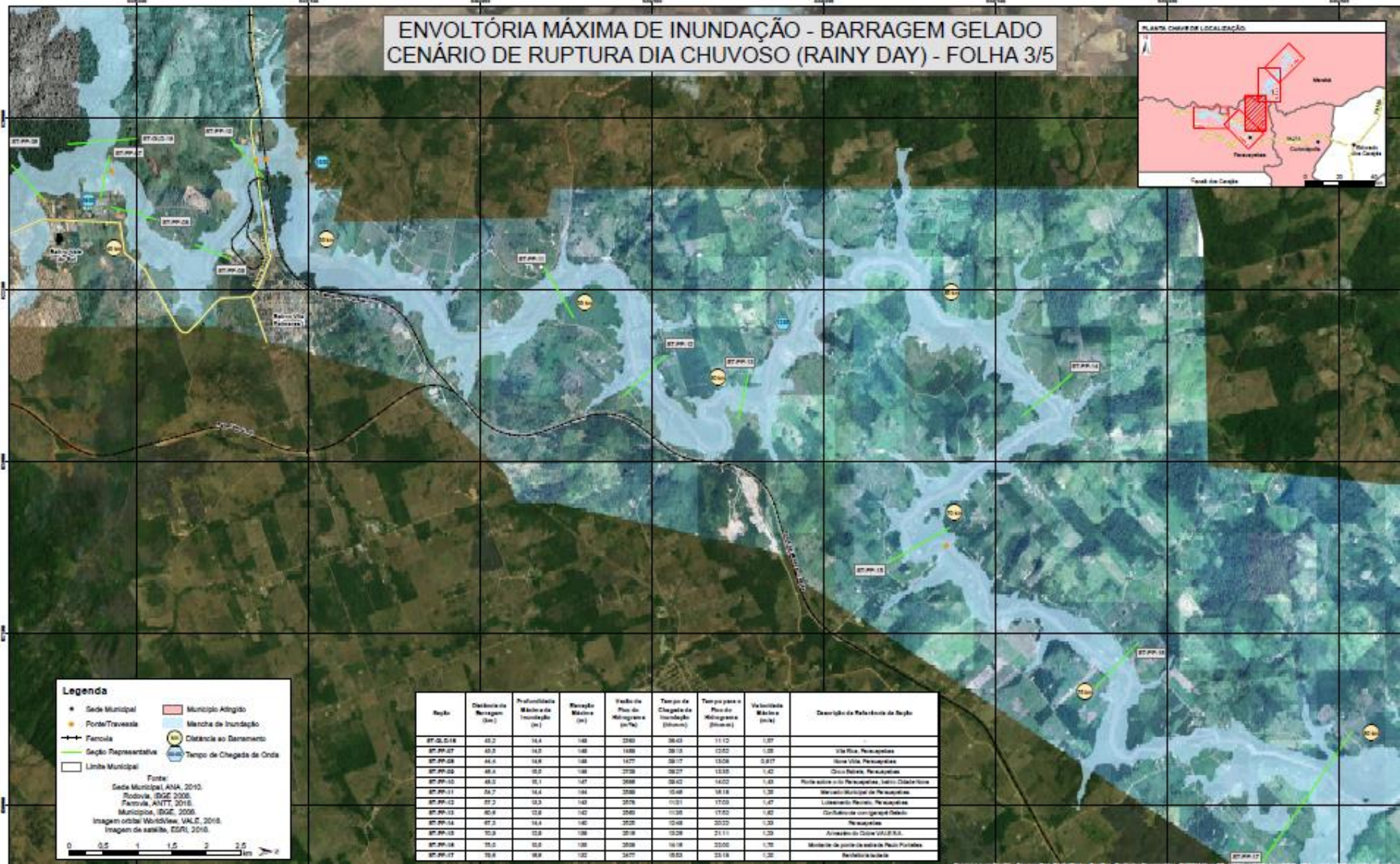
Fonte:
 Sede Municipal, ANA, 2010.
 Rodovia, IBGE, 2008.
 Favela, ANTT, 2018.
 Município, IBGE, 2018.
 Imagem Satélite, Google Earth, 2018.
 Imagem de satélite, IBGE, 2018.

0 0,5 1 1,5 2 2,5 km

Setor	Distância da Barragem (km)	Perímetro da Área de Inundação (km)	Área da Área (km²)	População da Área (hab)	Tempo de Chegada da Inundação (min)	Tempo para a Área de Inundação (min)	População da Área (hab)	Descrição da Realidade do Setor
SETOR 01	28,8	12,0	180	2400	28,25	211,5	1200	Barreira física
SETOR 02	31,8	12,0	180	2200	29,50	220,0	1200	Barreira física
SETOR 03	34,8	12,0	180	2000	30,75	228,5	1200	-
SETOR 04	37,8	12,0	180	1800	32,00	237,0	1200	-
SETOR 05	40,8	12,0	180	1600	33,25	245,5	1200	-
SETOR 06	43,8	12,0	180	1400	34,50	254,0	1200	-
SETOR 07	46,8	12,0	180	1200	35,75	262,5	1200	-
SETOR 08	49,8	12,0	180	1000	37,00	271,0	1200	-
SETOR 09	52,8	12,0	180	800	38,25	279,5	1200	-
SETOR 10	55,8	12,0	180	600	39,50	288,0	1200	-
SETOR 11	58,8	12,0	180	400	40,75	296,5	1200	-
SETOR 12	61,8	12,0	180	200	42,00	305,0	1200	-

Fonte: Legar Geógrafos, Sistema Ter. Digitalizado, Curitiba, Prefeitura Municipal, COPEM/ANAC, UNICAMP, Associação de Municípios do Rio Preto

ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - BARRAGEM GELADO CENÁRIO DE RUPTURA DIA CHUVOSO (RAINY DAY) - FOLHA 3/5



Legenda

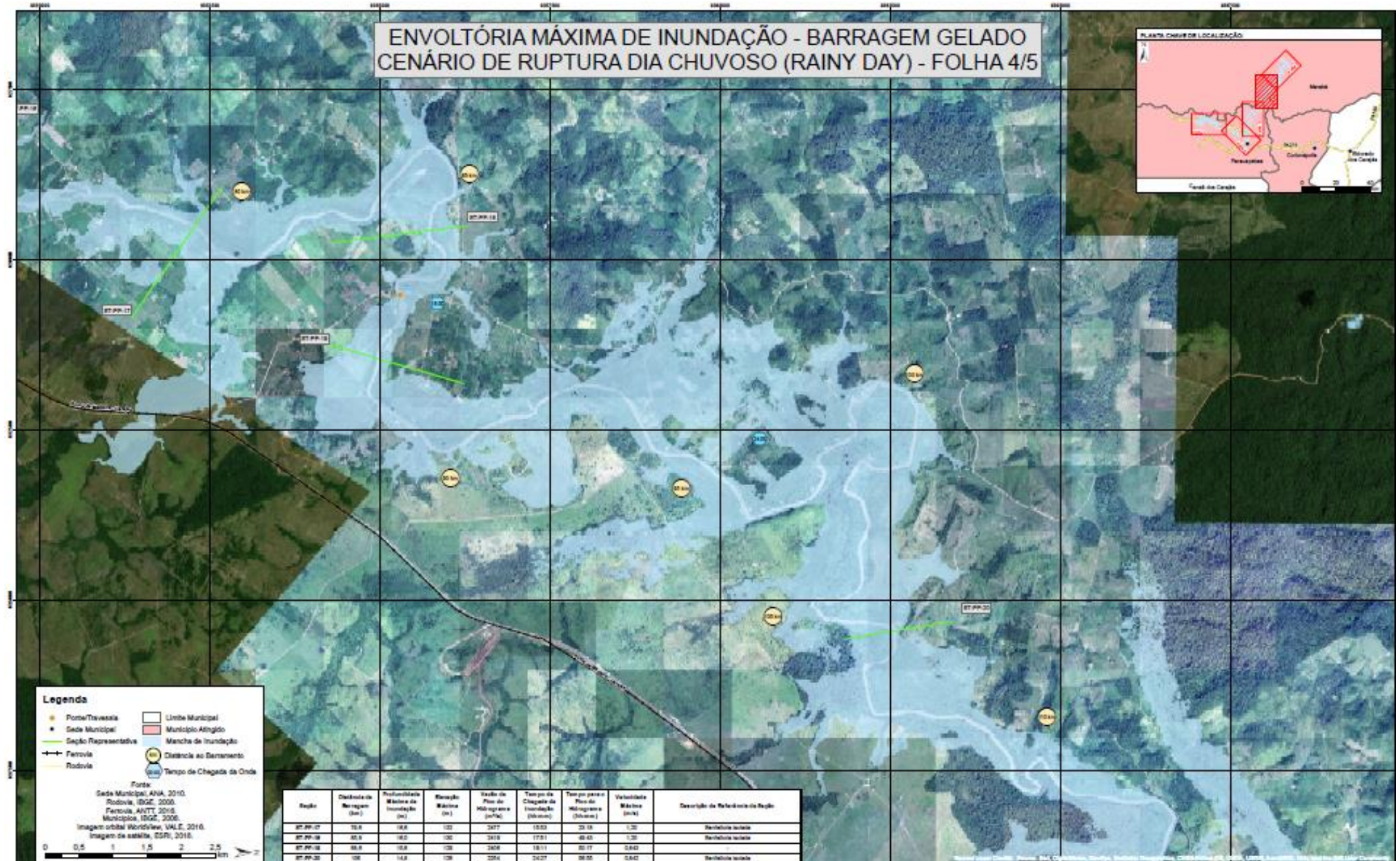
- Sede Municipal
- Município Alagado
- Ponte/Travessia
- Mancha de Inundação
- Favela
- Distância ao Barramento
- Seção Representativa
- Tempo de Chegada da Onda
- Limite Municipal

Fonte:
 Sede Municipal, ANA, 2010.
 Rodovia, DGC, 2006.
 Favela, ANTT, 2016.
 Município, DGC, 2006.
 Imagem orbital WorldView, VALE, 2016.
 Imagem de satélite, ESRI, 2016.

0 0,5 1 1,5 2 2,5 km

Região	Distância da Barragem (m)	Profundidade Máxima da Inundação (m)	Extensão Máxima (m)	Área do Pico do Alagamento (m²)	Tempo de Chegada da Inundação (minutos)	Tempo para o Pico do Alagamento (minutos)	Velocidade Máxima (m/s)	Descrição da Referência da Região
ST-PP-01	43,2	14,4	148	2280	38,63	11,12	1,87	
ST-PP-02	43,2	14,2	148	1888	38,13	12,62	1,28	Via Rio, Peruaçu/Paraná
ST-PP-03	44,2	14,8	148	1477	38,17	13,26	2,817	Serra Vista, Peruaçu/Paraná
ST-PP-04	48,0	16,0	148	2728	38,27	13,35	1,42	Chuva Verde, Peruaçu/Paraná
ST-PP-05	48,0	15,1	147	2468	38,42	14,22	1,43	Rota turística do Peruaçu/Paraná: Cidades Vivas
ST-PP-06	52,7	16,4	144	2028	38,48	16,18	1,20	Wanderlândia/Paraná do Peruaçu/Paraná
ST-PP-07	57,2	15,3	142	2078	38,51	17,03	1,47	Luzimburgo/Paraná do Peruaçu/Paraná
ST-PP-08	62,9	12,8	142	2040	38,58	17,82	1,82	Distrito de São José do Rio Preto/Paraná do Peruaçu/Paraná
ST-PP-09	67,3	14,4	142	2028	38,68	20,22	1,33	Peruaçu/Paraná
ST-PP-10	70,9	12,8	138	2018	38,78	21,11	1,33	Arvoredo do Oeste/VALE S.A.
ST-PP-11	75,0	12,0	138	2028	38,88	22,02	1,70	Município de Ponta de Pedras/Paraná do Peruaçu/Paraná
ST-PP-12	79,6	10,8	132	2477	38,93	23,18	1,32	Reserva Biológica

ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - BARRAGEM GELADO CENÁRIO DE RUPTURA DIA CHUVOSO (RAINY DAY) - FOLHA 4/5



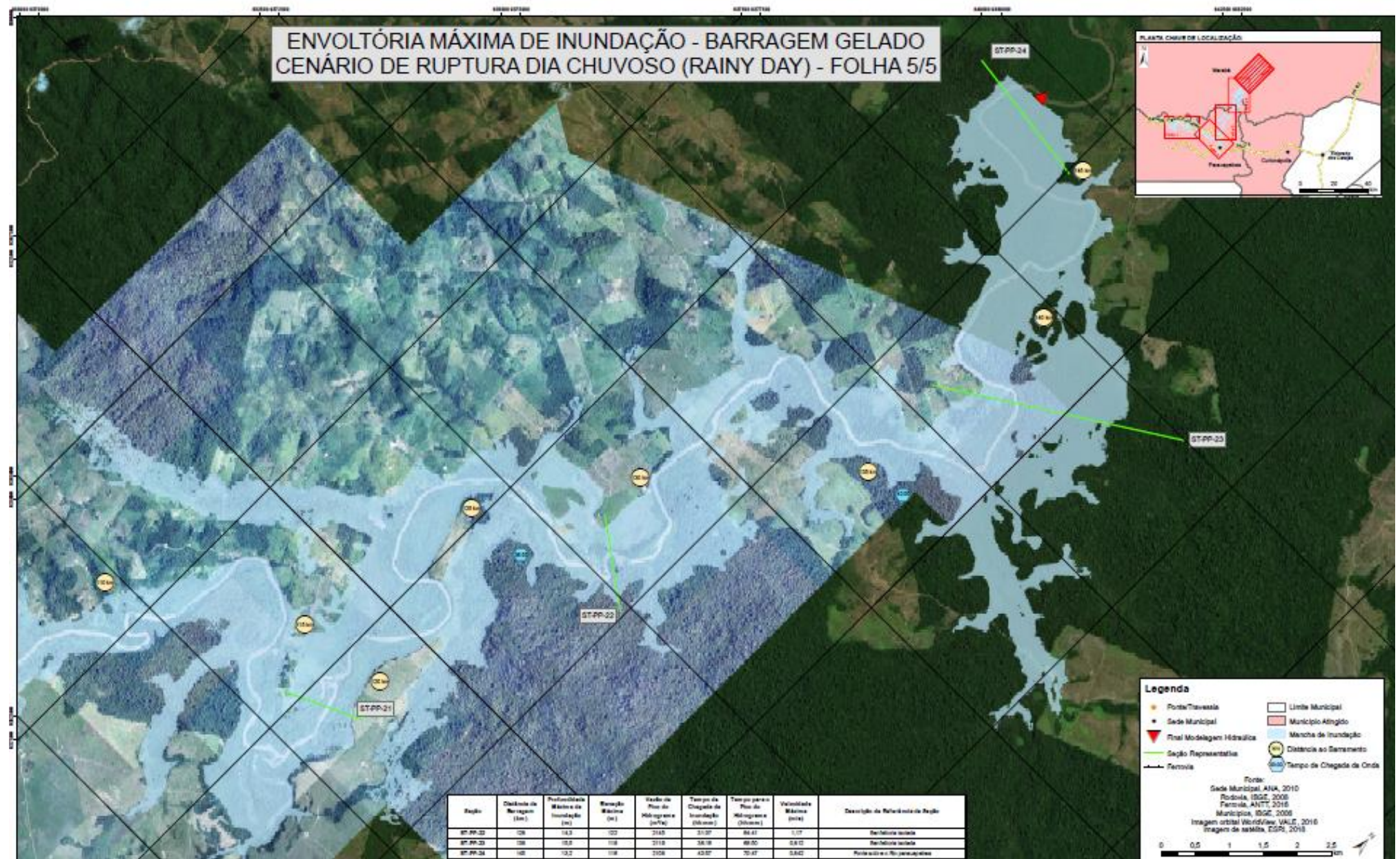
Legenda

- Ponte/Travessia
- Sede Municipal
- Seção Representativa
- Ferrovia
- Rodovia
- Limite Municipal
- Município Afogado
- Mancha de Inundação
- ⊙ Distância ao Saramento
- ⊙ Tempo de Chegada da Onda

Fonte:
 Sede Municipal, ANA, 2010.
 Rodovia, IBGE, 2000.
 Ferrovia, ANTT, 2016.
 Município, IBGE, 2006.
 Imagem orbital WorldView, VALE, 2016.

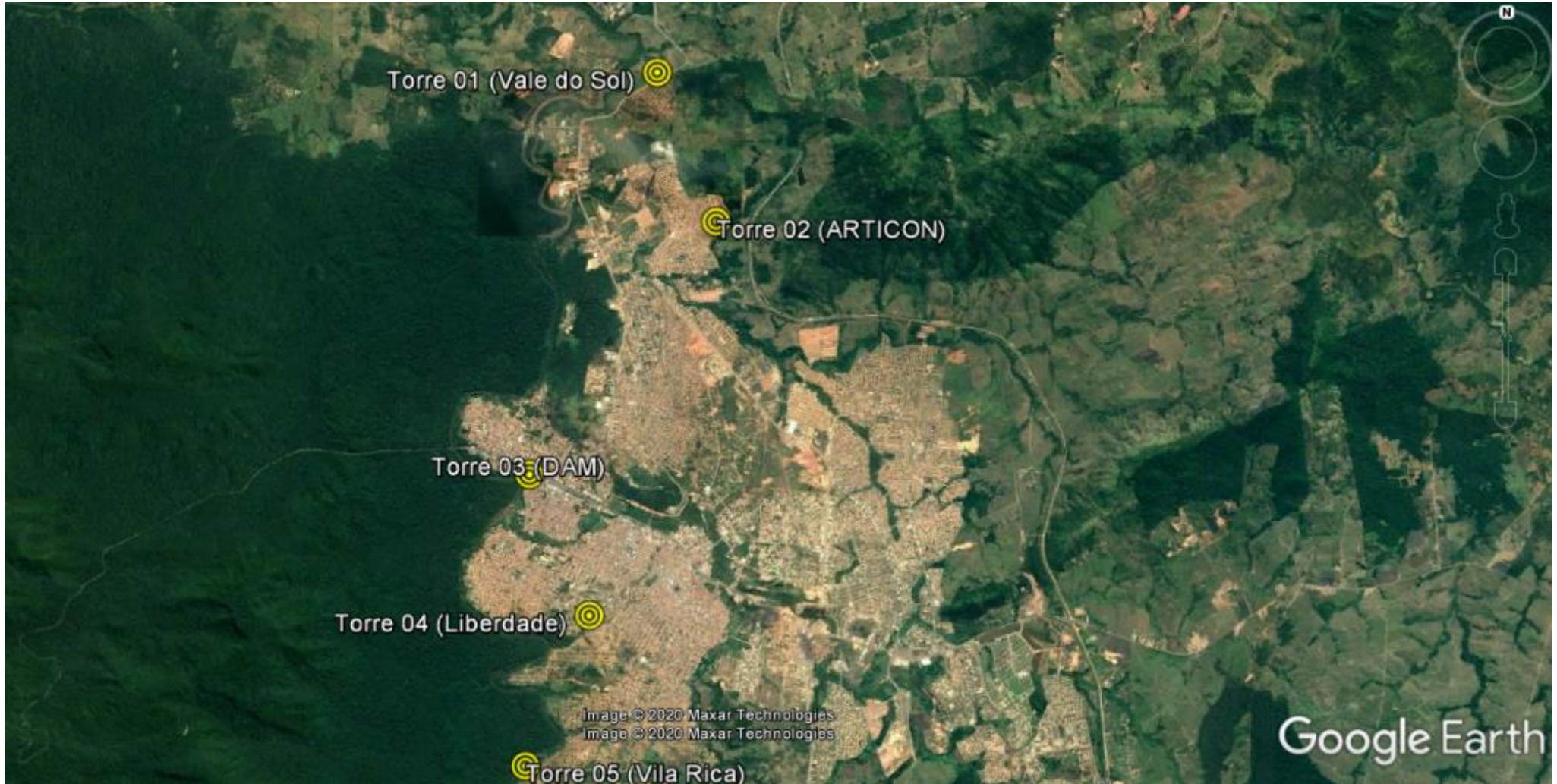
0 0,5 1 1,5 2 2,5 km

Resíduo	Distância do Barragem (km)	Profundidade Máxima de Inundação (m)	Extensão Máxima (km)	Área de Pico de Inundação (km²)	Tempo de Chegada da Inundação (Minutos)	Tempo para o Pico de Inundação (Minutos)	Velocidade Máxima (m/s)	Descrição da Referência da Região
ET-PP-07	10,8	18,8	103	2477	10,03	23,18	1,30	Residência isolada
ET-PP-08	40,8	18,0	100	2419	17,01	48,43	1,30	Residência isolada
ET-PP-09	50,8	18,8	108	2450	18,11	50,17	0,842	
ET-PP-20	108	14,8	128	2254	24,27	88,08	0,842	Residência isolada

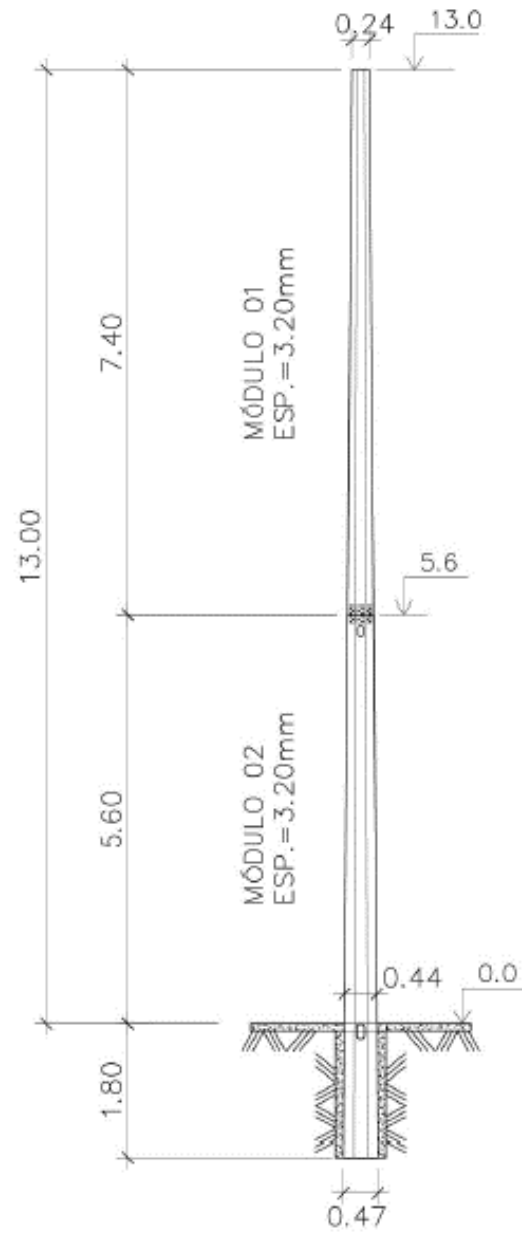


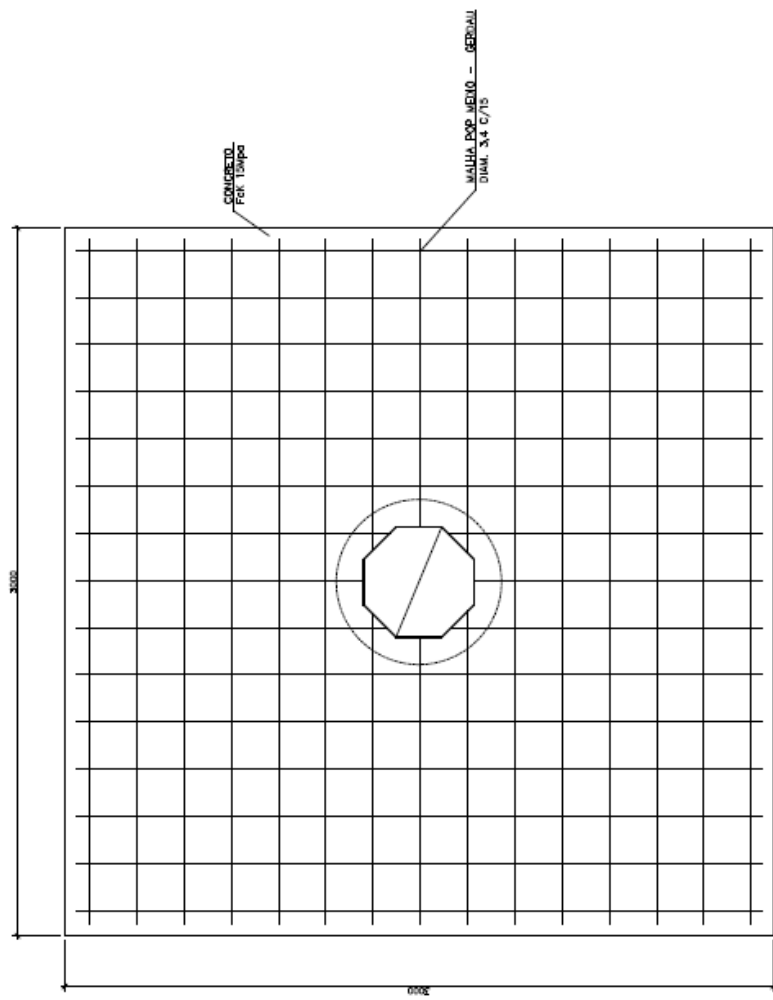
APÊNDICE B

LOCAÇÃO DAS TORRES DE ALERTA DE EMERGÊNCIA.

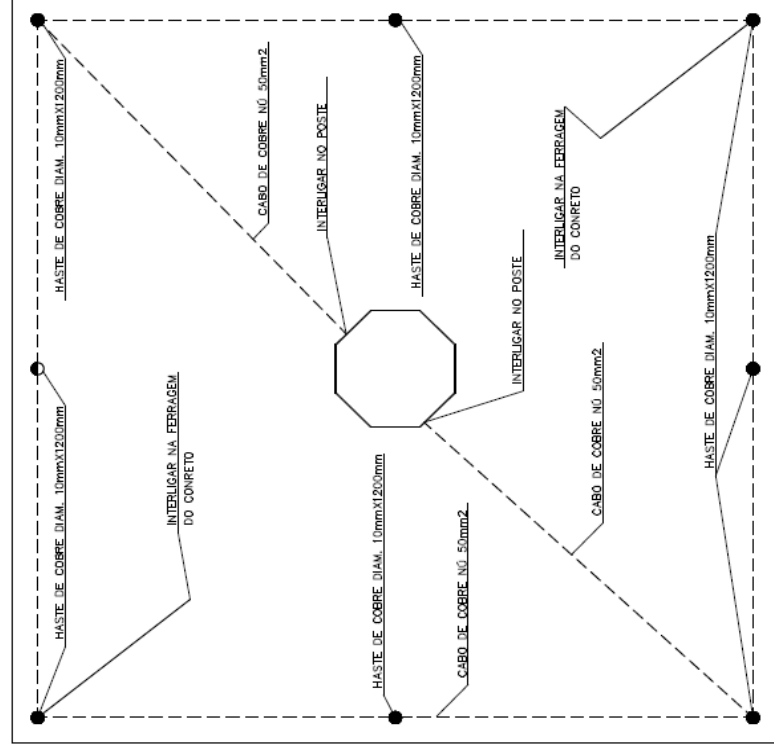


APÊNDICE C
PROJETO DAS TORRES DE ALERTA DE EMERGÊNCIA





BASE DE CONCRETO



MALHA DE ATERAMENTO