



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

VALDENY CAROLINE DE VASCONCELOS LIMA

DELIMITAÇÃO DAS ZONAS DE AUTOSSALVAMENTO DA MANCHA DE DANO
POTENCIAL ASSOCIADO À BARRAGEM BOSQUE-IV NO MUNICÍPIO DE
JUNQUEIRO/AL

RIO LARGO – ALAGOAS

2020

VALDENY CAROLINE DE VASCONCELOS LIMA

DELIMITAÇÃO DAS ZONAS DE AUTOSSALVAMENTO DA MANCHA DE DANO
POTENCIAL ASSOCIADO À BARRAGEM BOSQUE-IV NO MUNICÍPIO DE
JUNQUEIRO/AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia de
Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas,
como requisito para obtenção do Título em
Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Prof^a. Ma. Wedja de Oliveira Silva

RIO LARGO – ALAGOAS

2020

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

L732d Lima, Valdeny Caroline de Vasconcelos.
Delimitação das zonas de autossalvamento da mancha de dano potencial associado à barragem bosque-iv no município de Junqueiro/AL. / Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima. – 2020.

48f.: il.

Orientadora: Prof^a. Msc. Wedja de Oliveira Silva.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2020.

Inclui bibliografia

1. Ruptura de barragem. 2. Dano Potencial Associado. 3. Zona de autossalvamento. I. Título.

CDU: 528:627.82(813.5)

VALDENY CAROLINE DE VASCONCELOS LIMA

DELIMITAÇÃO DAS ZONAS DE AUTOSSALVAMENTO DA MANCHA DE DANO
POTENCIAL ASSOCIADO À BARRAGEM BOSQUE-IV NO MUNICÍPIO DE
JUNQUEIRO/AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia de
Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas,
como requisito para obtenção do Título em
Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

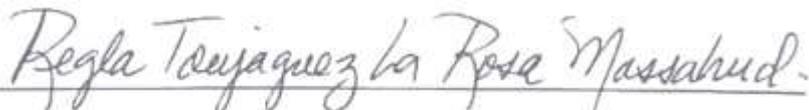
Trabalho de conclusão de curso aprovado em 20 de fevereiro de 2020.

Banca Examinadora:

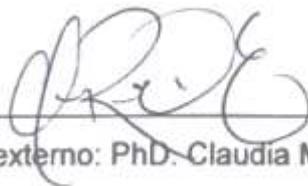


Prof^ª. Ma. Wedja de Oliveira Silva.

(Orientadora)



Membro interno: Prof^ª Dr^ª. Regla Toujaguez la Rosa Massahud



Membro externo: PhD. Claudia Marina Rivera Escorcía

*“Dedico à minha filha Livia Beatriz (in memoriam)
que estará para sempre em meu coração.”*

AGRADECIMENTOS

Porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas. Glória, pois, a Ele eternamente. Amém. (Romanos 11:36).

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades que apareceram durante esta minha jornada, e a esta universidade, seu corpo docente, direção e administração por toda dedicação a nós alunos.

Ao Lódino, por ter feito uma ligação telefônica tão crucial, em um momento tão difícil pelo qual eu passava. Essa ligação telefônica foi muito importante para que eu conseguisse retornar a universidade. Obrigada.

À minha orientadora, que se tornou uma grande amiga, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho, suas correções e incentivos que foram imprescindíveis para o meu sucesso.

À minha mãe Sandra, que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, e principalmente muito amor e denguinto. Meu exemplo de mulher valorosa.

Aos meus irmãos Erika e Erasmo pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei. Eu amo vocês.

Ao meu esposo Fabio que acima de tudo é um grande amigo, pelo seu amor e por compreender minha dedicação a este projeto.

A todos os meus amigos que fiz ao decorrer do curso de graduação, obrigada por sua parcela de contribuição em minha vida acadêmica e pessoal. Amigos que levo pra vida todinha, meus essenciais.

Por fim, sou grata a todos que de alguma forma participaram da realização desse projeto.

RESUMO

A construção de barragens traz inúmeros benefícios para os seres humanos, desde o seu uso para a geração de energia elétrica até a regularização das vazões para fins de abastecimento e irrigação. Entretanto, há um elevado risco associado a obras deste porte. O rompimento de uma barragem pode trazer impactos catastróficos, que afetam o meio ambiente e a sociedade em geral, causando perdas de ordens social e econômica de grande magnitude. Com o intuito de regular e fiscalizar esse tipo de empreendimento, no ano de 2010, foi aprovado, no Brasil a Política Nacional de Segurança de Barragens estabelecida pela Lei nº 12.334/2010, a qual discorre sobre a classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) e a Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017 que regulamenta a elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE). Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo delimitar as Zonas de Autossalvamento (ZAS) da barragem BOSQUE IV situada no município de Junqueiro / AL. A delimitação da ZAS faz parte da elaboração do PAE e é dada a partir da determinação da mancha DPA. A mancha DPA é delineada conforme a metodologia da Agência Nacional de Águas (ANA), podendo ser considerada a distância igual a trinta minutos ou 10 km à jusante da barragem. O mapeamento da ZAS foi realizado utilizando a metodologia da ANA, considerando a distância de 10km, associada ao software ArcGIS Desktop 10.5, Google Earth Pro™, assim como dados altimétricos do SRTM. Os mapas elaborados apresentam as ZAS, juntamente com as rotas de fuga e demais elementos identificados no interior da mancha DPA e suas adjacências.

Palavras chave: Ruptura de barragem. Dano Potencial Associado. Zona de autossalvamento.

ABSTRACT

The construction of dams has numerous benefits for human beings, from its use to generate electricity to the regularization of flows for supply and irrigation purposes. However, there is a high risk associated with works of this size. The rupture of a dam can have catastrophic impacts, which affect the environment and society in general, causing losses of social and economic orders of great magnitude. In order to regulate and supervise this type of undertaking, in 2010, the National Dam Safety Policy established by law 12.334 / 2010 was approved in Brazil, which discusses the classification of dams in terms of the Potential Associated Damage (PAD) and Ordinance No. 70,389 of May 17, 2017, which regulates the preparation of the Emergency Action Plan (EAP). Within this context, this research aimed to delimit the Self-Rescue Zones (SRZ) of the BOSQUE IV dam located in the municipality of Junqueiro / AL. The delimitation of the SRZ is part of the preparation of the EAP and is based on the determination of the PAD spot. The PAD spot is outlined according to the methodology of the National Water Agency (NWA), and the distance within thirty minutes or 10 km downstream of the dam can be considered. The mapping of the SRZ was performed using the NWA methodology, considering the 10km distance, associated with the ArcGIS Desktop 10.5 software, Google Earth Pro [™], as well as altimeter data from the SRTM. The maps produced show the SRZ, along with the escape routes and other elements identified inside the PAD spot and its surroundings.

Keywords: Dam rupture. Associated Potential Damage. Self-rescue zone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Barragem de concreto de gravidade retilínea e em arco.	14
Figura 2 – Barragem de enrocamento com face de concreto.	15
Figura 3 – Barragem de Terra Homogênea	15
Quadro 01 – Barragens rompidas no Brasil entre os anos 2000 e 2015.	16
Quadro 02 – Categorias das causas de falha em barragens.	17
Quadro 03 – Categorias de causas de falha em barragens	17
Figura 4 – Galgamento em Barragem de Terra.	18
Figura 5 – Representação da evolução de uma falha por <i>pipping</i>	19
Figura 6 – Características de uma barragem que a insere na PNSB.	20
Figura 7 – Localização Barragem BOSQUE IV – Junqueiro/AL	26
Figura 8 – Fluxograma metodológico.	29
Figura 9 – Distância a ser modelada em função do volume do reservatório	31
Figura 10 – Traçado e linearização do rio	32
Figura 11 – Seções transversais.	33
Figura 12 – Mancha Dano Potencial Associado.	35
Figura 13 – Poligonal em .kml visualizada no Google Earth Pro TM	36
Figura 14 – Vetorização das feições para delimitação da ZAS.	37
Figura 15 – Perfis transversais e sugestão de rotas de fuga.	38
Figura 16 – Mapa das zonas de autossalvamento da barragem BOSQUE IV	40
Figura 17 – Mapa ZAS – Situações 1e 2.	41
Figura 18 – Mapa ZAS – Situação 1	42
Figura 19 – Mapa ZAS – Situação 2	43
Quadro 04 – Informações obtidas analisando a mancha DPA	44

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANM – Agência Nacional de Mineração.

CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

CRI – Categoria de Risco.

DPA – Dano potencial associado.

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

MDT – Modelo Digital de Terreno.

MDE – Modelo Digital de Elevação.

MDS – Modelo Digital de Superfície.

PAE – Plano de Ação de Emergência.

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens.

RSB – Relatório de Segurança de Barragem.

SEMARH/AL – Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas.

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*.

TIN – Rede Triangular Irregular.

ZAS – Zonas de autossalvamento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Barragem	14
2.2 Rompimento de Barragem	16
2.2.1 Galgamento	18
2.2.2 Erosão interna (“ <i>piping</i> ”)	18
2.3 Legislação Vigente de Segurança De Barragens	19
2.3.1 Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;	19
2.3.2 Resoluções CNRH nº143 e 144, de 10 de julho de 2012	21
2.4 Dano Potencial Associado e Mancha de Inundação	21
2.5 Zonas de Autossalvamento	22
2.6 Sensoriamento Remoto	23
2.7 Sistemas de Informações Geográficas	23
2.8 Modelagem Digital do Terreno e de Elevação	24
2.9 Histórico do Município de Junqueiro	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Área de estudo	26
3.2 Materiais	27
3.3 Métodos	28
4 RESULTADOS	31
4.1 Mancha de Dano Potencial Associado	31
4.2 Delimitação das Zonas de Autossalvamento	10
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O rompimento de barragens é um desastre consideravelmente recorrente na história da humanidade. Por conter um volume considerável de água, as barragens fluviais acumulam alta quantidade de energia, assim, a ruptura de uma delas pode liberar, num curto período, uma grande massa de fluido acarretando extensos prejuízos materiais, sociais, econômicos, ambientais e, principalmente humanos.

As barragens artificiais são grandes estruturas usadas desde o início da civilização e a primeira registrada foi no Egito em 4880 A.C no qual o reservatório servia para proteger o Templo de Karnak das inundações do Rio Nilo.

No mundo, principalmente na Europa, Ásia e América do Norte, o rompimento de barragens de água é o mais comum. No último século, dez casos foram contabilizados, e deixaram mais de 30 mil mortos, 705 desaparecidos e mais de 4 mil desabrigados. Um dos casos mais expressivos foi o da Barragem de água, em 1975, na Província de Henan, onde o tufão Nina gerou uma tempestade que foi responsável pelo colapso da barragem, neste caso foram apontadas causas naturais e tecnológicas (ALVES, 2015).

A mais antiga barragem brasileira da qual se tem registro foi construída no final do Século XVI, onde hoje é área urbana de Recife, PE. Antigamente, a construção dessas estruturas visava apenas a formação de reservatórios de água para serem usados em épocas de seca, e foram fundamentais ao desenvolvimento da espécie humana (MELLO, 2011).

O Brasil tem um rompimento de barragem a cada dois anos desde 2000, segundo afirma o levantamento feito pelo pesquisador H.R. Alves, publicado num artigo de 2015. O mesmo artigo salienta que a destruição de represas é frequente e que, na maioria dos casos, além do impacto ambiental que gera, deixa mortos. As principais causas apontadas são fenômenos naturais que ocorrem a ponto de abalar a estrutura da barragem, o mal planejamento dessa estrutura e a falta de manutenção ou omissão na prevenção da tragédia.

Assim, para que as barragens sejam seguras é primordial regular e fiscalizar as ações preventivas de acidentes realizadas pelos empreendedores. Com a instituição da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) que busca acompanhar todo o ciclo de vida de uma barragem, pela Lei 12.334 de 20 de dezembro de 2010, e a resolução 132/2016 da Agência Nacional de Águas (ANA). A qual estabelece critérios complementares de classificação de barragens quanto ao seu dano potencial associado. Um método simplificado foi desenvolvido usando menos dados para assim se adaptar as necessidades do País, tornando o processo menos oneroso.

A ANA, dentre os entes fiscalizadores, além de ser responsável pela vistoria da segurança nas barragens de usos múltiplos situadas em corpos d'água de gestão federal, tem por atribuição também promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores na implementação da PNSB, de organizar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e, anualmente, coordenar a elaboração Relatório de Segurança de Barragem (RSB) e encaminhá-lo ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Uma vez que acidentes com barragens geram grandes problemas sociais e econômicos, o sucesso desse sistema, cadastro e atualização é imprescindível para a gestão de barragens visando mitigar possíveis impactos gerados pelo rompimento, ou até mal funcionamento de uma barragem (BRASIL, 2010).

Foi então desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC), sob contrato com a ANA, e adaptado posteriormente, uma metodologia simplificada para definição da mancha ou polígono para delimitar a área de análise para a classificação do dano potencial associado (DPA). Uma vez determinado o polígono, este é sobreposto a uma imagem de satélite e então identificadas dentro dele todas as feições relevantes para a PNSB. A precisão desse polígono gerado como área de inundação será de acordo com a resolução espacial do modelo digital de terreno (MDT) o qual descreve a variabilidade do relevo terrestre. Os dados gerados são desenvolvidos em um ambiente de um sistema de informações geográficas (SIG).

O modelo elaborado faz uso de dados altimétricos disponibilizados pelo *Shuttle Radar Topography Mission*, que possui resolução espacial de 30 metros. Cada feição dentro da área demarcada gera uma pontuação em uma tabela. A partir do quantitativo de feições é atribuído o índice de DPA: baixo, médio ou alto. Aquelas que forem classificadas com DPA alto estarão obrigadas pela lei a tomar uma série de medidas de precaução, tais como a elaboração de um Plano de Ação de Emergência (PAE) (BOMFIM, 2017).

Hoje no Brasil, existem pelo menos 24.092 barragens com diferentes usos, destacando-se irrigação, dessedentação animal e aquicultura. Dados obtidos através do RSB de 2017 elaborado pela ANA mostram que ainda é reduzido o número de barragens cadastradas no SNISB. Das quais, 3.543 foram classificadas por categoria de risco (CRI), e 5.459 quanto ao DPA, sendo 723 classificadas simultaneamente como CRI e DPA altos. Portanto, considerando a necessidade de estudos que permitam delimitar a abrangência dos possíveis danos.

A barragem BOSQUE IV na cidade de Junqueiro, AL, foi escolhida para este estudo em virtude de estar entre as 21 barragens em Alagoas classificadas como CRI e DPA altos, conforme o RSB, divulgado em novembro de 2018, estando ainda entre as seis com situação ainda mais crítica. O relatório acusou também que a barragem em questão

apresentou um comprometimento estrutural importante com o vertedouro apontando-o como insuficiente.

Visto isso, esse estudo pretende mapear as áreas de risco a jusante da barragem, delimitando a mancha de DPA a priori, para determinar a zonas de autossalvamento a posteriori, demarcando as rotas de fuga das comunidades no entorno, assim como identificando os prováveis pontos de encontro da população, no intuito de proporcionar a evacuação dos locais de impacto imediato, reduzindo, desta forma, o número de atingidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

DELIMITAR as ZAS da barragem de BOSQUE IV no Município de Junqueiro/AL.

1.1.2. Objetivos Específicos

- DETERMINAR a mancha DPA através da metodologia da ANA;
- IDENTIFICAR às zonas afetadas;
- DELIMITAR a ZAS;
- ELABORAR o mapa das rotas da ZAS.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Barragem

As barragens são construções antigas que apresentam grande evolução com o decorrer do tempo com o fim de beneficiar a população. O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDC) as define como obstáculos artificiais com a capacidade de reter qualquer líquido, rejeitos ou detritos, para fins de armazenamento ou controle, de tamanho variado, usadas geralmente para fornecimento de água, de energia hidrelétrica, para controle de cheias e para irrigação (CBDB, 2019).

Marangon (2004), argumenta que as barragens fluviais são empreendimentos construídos com intuito de criar um reservatório artificial para a acumulação de água, podendo ser definidas como uma estrutura construída perpendicularmente a direção de escoamento de um curso d'água.

Vários objetivos regem a construção de barragens. Do ponto de vista econômico, os principais são para aproveitamento hidrelétrico, regularização de vazão no curso d'água para a navegação, abastecimento de água, fornecimento de água à indústrias, controle de inundações e a irrigação. Elas podem ser classificadas segundo diversos critérios, seja de acordo com o seu objetivo, projeto hidráulico e os tipos de materiais empregados na sua construção.

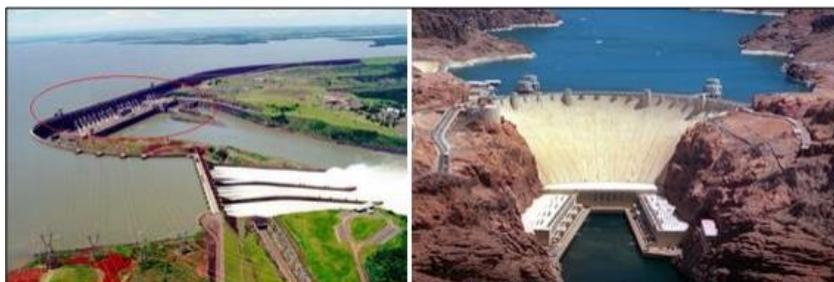
Segundo Marangon (2004), a classificação mais utilizada é de acordo com os materiais construtivos, e com relação a este aspecto, as barragens podem ser divididas em:

1. Barragens de Concreto;

- a) Gravidade - É mais resistente e de menor custo de manutenção;
- b) Arco - São mais raras, apropriadas para vales estreitos e com presença de material rochoso adequado e de grande resistência.

A Figura 1 apresenta 2 (dois) modelos supracitados.

Figura 1 – Barragem de concreto de gravidade retilínea e em arco.



Fonte: Piasentin, 2013.

2. Barragens de Enrocamento - Aquela em que são utilizados blocos de rocha de tamanho variável e uma membrana impermeável na face de montante. As rochas usadas na construção devem ter resistência ao intemperismo físico e químico (figura 2).

Figura 2 – Barragem de enrocamento com face de concreto.



Fonte: Piasentin, 2013.

3. Barragens de Terra - São as mais elementares e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação. Pode ser de terra homogênea, construída com apenas um tipo de material; ou de terra zoneada, que prioriza o centro de material argiloso encoberto por areia, cascalho ou fragmentos de rocha, ou uma mistura desses materiais (figura 3).

Figura 3 – Barragem de Terra Homogênea



Fonte: Carvalho, 2011.

Segundo Leão (2012), a utilização deste tipo de barragem se dá pela facilidade de execução e pelo custo reduzido. Porém possui maior susceptibilidade a problemas que a água em contato com a barragem possa causar, por isso deve-se haver verificação e acompanhamento periódico para detecção de possíveis pontos frágeis e vazamentos na estrutura.

2.2 Rompimento de Barragem

Impactos negativos também estão associados à construção de barragens, sendo de natureza social, econômica e ambiental. Por serem obras de grande porte, falhas em barragens podem causar desde danos catastróficos, perdas de propriedades e vidas humanas principalmente quando à jusante possui regiões urbanizadas (LAURIANO, 2009).

Alves (2015) afirma, em seu artigo sobre casos de rompimento de barragens no Brasil e no mundo, que dentre os fatores de vulnerabilização a esses eventos estão as legislações negligentes (multas irrisórias, regulamentação precária) e a corrupção dos agentes públicos, bem como fatores naturais, como solos instáveis e ausência de planejamento e tecnologias adequadas nas construções. Analisando registros dos anos 2000 a 2015, elencados no quadro 01, identificam-se alguns eventos significativos que acenderam o sinal de alerta para a sociedade.

Quadro 01 – Barragens rompidas no Brasil entre os anos 2000 e 2015.

LOCAL	ANO	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Nova Lima	2001	Barragem de Macacos	Barragem de rejeitos minerários.	5 óbitos
Cataguases	2003	Barragem em Cataguases	Barragem de rejeitos industriais.	Contaminação do rio Paraíba do Sul, mortandade de animais e peixes e interrupção do abastecimento de água de 600.000 pessoas.
Miraí	2007	Barragem da Rio Pomba/Cataguases	Barragem de rejeitos minerários.	Mais de 4000 pessoas desabrigadas ou desalojadas.
Itabirito	2014	Barragem da Herculano.	Barragem de rejeitos minerários.	3 óbitos.
Mariana	2015	Barragem Fundão	Barragem de rejeitos minerários.	19 óbitos, 8 desaparecidos, 600 desabrigados ou desalojados, interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas e poluição do rio São Francisco e do mar no ES, interrupção da atividade pesqueira e afetação ao Turismo em Regência/ES.
Mariana	2015	Barragem Santarém	Barragem de rejeitos minerários.	19 óbitos, 8 desaparecidos, 600 desabrigados ou desalojados, interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas e poluição do rio São Francisco e do mar no ES, interrupção da atividade pesqueira e afetação ao Turismo em Regência/ES.

Fonte: H.R. Alves (2015)

Estudos de caso mostram que o fracasso da barragem pode surgir devido a razões diferentes, que variam de infiltração, erosão interna, galgamento, liquidação devido a escorregamentos de taludes e liquefação devido a terremotos (XIONG, 2011).

Santos, França e Almeida (2007) descreveram uma relação entre o tipo de barragem com a forma de ruptura mais comum (quadro 02).

Quadro 02 – Categorias das causas de falha em barragens.

Terra	Galgamento Erosão interna Escorregamento da fundação Ação de ondas Erosão da fundação a jusante da barragem
Concreto – Gravidade	Deterioração dos materiais Falha na fundação Falta de estabilidade Erosão na fundação Atos de guerra
Concreto – Arco	Falha nos encontros laterais do vale de fundação Carga excessiva Erosão na fundação Deslizamento do corpo da barragem

Fonte: adaptado de Santos, França e Almeida, 2007.

ZHANG, L. M.; XU, Y.; JIA (2007) coletaram 593 casos de falhas em barragens de vários países, registrando as causas com maiores ocorrências (quadro 03). Analisaram também as ocorrências das causas de rompimento de barragens de terra e concluíram que galgamento e erosão interna “piping” no corpo ou na fundação da barragem são as causas com maior porcentagem de ocorrência.

Quadro 03 – Categorias de causas de falha em barragens.

Causa	Sub-causas
Galgamento	Capacidade insuficiente do vertedor Vazão superior a de projeto
Erosão e deslizamento	Erosão interna no corpo da barragem Deslizamento no corpo da barragem Erosão interna na fundação Erosão ao redor do vertedor
Má gestão	Má manutenção e operação
Desastres	Terremoto Ataque terrorista Rompimento de barragem a montante
Outros	Bloqueio do vertedor Planejamento deficiente do projeto

Fonte: Adaptado de ZHANG, L. M.; XU, Y.; JIA, 2007.

Conforme o RSB 2017, divulgado em novembro de 2018, a barragem BOSQUE IV situada na cidade de Junqueiro/AL, administrada pela Usinas Unidas Seresta e fiscalizada pela SEMARH/AL, que é o objeto de estudo, apresentou um comprometimento estrutural importante com o vertedor apontando-o como insuficiente. Sendo assim será descrito as causas mais comuns de ruptura de barragens colocando em ênfase o galgamento, uma vez que a barragem em estudo apresenta uma das sub-causas mais comuns de ruptura.

2.2.1 Galgamento

Se dá quando o vertedouro não tem capacidade suficiente frente a uma cheia de projeto e a água verte sobre a crista da barragem, assim, inicia-se a erosão do talude de jusante da barragem que pode resultar na formação da brecha de ruptura de forma regressiva e ruptura global do barramento (LAURIANO et. al; 2017).

Figura 4 – Galgamento em Barragem de Terra

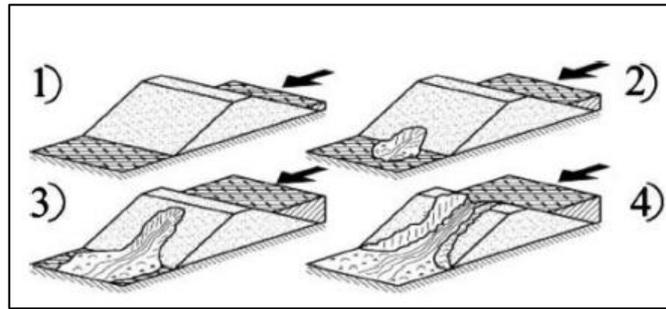


Fonte: Lauriano et. al. (2017)

2.2.2 Erosão interna (“*piping*”)

Ocorre quando a água se infiltra pelo solo compactado ou pela fundação gerando forças erosivas que puxam as partículas do solo através da percolação da água formando um tubo ou um canal no interior da barragem chegando ao ponto de ocasionar a ruptura da mesma (JÓNATAS, 2013). Esse processo é ilustrado na figura 5.

Figura 5 – Representação da evolução de uma falha por *piping*.



Fonte: Jónatas, 2013.

As roturas por erosão interna em barragens de aterro têm características semelhantes às roturas por *piping*, pois a erosão dá-se principalmente entre o pé de jusante e o núcleo.

2.3 Legislação Vigente de Segurança De Barragens

Em relação à legislação, desde a Lei Federal, passando por sua regulamentação via CNRH e regulamentações advindas dos órgãos fiscalizadores, tem-se:

- a) Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- b) Resolução CNRH nº 143/2012;
- c) Resolução CNRH nº 144/2012;
- d) Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015;
- e) Resolução ANA nº 236/2016;
- f) Portaria ANM nº 70.389/2017;

2.3.1 Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;

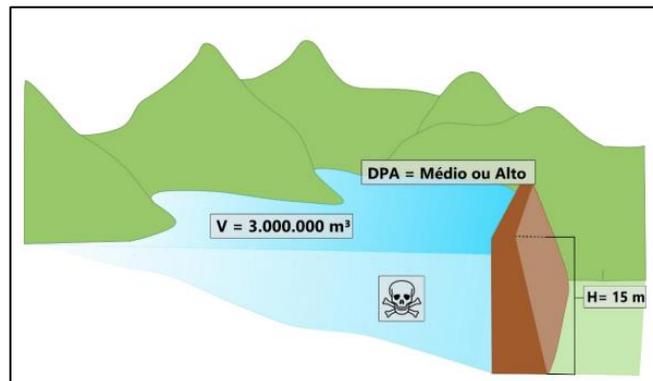
Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e delimita quais estruturas estariam ou não dentro da PNSB.

Para que uma barragem esteja dentro da PNSB, ela deve apresentar pelo menos uma das seguintes características:

- a) Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- b) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

- c) Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- d) Categoria de dano potencial associado (DPA), médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Figura 6 – Características de uma barragem que a insere na PNSB.



Fonte: Neves, 2018.

A PNSB, como toda Política do Governo Federal, tem seus objetivos e fundamentos para sua criação. É notório e fático que sua criação objetivou garantir padrões de segurança, reduzir a possibilidade de acidentes, regulamentar ações e padrões, centralizar as informações sobre SB e fomentar a cultura de segurança dentro do ambiente onde estão instaladas estas importantes estruturas.

Também parte integrante do PNSB e indispensável para as barragens com DPA alto (conforme art. 11 da Lei 12.337/2010), o Plano de Ação de Emergência (PAE) é um documento formal, no qual estão identificadas as condições de emergência em potencial para a barragem.

O PAE, de acordo com a Lei, deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil. Este deve conter, pelo menos: a) Identificação e análise das possíveis situações de emergência; Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; b) Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; c) Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Os órgãos fiscalizadores foram subdivididos na Lei em função do seu uso e tipo de rejeitos/efluentes armazenados. A ANA é responsável pela fiscalização das barragens de usos múltiplos da água, exceto para aproveitamento energético; A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela fiscalização das barragens com fins de

geração hidrelétrica; O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é responsável pela fiscalização das barragens de resíduos industriais; e a ANM é responsável pela fiscalização das barragens de mineração.

A Lei foi proativa em antever possibilidades que gerem risco as populações a jusante no caso de o empreendedor da barragem não puder ou não quiser se atentar a manutenção adequada de sua estrutura. Ela estipulou, em seu art. 18, que no caso de alguma barragem não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente, esta deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que, por sua vez, deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.

Para armazenar, tratar, gerir e disponibilizar para a sociedade as informações relacionadas à segurança de barragens em todo o território nacional, com o fim de manter um cadastro atualizado das barragens que devem atender à PNSB, foi criado o SNISB instituído pelo art. 13, e regulamentado pela Resolução CNRH nº 144/2012.

Trata-se de um sistema onde os órgãos fiscalizadores e os empreendedores enviarão informações sobre as barragens de sua jurisdição para que a ANA possa condensar um documento único futuro (Relatório Anual de Barragens) que apresente à sociedade um panorama da evolução da segurança das barragens brasileiras e da implementação da PNSB, incluindo a melhoria da gestão da segurança.

2.3.2 Resoluções CNRH nº143 e 144, de 10 de julho de 2012

A Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 143, de 10 de julho de 2012, estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

A Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012, estabelece diretrizes para implementação da PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do SNISB, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

2.4 Dano Potencial Associado e Mancha de Inundação

O DPA considera os impactos negativos causados pelo rompimento de uma barragem, seu vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento. Além do fato de ser um critério para determinar se uma barragem está submetida à Lei nº 12.334/2010. De acordo com a Resolução nº 143/2012, a classificação por DPA em alto, médio ou baixo, consiste em analisar e pontuar quatro descritores, da seguinte maneira:

- Volume do reservatório;
- Potencial de perdas de vidas humanas;
- Impactos ambientais;
- Impactos socioeconômicos

Cada um deles, de acordo com alguns fatores de subclassificação, soma uma pontuação, onde o valor máximo na pontuação do DPA de uma barragem, igual a trinta (30), é atingido quando há volumes muito grandes do reservatório e a área possível de ser afetada a jusante possua ocupação permanente de pessoas, sendo uma área de interesse ambiental relevante ou protegida e de alto interesse socioeconômico. Por outro lado, o valor mínimo, igual a quatro (4) pontos, ocorre quando o reservatório possui baixo volume, tendo área a jusante sem ocupação, de interesse ambiental não relevante ou não protegida e de sem qualquer instalação ou serviço de navegação (Banco Mundial, 2014).

Ainda de acordo com o Resolução nº 143/2012, as classes de DPA são:

- Baixo, com DPA menor ou igual a 10;
- Médio, com pontuação de DPA entre 10 e 16;
- Alto, com DPA maior do que 16 pontos.

A mancha de inundação constitui um dos principais produtos de um estudo sobre inundação de barragens, e auxilia na classificação da barragem quanto ao DPA e também para a produção do PAE. Com polígono da mancha de inundação, podem ser identificados alvos que possivelmente possam ser atingidos em caso de ruptura da barragem (BALBI, 2008).

2.5 Zonas de Autossalvamento

Um dos componentes do PAE é a delimitação da ZAS determinada pelo Ministério de Minas e Energia, na forma da Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017, como a região a jusante da barragem, a uma distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km, em que se verifica não haver tempo suficiente para uma intervenção concreta das autoridades competentes em caso de acidente alertando assim a população potencialmente afetada na zona de auto salvamento.

Para a determinação da ZAS se faz necessário o conhecimento da mancha de DPA, a qual o procedimento metodológico está disponibilizado no site da ANA, e seu processamento e visualização dos dados se dá através da ferramenta SIG que é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Vale ressaltar que nesse estudo não foi utilizado o modelo matemático Dam Break, que possui uma maior precisão e é usado para prever em tempo real uma cheia natural e/ou

aquela resultante da ruptura hipotética de uma barragem, e sim a delimitação da poligonal de DPA utilizando uma metodologia mais simples e acessível aos órgãos fiscalizadores. Uma vez que a barragem em estudo é para uso de irrigação e possui um volume de água relativamente baixo em comparação ao volume de barragens pra fins de geração de energia e de rejeitos minerários.

2.6 Sensoriamento Remoto

Segundo Meneses *et al.* (2012), o sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos presentes na superfície da Terra sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto presente, ou seja, o sensor deve estar a uma distância remota do objeto.

Desta forma, o sensoriamento remoto é capaz de produzir imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações entre a radiação eletromagnética e os materiais terrestres. Ademais, segundo SANTOS, A.R, *et al.* (2013), o sensoriamento remoto é uma tecnologia que utiliza sensores para extrair informações ou fenômenos, sem que haja contato direto entre eles, e sem que o homem seja parte essencial do processo de aquisição de dados.

Com isso, o sensoriamento remoto é essencial para a Segurança de Barragem pois permite análises a uma distância do barramento em estudo e seu entorno, desde a classificação da barragem até a produção de PAE, necessário para a evacuação das populações.

2.7 Sistemas de Informações Geográficas

Pode-se definir SIG como um conjunto de ferramentas que permitem o desenvolvimento de análises espaciais podendo se ter a simulação de cenários, com a possibilidade de geração de novos horizontes a todos aqueles que são responsáveis pelo ordenamento territorial, permitindo configurar modelos de planejamento e visualização de dados de forma que seja facilitada a compreensão dos resultados em detrimento ao dados tabulares e relatório (CONCEIÇÃO, 2017).

Na literatura, existem diversas formas de se definir o que é o SIG. Tudo depende de como e para que se está fazendo o uso da tecnologia. Pandit (2018), ainda define SIG como:

Um braço importante para o estudo dos recursos da terra. SIG é uma ferramenta computacional para mapeamento e análise de fenômenos geográficos. A tecnologia SIG integra operações comuns de banco de dados como consulta e análise estatística com os benefícios de visualização

e análises oferecidos pelos mapas. Estas habilidades distinguem os SIG de outros sistemas de informação agregando valor a uma vasta gama de empresas públicas e privadas para explanação de eventos, previsão de resultados, e planejamento de estratégias. A criação de mapas e as análises espaciais não são técnicas novas, mas o SIG torna estes passos céleres e com uma sofisticação que o método tradicionalmente manual não oferece.

O SIG *ArcGIS* é formado por um conjunto de ferramentas em diferentes aplicativos computacionais de SIG, desenvolvido pela empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) no qual possui caracteres avançados para a análise espacial, manipulação de dados e de cartografia (SANTOS, *et al.* 2014).

Segundo Alves (2017), este software possui três importantes: O *ArcCatalog* que é o componente responsável por manipular todos os dados presentes no SIG, em operações, como copiar, renomear e apagar; O *ArcMap* disponibiliza funções de apresentação e visualização de planos de informações, e o *ArcToolBox* que possui as ferramentas (algoritmos de geoprocessamento) para serem utilizadas no *ArcMap*.

No ArcGIS é possível trabalhar com tipos de dados com variados formatos. Os arquivos que possuem dados vetoriais são os shapefile, formato desenvolvido pela ESRI (ALVES, 2017).

Neste software, o armazenamento de dados espaciais é de dois formatos: vetorial e raster que são formas de representação do espaço por meio de estruturas geométricas. No formato vetorial, os dados são representados por pontos, linhas e polígonos. Por outro lado, o raster armazena informações em matrizes ou grades formadas por pixel – menor elemento da imagem – de resolução igual.

2.8 Modelagem Digital do Terreno e de Elevação

Existem diferentes tipos modelos que representam tridimensionalmente a superfície terrestre. Dentre eles podemos citar o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Elevação (MDE) (EGG, 2012).

O MDT é uma representação matemática que de distribuição de forma contínua da superfície do terreno. Os produtos gerados na elaboração do MDT podem ser aplicados para: criação de mapas topográficos de altimetria, análise de geomorfologia, mapas de erosão, mapas de bacias hidrográficas, classificação de tipos de vegetação e apresentação tridimensional do terreno. Com o MDT é possível a criação de perfil transversais, elaboração

e criação de projeto, cálculo de volume, delimitação de bacias e redes hidrográficas. (ALMEIDA, 2014).

Segundo Firkowski H. (2002), a Rede Triangular Irregular (TIN) é uma representação contínua do relevo utilizada na geração de MDT, de forma a organizar triângulos planos de forma que se aproximem de triângulos equiláteros, ou seja, que possuam seus lados com medidas aproximadamente iguais. Os MDT são formados a partir dos TIN por meio de algoritmos inseridos em ambientes computacionais de SIG.

Sob o ponto de vista da modelagem, o MDE tem uma definição análoga ao conceito de MDT, onde encontram-se representadas apenas as informações relacionadas a superfície do terreno, filtrando pontos fora do solo, como pontes e estradas, gerando assim o modelo de elevação digital suave. Quando você anula a vegetação e estruturas feitas pelo homem de dados de elevação, obtemos um MDE. Contudo, o MDE trabalha somente com dados de altitude, enquanto o MDT tem uma abrangência mais ampla. Com isso, podemos dizer que o MDE é um produto do MDT. (EGG, 2012).

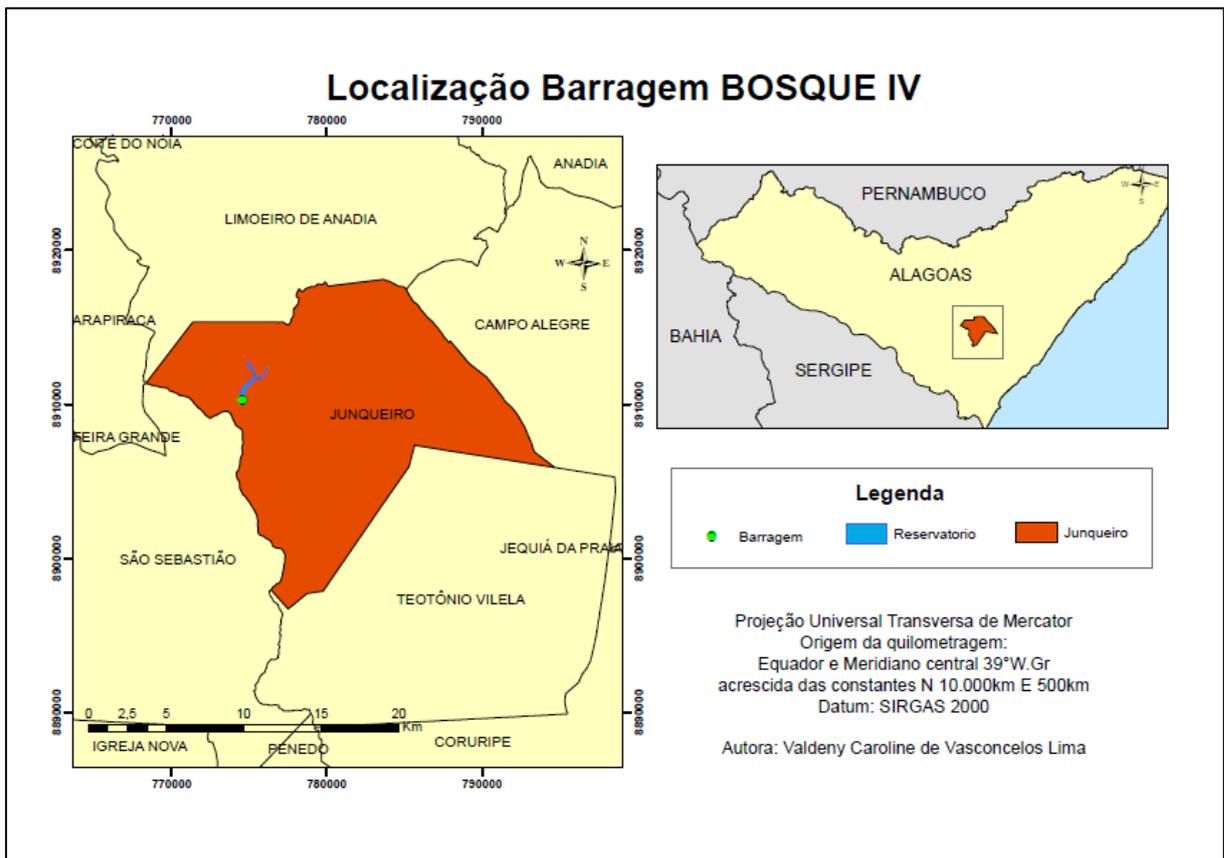
O modelo elaborado faz uso de dados altimétricos disponibilizados pelo SRTM que possui resolução espacial de 30 metros, e pode ser usado para gerar curvas de nível, mapas hipsométricos, mapas de relevo sombreado, mapas de declividade, entre outros que se façam necessário para a elaboração da mancha DPA (PAMBOUKIAN, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Quanto aos aspectos gerais do objeto de estudo, a Barragem BOSQUE IV, sob administração das Usinas Unidas Seresta, está localizada no município de Junqueiro/AL, a 116 km da capital Maceió/AL. Esta barragem é do tipo terra e foi escolhida para este estudo por apresentar uma das sub-causas mais comuns de galgamento em barragens de terra, no caso o vertedouro insuficiente.

Figura 7 – Localização Barragem BOSQUE IV – Junqueiro/AL.



Elaboração: Autora

3.2 Um breve histórico do Município de Junqueiro

O município, antes povoado de Limoeiro de Anadia, foi criado pela Lei 379, de 15 de junho de 1903 e instalado em 31 de janeiro de 1904. Em 23 de fevereiro de 1932, através do decreto 1.619, foi suprimido e novamente anexado a Limoeiro. Entre 1932 e 1947 foi restaurado e suprimido outras duas vezes. Foi definitivamente emancipado através do artigo 6º do ato das Divisões Transitórias da Constituição Estadual de 1947 (JUNQUEIRO, 2019).

A origem do nome está diretamente relacionada à existência farta do junco utilizado largamente pelos moradores na fabricação de utensílios domésticos como; esteiras, colchões e outros- às margens da lagoa onde se formou o primeiro aglomerado populacional. A exploração cresceu e os que passavam em direção à lagoa comentavam: "vamos para o Junqueiro".

O município de Junqueiro está localizado na região centro-sul do Estado de Alagoas, limitando-se ao norte com os municípios de Limoeiro de Anadia e Campo Alegre, a sul com Teotônio Vilela e São Sebastião, a leste com Campo Alegre e Teotônio Vilela e a oeste com Arapiraca, Limoeiro de Anadia e São Sebastião. Possui uma área de 254 km², com população estimada de 25 mil habitantes. O acesso ao município se dá pela BR-101 com distância de 86,092 km da Capital Maceió (IBGE).

3.3 Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Metodologia da ANA, disponibilizada pelo link <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>;
- Imagem SRTM, obtida gratuitamente através do site <https://earthdata.nasa.gov/>;
- Software ArcGIS Desktop 10.5 para processamento e análise dos dados;
- Notebook Samsung, processador Intel core i5, 8 Gb de RAM e sistema Operacional Windows 10;
- Dados da Barragem e dados hidrográficos (Coordenadas, capacidade, cota de coroamento, altura) disponíveis em <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/mapas-tematicos-e-relatorios/tema-1-1>;
- Imagens de Satélite disponíveis gratuitamente pelo Google Earth Pro TM, assim como o acervo presente na plataforma do ArcGIS;
- Google Earth Pro TM;

Os dados necessários para modelagem, e coletados através do SNISB, seguem elencados abaixo:

- Capacidade: 10,040 hm³;
- Altura Acima do Terreno: 25,00m;
- Uso Principal: Irrigação;
- Principal Material: Terra;
- Latitude: 09°50'55.0"S;

- Longitude: 36°29'48.0"W;
- Categoria de Risco: Alto;
- Dano Potencial Associado: Alto.
- Barragem: bosque IV
- Município: Junqueiro
- Uso principal: irrigação
- Categoria de risco: alto
- Dano potencial associado: alto
- Empreendedor: usinas reunidas seresta S/A
- Órgão fiscalizador: SEMARH- AL

3.4 Métodos

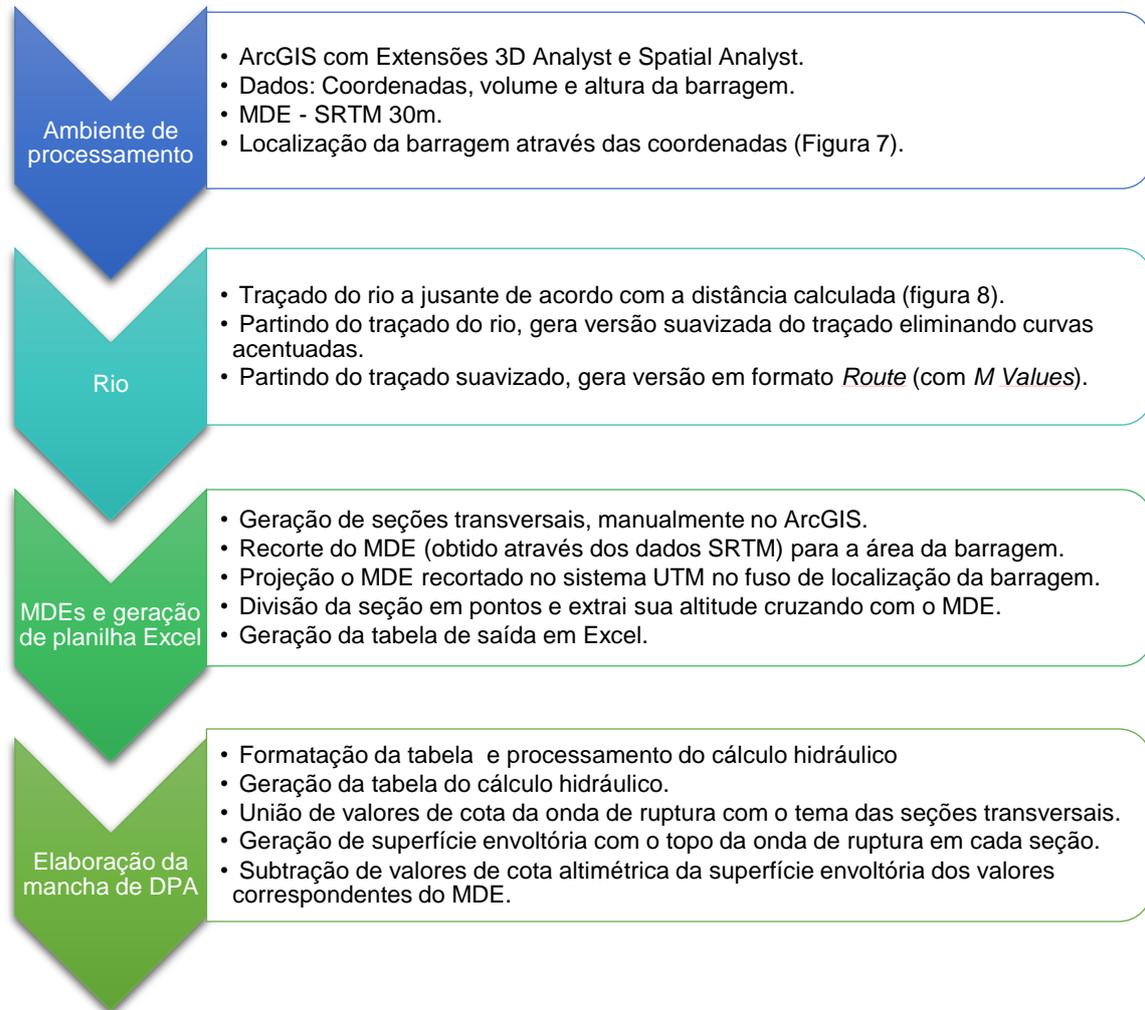
A metodologia desenvolvida pela ANA é uma simulação de mancha de inundação simplificada, a qual se caracteriza como mancha de dano potencial, justamente por utilizar dados altimétricos de baixa precisão, como o SRTM, e o mínimo de dados de entrada, sem maiores descrições da geometria, tanto da barragem, quanto do canal de escoamento a jusante.

Tal método serve para classificar as barragens e nortear as decisões a respeito do risco que a mesma causa a sociedade de entorno, auxilia no traçado do PAE, delimitando, previamente a ZAS, contribuindo com as tomadas de decisões e mitigação dos efeitos de um rompimento.

Vale ressaltar que a elaboração do polígono DPA e delimitação das ZAS foram realizadas em escritório e todos os processos inerentes foram feitos com utilização de softwares em suas versões gratuitas. Como não houve idas a campo, o tempo empregado na elaboração do produto final foi apenas o essencial, e os custos de operação para obtenção de um produto fundamental elaboração do PAE foram reduzidos ao mínimo.

O fluxograma ilustra a metodologia da ANA (Figura 8).

Figura 8 – Fluxograma metodológico.



Assim, o procedimento estabelecido na metodologia consiste nas etapas listadas a seguir:

- Cálculo empírico da extensão do rio a ser modelada.
- Verificação da adequação do limite determinado analisando a ocupação e a geomorfologia do vale a jusante da barragem.
- Cálculo da vazão máxima associada à ruptura da barragem.
- Cálculo das vazões de pico em cada uma das seções transversais ao longo do vale.
- Comparação da vazão amortecida em cada seção transversal ao longo do vale com a vazão máxima do vertedouro para interrupção da modelagem no ponto onde os

danos devidos à ruptura sejam menores que o dano devido à cheia de projeto do extravasor.

- Obtenção da altimetria de pontos ao longo das seções transversais.
- Cálculo hidráulico para estimativa do nível máximo da onda de ruptura em cada uma das seções transversais.
- Criação da superfície envoltória da onda de ruptura.
- Obtenção do polígono classificação de DPA.
- Eventual adoção de ajustes para considerar características específicas do local estudado.

Após a determinação da mancha DPA, iniciou-se o processo de identificação das ZAS. Para tal, foram utilizadas as imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth Pro TM, juntamente com o acervo de imagens do ArcGIS, no intuito de coletar o maior número de informações possíveis.

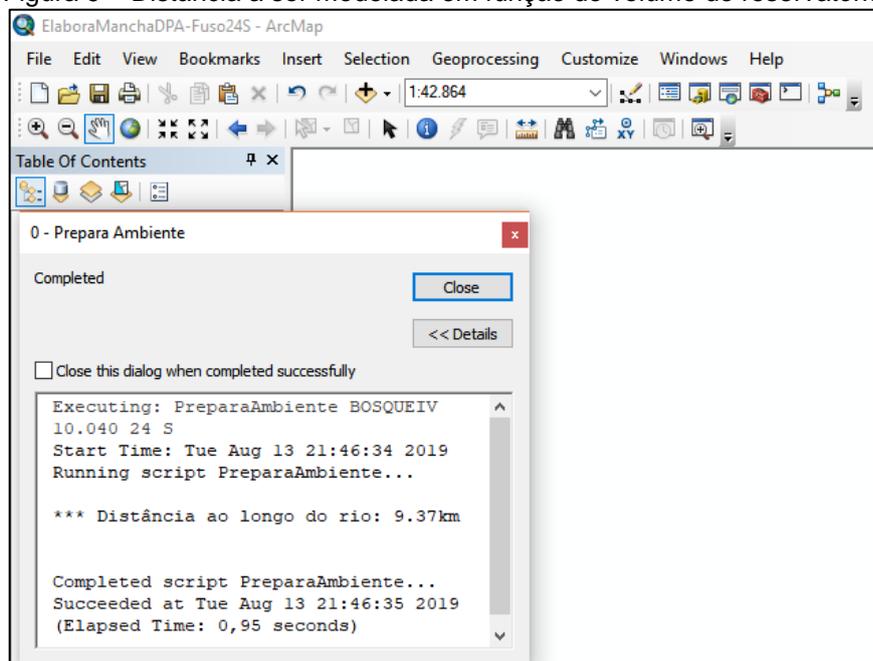
Os dados necessários para delimitação das ZAS referem-se: às comunidades no entorno da mancha DPA; as estradas de acesso; as construções existentes dentro da mancha DPA; a identificação dos pontos mais altos através do MDT obtido pelos dados altimétricos do SRTM, como também dados de altimetria do Google Earth Pro TM. Com a identificação de todos os elementos os mesmos foram vetorizados, para composição do mapa com as rotas das ZAS.

4 RESULTADOS

4.1 Mancha de Dano Potencial Associado

A primeira etapa da metodologia simplificada para produção da mancha DPA consistiu em modelar no ArcGIS Desktop 10.5, a partir do volume da barragem BOSQUE IV, o comprimento mínimo de análise da inundação. Assim, a análise do rio percorreu o comprimento total de 9,37 km, de montante a jusante, a partir da Barragem BOSQUE IV. Essa etapa pode ser visualizada na Figura 9, adiante.

Figura 9 – Distância a ser modelada em função do volume do reservatório.

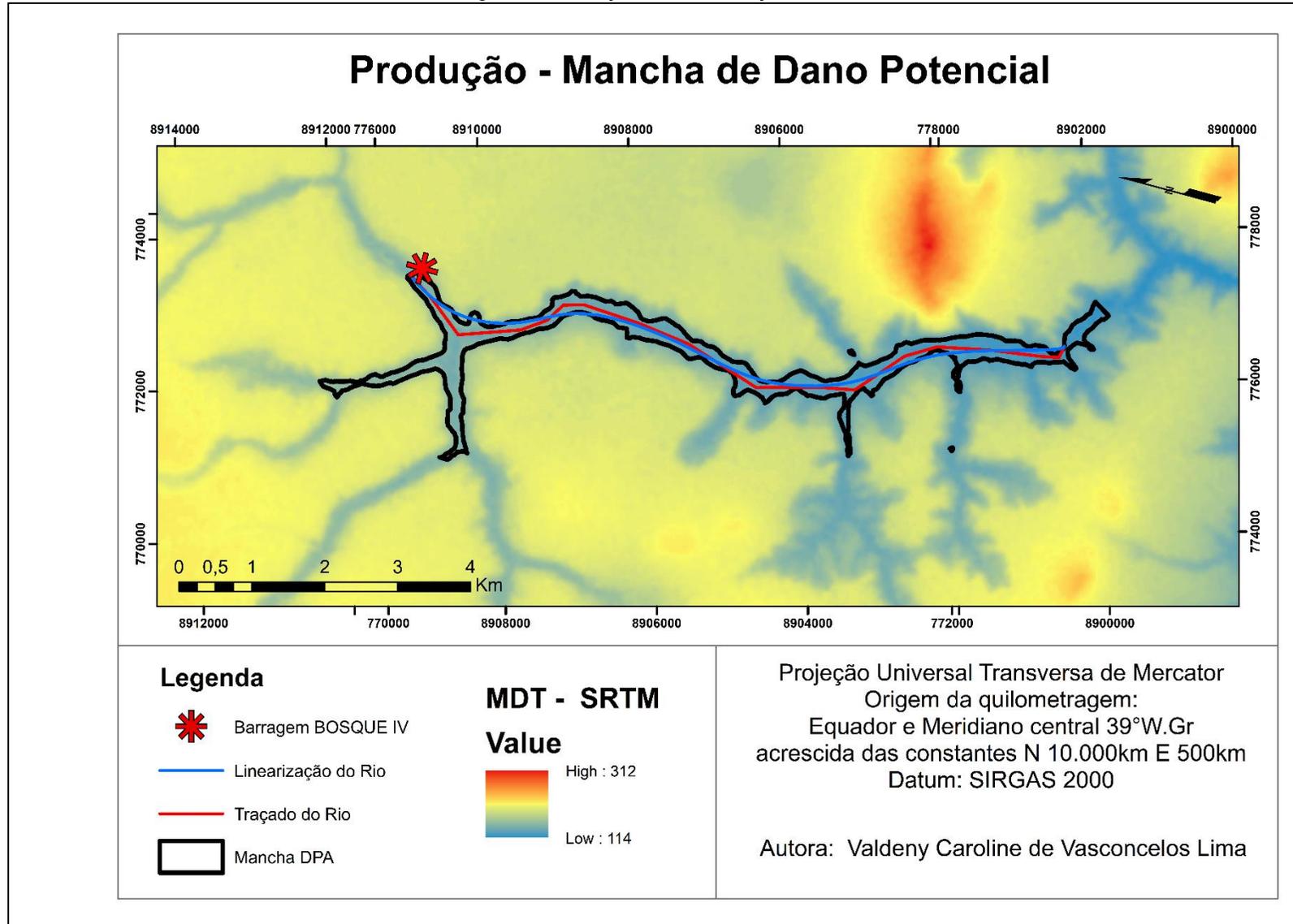


Elaboração: Autora.

A segunda etapa do processo, no qual ocorre a linearização do rio, gerando um traçado mais retilíneo, como pode ser visualizado na Figura 10. Esse procedimento é necessário já que as seções devem estar distanciadas entre si de forma a evitar que se choquem.

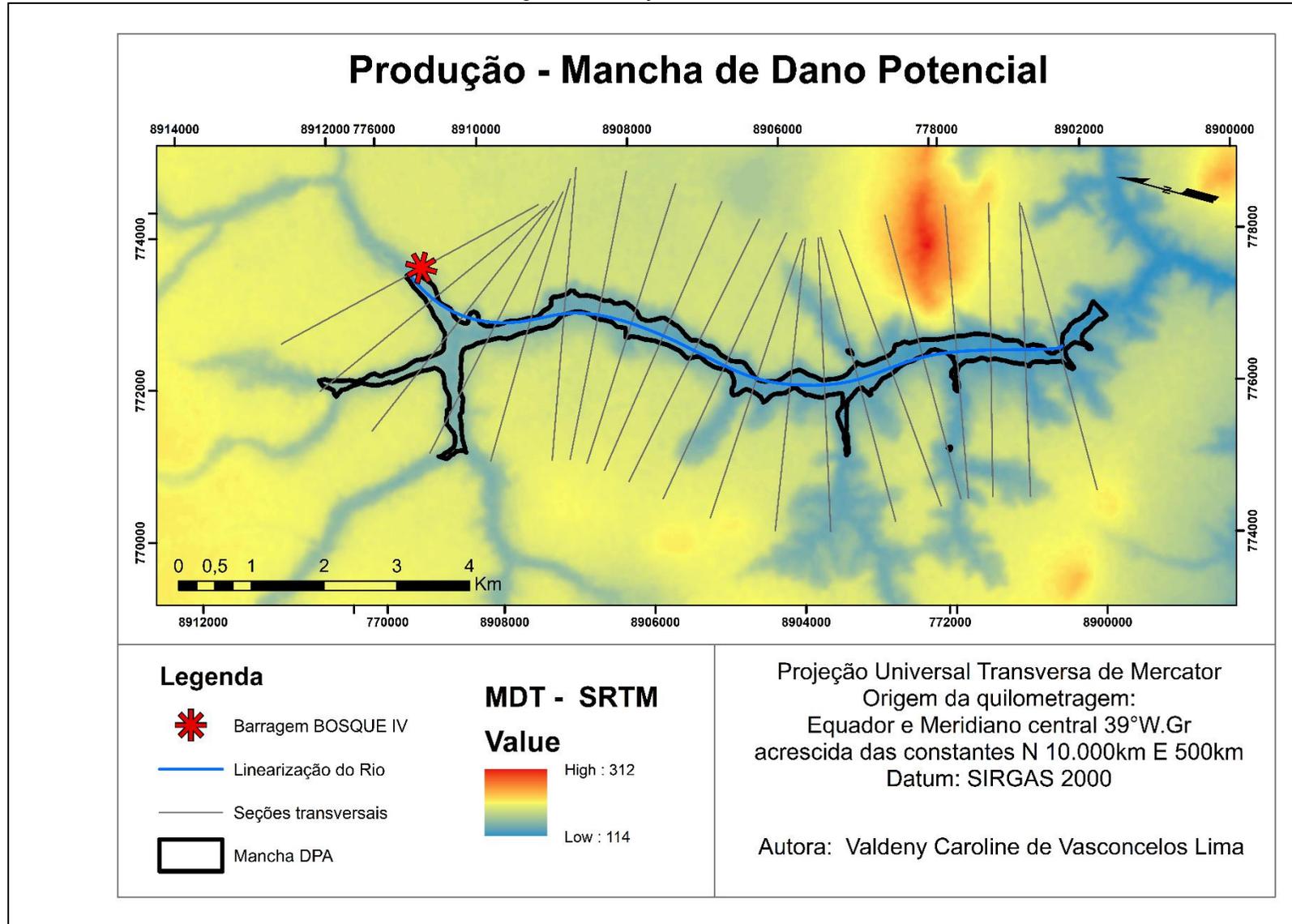
O modelo então criou as seções transversais. Entretanto, as mesmas, por se chocarem, tiveram que ser editadas manualmente de forma a eliminar os cruzamentos entre as seções. O resultado dessa etapa pode ser observado na Figura 11.

Figura 10 – Traçado e linearização do rio.



Elaboração: Autora.

Figura 11 – Seções transversais



Elaboração: Autora.

Com a execução do procedimento metodológico e correções manuais, a mancha DPA da barragem Bosque IV pode ser visualizada na Figura 12, em que a região dentro do polígono formado representa a área que possivelmente será inundada em caso de ruptura dessa barragem.

Figura 12 – Mancha Dano Potencial Associado.



Elaboração: Autora.

4.2 Delimitação das Zonas de Autossalvamento

Com a delimitação do polígono de DPA, o mesmo foi exportado para formato *.kml* - extensão admitida pela plataforma Google Earth – possibilitando a identificação dos elementos no interior e adjacência da mancha através das imagens de satélite contidas no Google Earth Pro™. O intuito foi coletar o maior número de informações possíveis utilizando a ferramenta temporal, selecionando, assim, a imagem mais atual e com melhor resolução espacial disponível no próprio acervo do software.

Figura 13 – Poligonal em *.kml* visualizada no Google Earth Pro™

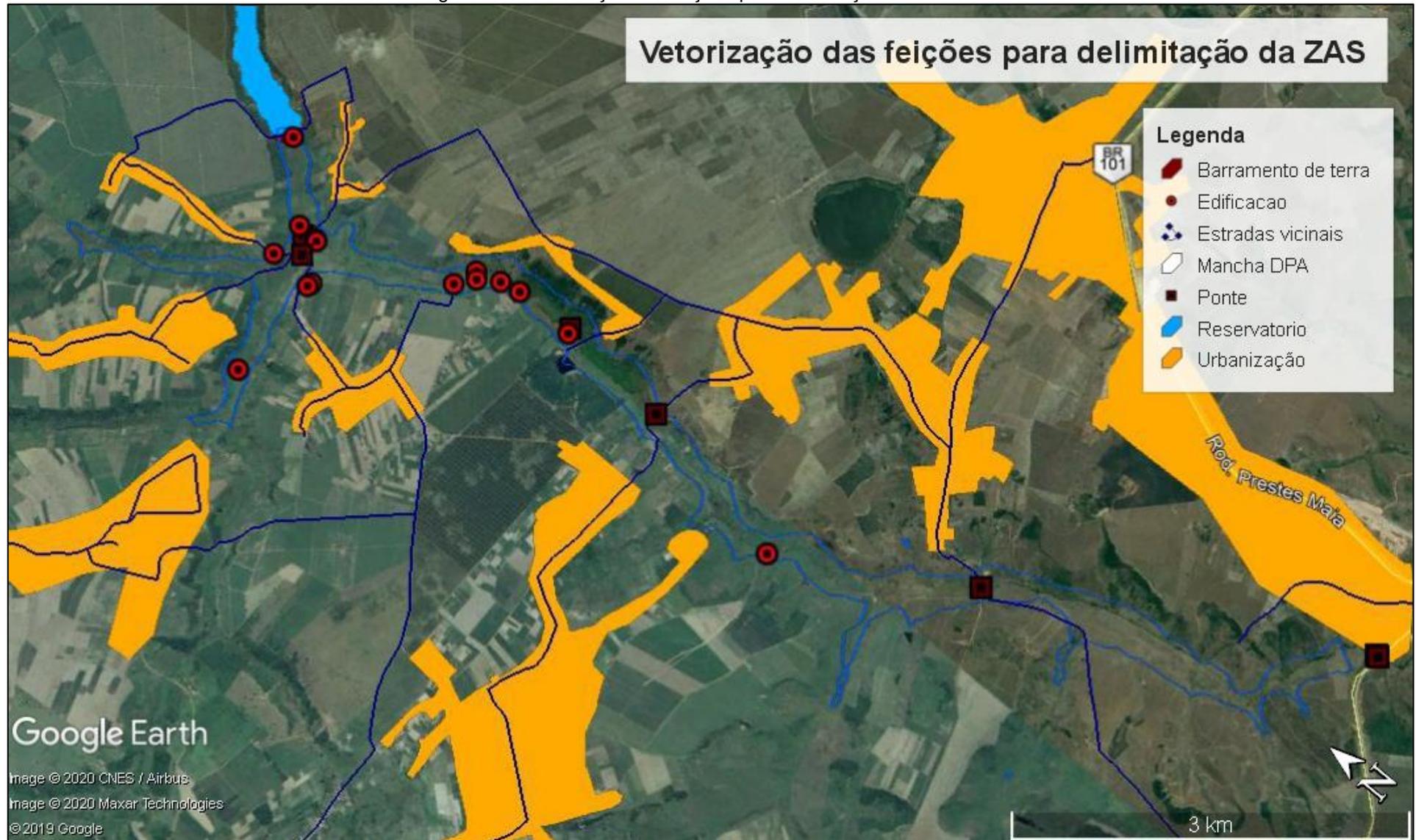


Elaboração: Autora.

Com a poligonal exportada foi possível vetorizar as feições para delimitação da ZAS (Figura 14). Foram atribuídos linhas, polígonos e símbolos na identificação das comunidades no entorno da mancha DPA, prováveis ZAS; as estradas de acesso; as construções, pontes e passarelas existentes dentro da mancha DPA.

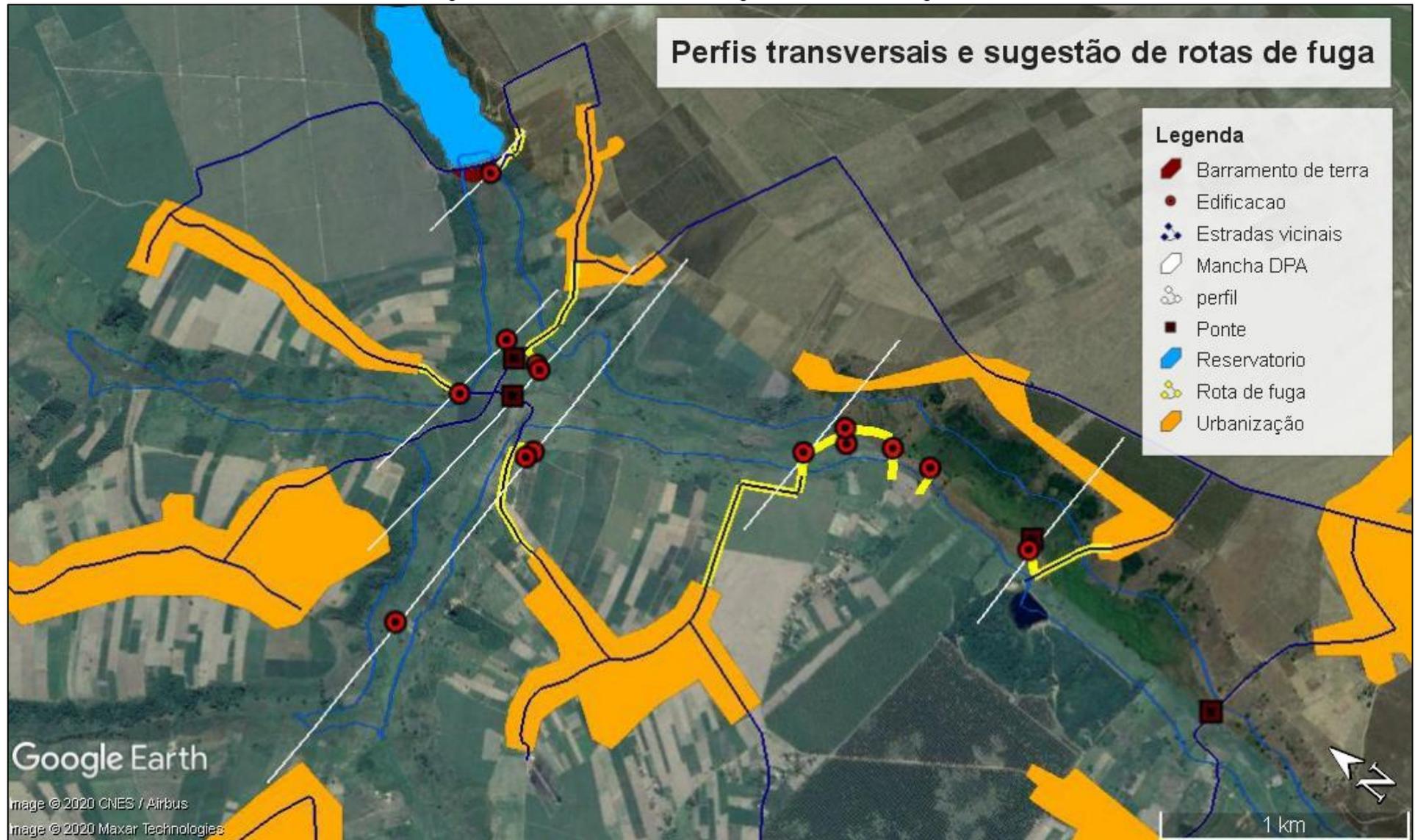
Tendo como ponto de partida as construções identificadas dentro dos limites da mancha DPA foram traçadas rotas de fuga que levassem os possíveis afetados para zonas salvas, as quais caracterizam-se pelos dos pontos mais altos externo a área de risco. As identificações desses pontos de salvamento deram-se através dos dados do SRTM 30M, como também dados de altimetria do Google Earth Pro™. Ao traçar os perfis transversais (Figura 15) foi admitido uma diferença de altitude entre 30 a 40 m para ponto de salvamento, levando o indivíduo sempre em direção a uma comunidade mais próxima.

Figura 14 – Vetorização das feições para delimitação da ZAS.



Elaboração: Autora.

Figura 15 – Perfis transversais e sugestão de rotas de fuga.



Elaboração: Autora.

Com a identificação e vetorização de todos os elementos de interesse, os mesmos foram salvos em *.kml* e importados para o software ArcGis Desktop 10.5 através da ferramenta de conversão *kml to layer* disponível no próprio ArcGis Desktop 10.5.

Os dados vetoriais foram manipulados para melhor visualização, como por exemplo, alteração de alguns ícones, cores e fontes. Para complementar as informações e localização do reservatório foram utilizados dados vetoriais em formato *.shp* do rio Piauí, rio a jusante da barragem, e o perímetro dos municípios de Junqueiro e São Sebastião, com o qual faz divisa, obtidos através do portal Alagoas em dados disponível no endereço eletrônico <http://dados.al.gov.br/>. Foi necessário também utilizar os dados do município de São Sebastião pois ao gerar a mancha DPA viu-se que algumas comunidades próximas ao rio e a ZAS fazem parte deste município.

Ao fazer o cruzamento entre os dados de hidrografia de Junqueiro e os vetorizados anteriormente no Google Earth Pro™ foi visto que algumas rotas de fuga cruzavam o rio, e por isso algumas rotas foram alteradas no próprio ArcGis Desktop 10.5, visando evitar o cruzamento do rio. Pois após uma ruptura, conseqüentemente o nível do rio se elevará impossibilitando assim o seu cruzamento por pedestres.

Com todas as informações vetorizadas e correções feitas obteve-se os dados necessários para composição do mapa com a ZAS e rotas de fuga. A Figura 16 apresenta o produto final deste trabalho e para melhor visualização das rotas de fuga e pontos de salvamento foram feitas duas áreas de zoom no mapa: Situação 1 e Situação 2, conforme pode ser visto nas figuras 17, 18 e 19 respectivamente.

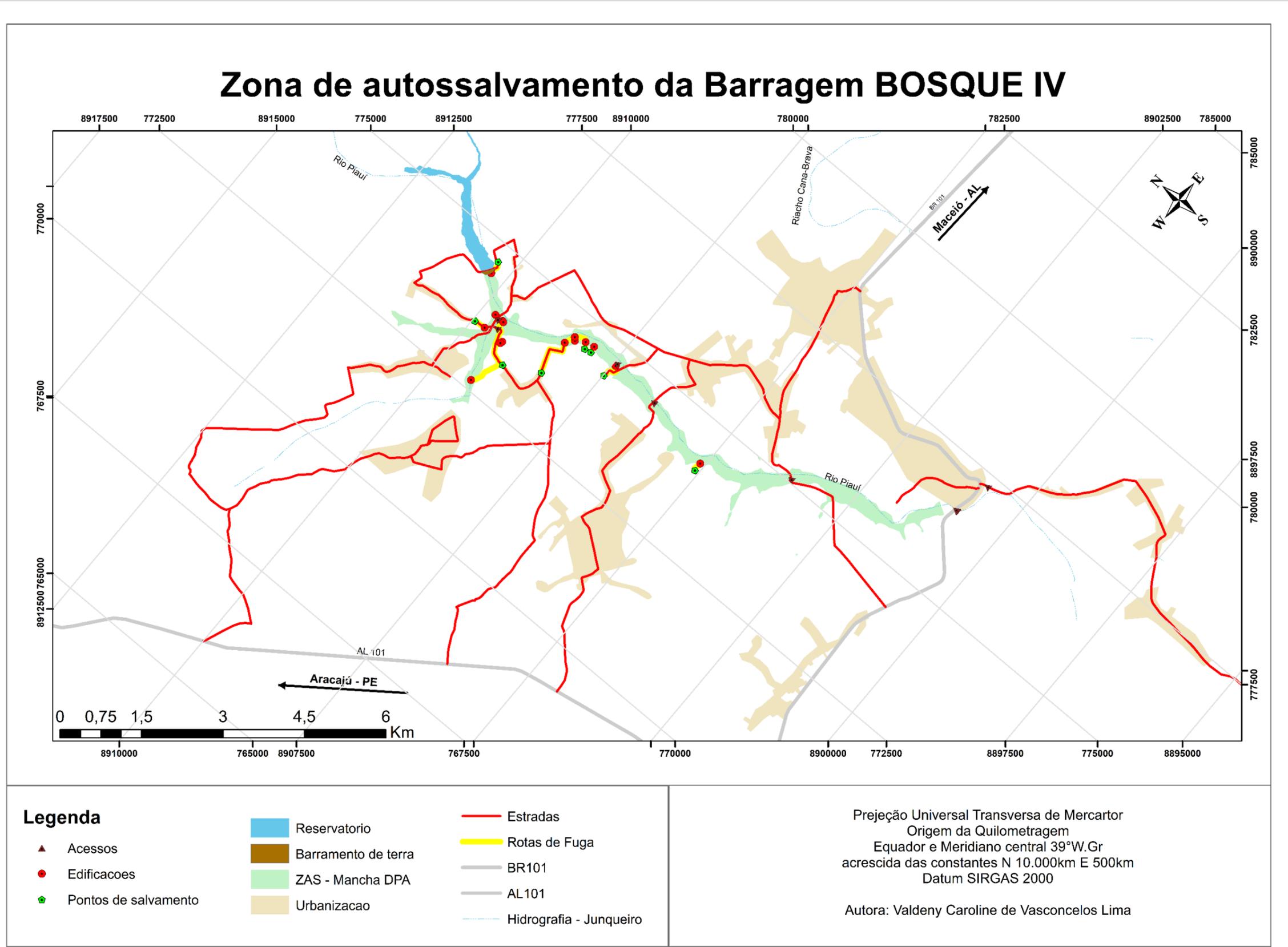
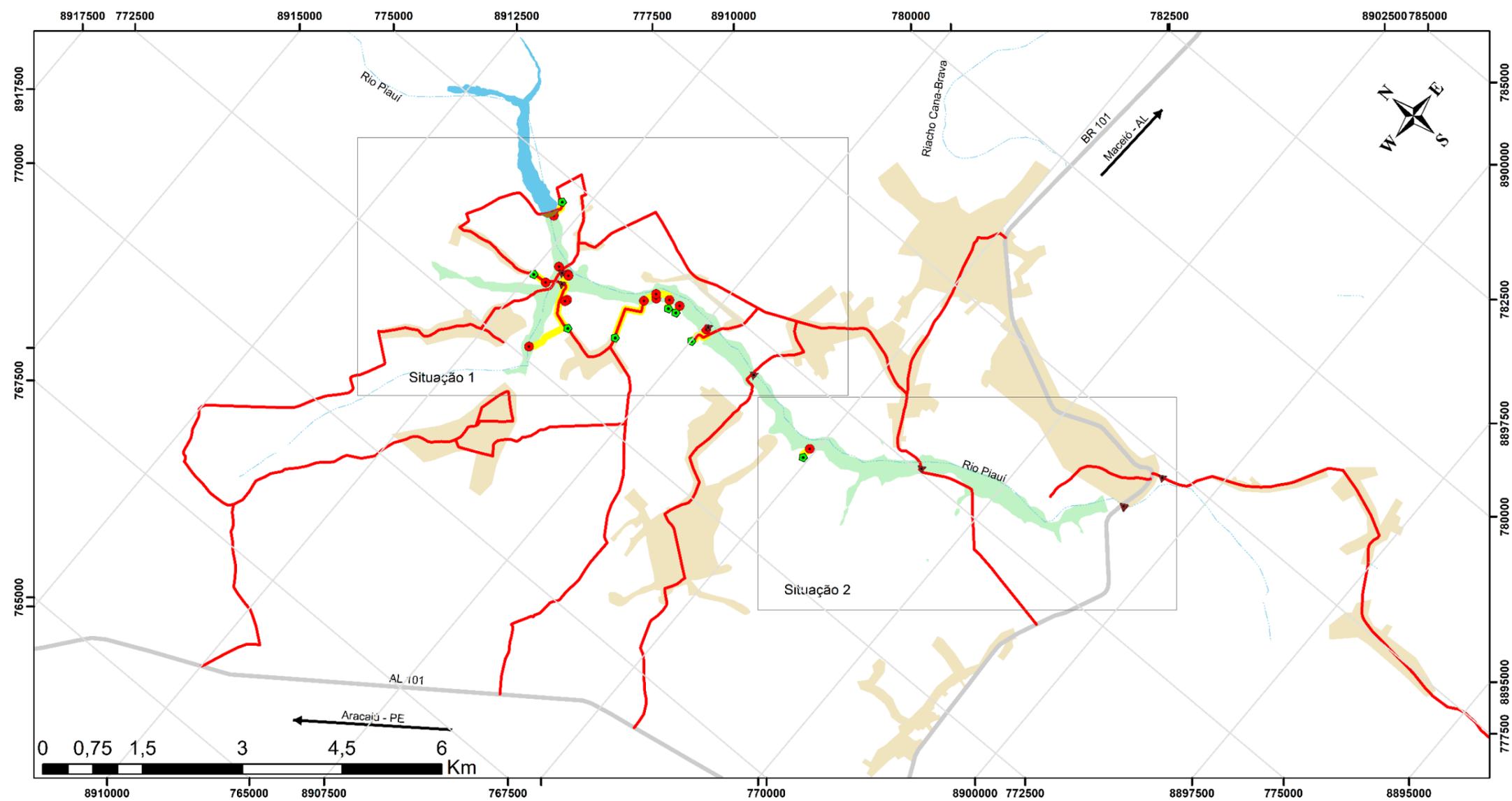


Figura 16 – Mapa das zonas de autossalvamento da barragem BOSQUE IV.

Situações 1 e 2 - Zona de autossalvamento da Barragem BOSQUE IV



Legenda

- ▲ Acessos
- Edificacoes
- ◆ Pontos_de_Salvamento

- Reservatorio
- Barramento de terra
- ZAS - Mancha DPA
- Urbanizacao

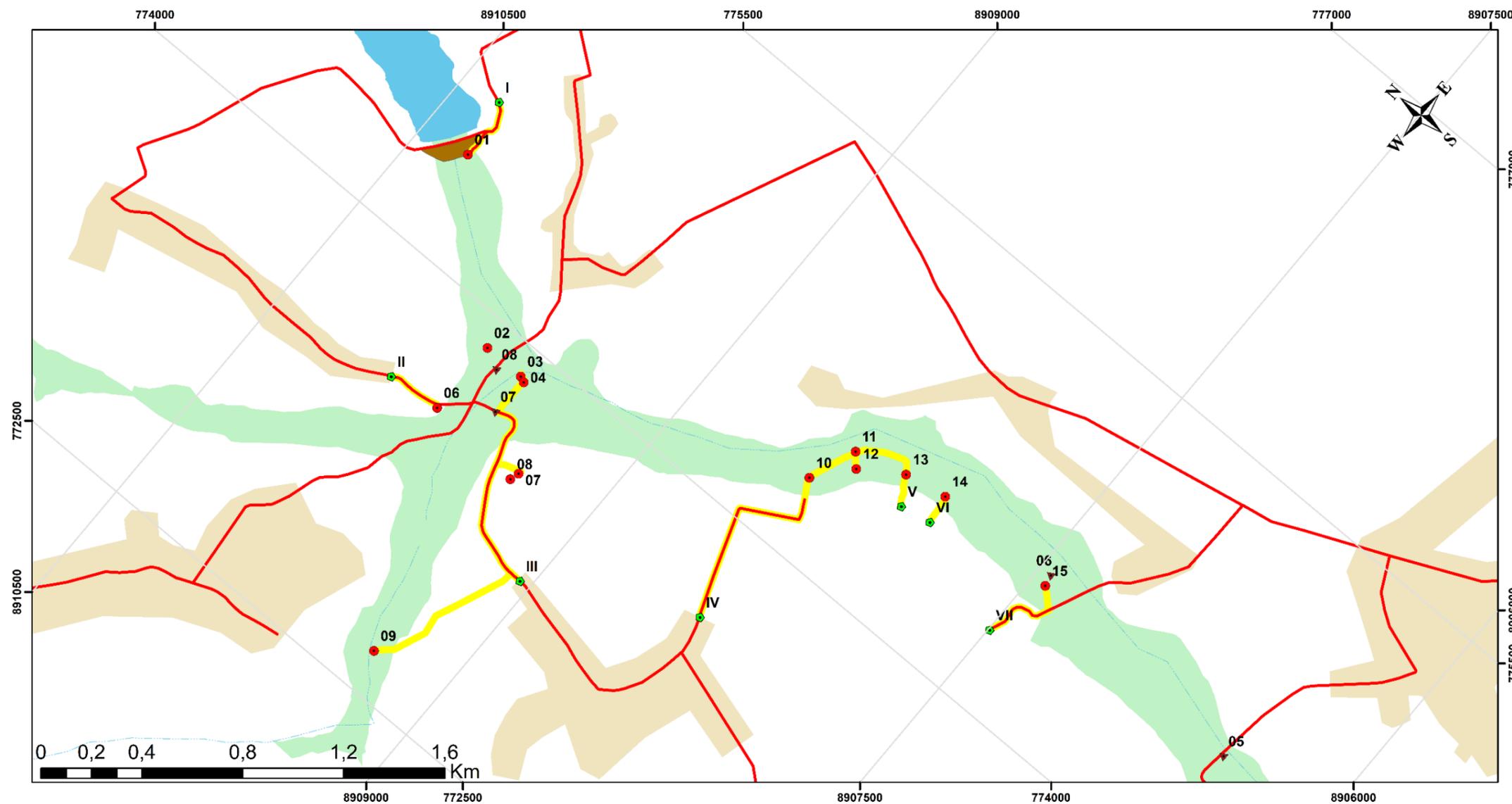
- Estradas
- Rotas de Fuga
- BR101
- AL101
- Hidrografia - Junqueiro

Prejeção Universal Transversa de Mercator
 Origem da Quilometragem
 Equador e Meridiano central 39°W.Gr
 acrescida das constantes N 10.000km E 500km
 Datum SIRGAS 2000

Autora: Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima

Figura 17 – Mapa ZAS – Situações 1e 2.

Situação 1 - Zona de autossalvamento da Barragem BOSQUE IV



Legenda

- ▲ Acessos
- Edificacoes
- ◆ Pontos de Salvamento

- Reservatorio
- Barramento de terra
- ZAS - Mancha DPA
- Urbanizacao

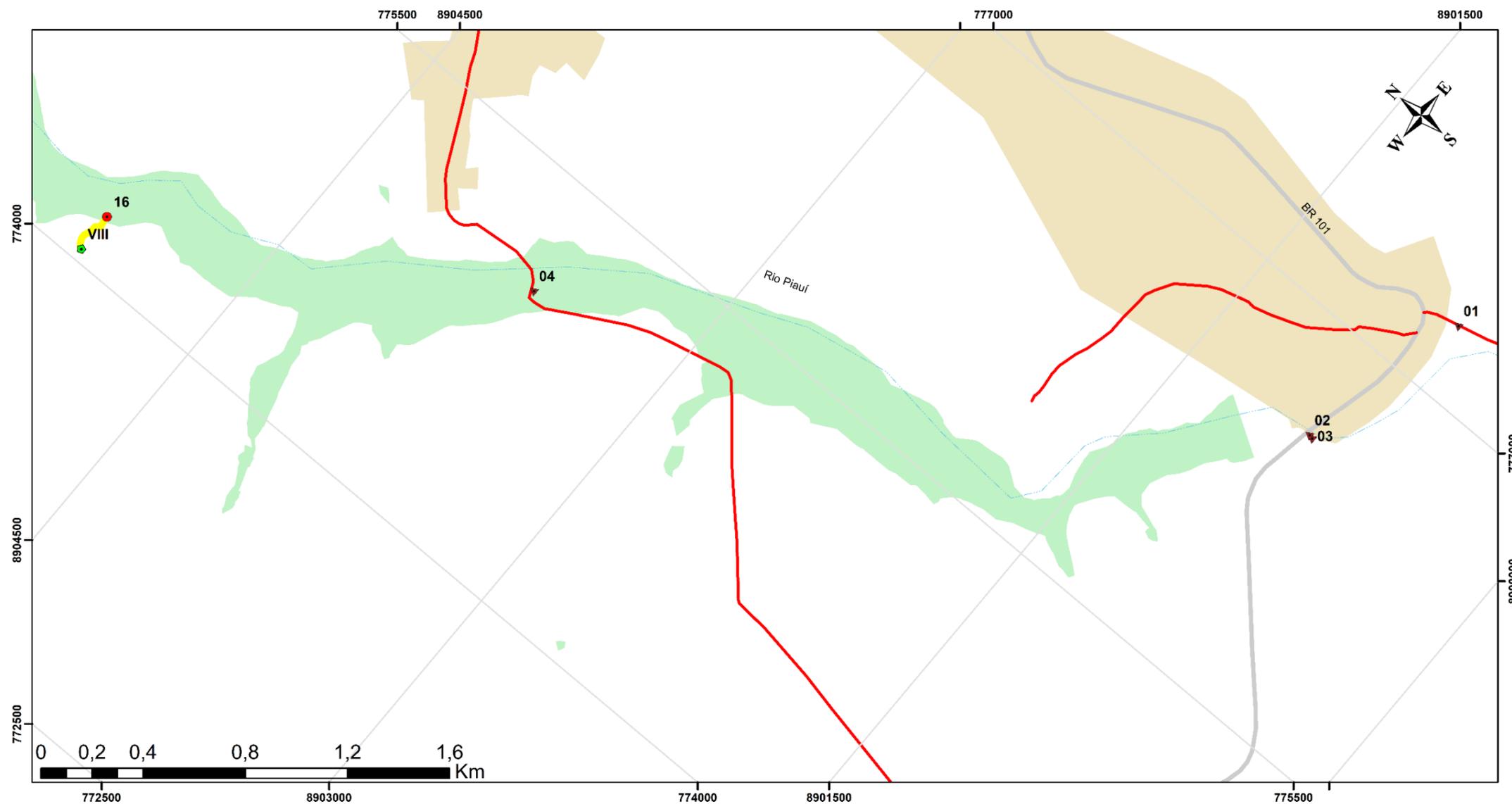
- Estradas
- BR101
- AL101
- Rotas de Fuga
- Hidrografia - Junqueiro

Prejeção Universal Transversa de Mercator
 Origem da Quilometragem
 Equador e Meridiano central 39°W.Gr
 acrescida das constantes N 10.000km E 500km
 Datum SIRGAS 2000

Autora: Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima

Figura 18 – Mapa ZAS – Situação 1.

Situação 2 - Zona de autossalvamento da Barragem BOSQUE IV



Legenda

- ▲ Acessos
- Edificacoes
- ◆ Pontos de Salvamento

- Reservatorio
- Barramento de terra
- ZAS - Mancha DPA
- Urbanizacao

- Estradas
- BR101
- AL101
- Rotas de Fuga
- Hidrografia - Junqueiro

Prejeção Universal Transversa de Mercator
 Origem da Quilometragem
 Equador e Meridiano central 39°W.Gr
 acrescida das constantes N 10.000km E 500km
 Datum SIRGAS 2000

Autora: Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima

Figura 19 – Mapa ZAS – Situação 2.

Este é um estudo hipotético de uma possível ruptura de barramento, neste caso a barragem BOSQUE IV, e como esta foi indicada no RSB de 2017 com vertedouro insuficiente o risco de rompimento aumenta em uma onda de cheia, e se faz necessário conhecer o que ou quem será atingido em caso de ruptura.

Com o mapeamento executado foram identificadas as feições discriminadas no Quadro 04.

Quadro 04 – Informações obtidas analisando a mancha DPA.

IDENTIFICAÇÃO	QUANTIDADE
Edificações	16
Acessos	8
Pontos de salvamento	8

Fonte: Autora.

O quadro anterior apresenta os elementos identificados no mapa de delimitação das zonas de Autossalvamento.

As informações obtidas com esse estudo auxiliam no processo de mitigar possíveis impactos gerados pelo rompimento da barragem, além de fazer o responsável pelo empreendimento reconhecer seu papel de responsabilidade perante as comunidades adjacentes, inclusive em casos de ações indenizatórias.

O mapeamento e identificação desses elementos também auxiliam na elaboração do PAE, podendo citar a implantação de sirenes de alerta a população local; placas de sinalização, que norteiam os usuários da área de risco na identificação de pontos salvos, indicando por onde seguir sem colocar em risco a vida; estradas de acesso a comunidade para as equipes de salvamento que vierem de outros municípios; entre outros.

Reconhecer que sempre haverá o risco de rompimento é inevitável para construções desse porte, porém deve-se buscar sempre conhecer os danos que uma ruptura causaria e elaborar seus respectivos planos emergenciais

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os acidentes ocorridos com barragens no passado, e os elevados danos decorrentes dos acidentes (perdas de vidas humanas, danos ao meio ambiente e à sociedade, etc.) serviram de alerta para a criação de regulamentação específica com critérios de gestão para segurança de barragens e preparação para atuar em situações de emergência.

As metodologias empregadas neste estudo de caso foram satisfatórias e atenderam todos os procedimentos determinados pela ANA, o que gerou um produto fundamental para a elaboração do PAE. Vale ressaltar que todo procedimento executado foi feito em escritório e com produtos e softwares disponibilizados gratuitamente (SRTM, Google Earth Pro™, ArcGIS Desktop, metodologia da ANA), reduzindo ao mínimo os custos de pré-operação em áreas de risco.

A poligonal descrita através da metodologia simplificada utilizada pela ANA simulou os 10km iniciais da possível área atingida caso ocorra a rotura da barragem Bosque IV e foi determinante na delimitação das rotas de fuga da ZAS, apresentando bons resultados considerando sua maior simplicidade de utilização.

A elaboração do mapa da Zona de Autossalvamento é fundamental para redução do risco, evitando maiores danos a vida.

Diante do exposto, e visto que o mapeamento executado se refere ao dano potencial e utilizou de materiais disponibilizados gratuitamente, recomenda-se:

- Obter dados altimétricos mais precisos - podendo ser executado na área de interesse um voo com drone para obter um MDT/MDE com maior precisão;
- Utilizar imagens atuais e de melhor resolução espacial – que podem ser obtidas, também, através de um sobrevoo com drone, ou a partir da compra de imagens de satélite de alta resolução;
- Conseguindo dados de entrada mais precisos seria possível a utilização de um simulador mais conciso, como o software HEC-RAS - um programa de computador que modela o sistema hidráulico do fluxo de água através de rios naturais e outros canais - o que tornaria a simulação mais próxima da realidade, dando mais fidelidade a delimitação da ZAS;
- Com a utilização do HEC-RAS seria possível empregar a extensão HEC-GeoRAS para ArcGis Desktop, facilitando o mapeamento das áreas de risco e delimitação das zonas de Autossalvamento;
- Disponibilização dos produtos gerados para a população do município;
- Conscientização da importância desse tipo de estudo para as áreas de risco.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. C. **Estudos sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para Mapeamento Aéreo com fins de Elaboração de Projeto Viários**. 2014. 149 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Católica de Pernambuco, Recife – PE.
- ALVES, C.M. (2017). Aulas de Laboratório SIG – Exercício 1: Introdução ao ArcGIS”. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 18p.;
- BALBI, D. A. F. (2008). **Metodologias para a elaboração de Planos de Ações Emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: Barragem de Peti– MG**. 353 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte;
- BANCO MUNDIAL. (2014) “**Serviços Analíticos e Consultivos em Segurança de Barragens: Produto 6 - Classificação de Barragens Reguladas pela Agência Nacional de Águas** (Contrato Nº 051/ANA/2012).” Brasília: [s.n.] 639 p.;
- BOMFIM, M. **Geração de Manchas para Classificação de Barragens Quanto ao Dano Potencial Associado**. Brasil: ANA, 2017. Disponível em: http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/capacitacao/Arquivos_Cursos/apresentacoes-do-curso-de-mancha-dpa/geracao-de-manchas-de-dpa-passo-a-passo.pdf. Acesso em: 17 jun. 2019.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Política Nacional sobre Segurança de Barragens**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. [S.l.], set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- EGG, G.C. **Geração de Modelos Digitais de Superfícies Compostas Utilizando Imagens do Sensor PRISM/ALOS**, 2012 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.
- _____. **Resolução nº 132, de 22 de fevereiro de 2016**. Agência Nacional de Águas – ANA. Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela ANA, quanto ao DPA, com fundamento no art. 5º, §3º, da Resolução CNRH nº 143, de 2012, e art. 7º da Lei nº 12.334, de 2010. Disponível em: <http://www.semrah.al.gov.br/recursos-hidricos/seguranca-de-barragens/DOCUMENTO%2011%20RESOLUCaO%20132-2016%20ANA.pdf/view>. Acesso em: 19 jul 2019.

CARVALHO, D. **Barragens: Uma introdução para graduandos**. Unicamp. 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/35220666/B_A_R_R_A_G_E_N_S_UMA_INTRODU%C3%87%C3%83O_PARA_GRADUANDOS. Acesso em: 22 jul. 2019.

CBDB. **Comitê Brasileiro de Barragem**. Histórico. Acessado em: 17/07/2019. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20das%20Barragens>.

CONCEIÇÃO, E. **Uso de Sistema de Informação Geográfica para Auxiliar a Especialização e o Estudo do Preço da Terra em Teutônia/RS**. 2017. 76f. Monografia (Bacharel em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/183563>. Acesso em: 10 de dez. 2019.

FIRKOWSKI, H. (2002). **“Generalização Cartográfica de Grades Retangulares baseada na Teoria Matemática da Comunicação.”** Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 136 p. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34998/T%20-%20HENRIQUE%20FIRKOWSKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 06 de Jan. 2020.

IBGE. **Município de Junqueiro**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/junqueiro.html>>. Acesso em: 06 fev. 2020.

JÓNATAS, R. J. L. **Rotura de barragens de aterro por galgamento - Ensaios experimentais com aterros homogêneos**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/10259/1/ulfc106012_tm_Ricardo_J%C3%B3natas.pdf f. Acesso em: 22 jul. 2019.

JUNQUEIRO. PREFEITURA MUNICIPAL DE JUNQUEIRO. (Org.). **Nossa História: JUNQUEIRO INFORMA**. Disponível em: <<http://www.prefeiturajunqueiro.com.br/p/3/sobre-junqueiro/>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

LAURIANO, A. W., PIMENTA A.J., CORTEZ R.J., SILVA L.C.A.A. (2017). Discussões Sobre os Modos de Falha e Risco de Galgamento de Barragens de Rejeitos. II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos - SGBR, Belo Horizonte, MG.

LAURIANO, A. W. **“Estudo de ruptura da Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS”**. 2009. 251 f. Dissertação de mestrado Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/REPA-82THXE>. Acesso em: 15 de dez. 2019.

LEÃO, F.R. **Dimensionamento de uma pequena barragem de terra para produção de energia hidrelétrica e irrigação em uma propriedade rural**. 2012. 110f. Monografia para

obtenção do título de Bacharel – Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2012.

MARANGON, M. “**Barragens de Terra e Encoramento.**” In: MARAGON, M. “Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra.” [S.l.: s.n.], 2004. unid. 5, p. 1-27. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MELLO, F.M. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens** / [coordenador, supervisor, Flavio Miguez de Mello; editor, Corrado Piasentin]. - Rio de Janeiro: CBDB, 2011. Disponível em: http://www.cbdb.org.br/documentos/A_Historia_das_Barragens_no_Brasil.pdf. Acesso em: 17 jun. 2019.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T., ROSA, A. N. C. S., SANO, E. E., BAPTISTA, G. M. M., BRITES, R. S. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, DF. 276 p. 2012.

PANDIT. **The Applicarions And Data Model of Remote Sensing and Geographical Information System; An Overview.** ELECTRONIC INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (EIIRJ), Vol VII Special Issue No XII, p. 109 – 113, 2018. ISSN–2277-8721.

PIASENTIN, C. Módulo I – barragens: aspectos legais, técnicos e socioambientais; **Unidade 2: aspectos gerais da segurança de barragens.** Disponível em: https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/6/Unidade_2-modulo1.pdf. Acesso em: 19 jul 2019.

RSB. **Relatório de segurança de barragens.** ANA, Ministério do Meio Ambiente, Brasília - DF, p. 1-84, 2017. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017/rsb-2017-versao-enviada-ao-cnrh.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

SANTOS, A.R, *et al.* (2013). “Apostila de Sensoriamento Remoto”. Espírito Santos, v.1. 86 p.

SANTOS, J. B., FRANÇA, M. J., ALMEIDA, A. B. Risco associado à ruptura por galgamento de barragens de aterro. **Inginieria del Agua**, Córdoba, v. 14, n. 4, p.260-278, maio 2007. Disponível em: <https://docplayer.com.br/46384473-Risco-associado-a-ruptura-por-galgamento-de-barragens-em-aterro.html>. Acesso em: 22 jul. 2019.

ZHANG, L. M., XU, Y., JIA, J. S. Analysis of earth dam failures - A database approach. **Isgsr2007- First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk**, Shanghai, v. 1, n. 1, p.293-302, 18 out. 2007.