



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

ANDRESSA DOS SANTOS PEREIRA

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO
– DPA PARA O ESTADO DE RORAIMA: ESTUDO DE CASO DE SETE
BARRAGENS SITUADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ

BOA VISTA, RR

2020

ANDRESSA DOS SANTOS PEREIRA

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO
– DPA PARA O ESTADO DE RORAIMA: ESTUDO DE CASO DE SETE
BARRAGENS SITUADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva

BOA VISTA, RR

2020

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

P436p Pereira, Andressa dos Santos.

Proposta de classificação quanto ao potencial associado DPA para o Estado de Roraima : estudo de caso de sete barragens situadas na bacia hidrográfica do rio Cauamé / Andressa dos Santos Pereira – Boa Vista, 2020.

104 f. :il.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos- PROFÁGUA.

1 – Barragem. 2 – Dano potencial associado. 3 - Classificação. I - Título. II - Silva, Adriano Frutuoso da (orientador).

CDU – 627.82(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:
Marcilene Feio Lima - CRB-11/507-AM

ANDRESSA DOS SANTOS PEREJRA

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO
- DP PARA O ESTADO DE RORAIMA: ESTUDO DE CASO DE SETE
BARRAGENS SITUADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Defendida em 27 de julho de 2020 e avaliada pela seguinte banca:


Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva – Orientador (UFRR)


Prof. Dra. Ofélia de Lira Carneiro Silva (UFRR)


Prof. PhD. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão (PUC-Rio)

A Deus, pela sabedoria e oportunidade concedida,
À minha família e aos amigos, por todo apoio e amparo.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que pelo seu amparo e proteção a mim concedida pude alcançar os objetivos por ele traçados, e por toda sabedoria e disposição para enfrentar cada desafio imposto em minha vida que contribuíram para meu crescimento, tanto pessoal quanto profissional.

Aos meus pais, Delma dos Santos Pereira e Cícero Luiz Pereira Filho, pelo apoio, incentivo, compreensão e paciência que contribuíram para minha formação acadêmica, sempre me guiando pelo caminho correto, sendo motivo de exemplos.

À minha irmã, Vanessa dos Santos Pereira, que com todo seu carinho, paciência e motivação sempre me ajudou a me reerguer após cada queda.

Ao meu namorado, Vinicius de Melo Diniz, que a cada desafio e superação esteve ao meu lado, me apoiando e aconselhando.

Aos meus professores por todo o conhecimento passado, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva e aos Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nóbrega e Dra. Maola Monique Faria pelo suporte e auxílio.

A todos que estiveram comigo nesta jornada, contribuindo para meu desenvolvimento e àqueles que torceram por mim e estimaram sentimentos positivos.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.

(Martin Luther King)

RESUMO

Tendo em vista que a análise do potencial de perdas de vidas humanas, bem como impactos ambientais e socioeconômicos que ocorrem na área de inundação, em caso de possíveis rupturas de barragens, contribuem para elaboração do Plano de Segurança de Barragens – PSB e que tais análises fazem parte dos objetivos e instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, pesquisa-se sobre critérios aplicados à classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado – DPA que reflitam melhor a realidade dos barramentos estudados, a fim de propor um modelo de classificação para o estado de Roraima, baseado no estudo de caso de sete barragens situadas na bacia do Rio Cauamé. Para tanto, é necessário analisar a classificação apresentada pelas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 quando aplicadas aos barramentos do estado de Roraima, analisar de maneira comparativa a classificação das barragens quanto ao DPA utilizando o método simplificado de geração de mancha de inundação e a classificação feita pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Femarh, órgão fiscalizador estadual, com critérios próprios e apresentar proposta de classificação de barragens quanto ao DPA utilizando metodologias complementares, associada à Instrução Normativa Femarh n. 3/2017 e à Resolução ANA n. 132/2016. Realiza-se, então, uma pesquisa do tipo bibliográfica e documental acerca de qual metodologia deve ser utilizada para delimitação da área afetada, bem como quais critérios e pontuações melhor se adequam à realidade dos barramentos estudados, de modo a embasar a proposta apresentada a partir de uma abordagem qualitativa de dados. Diante disso, verifica-se que os critérios estabelecidos nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 penalizaram em excesso as barragens, uma vez que havendo existência de vida humana na área afetada é atribuída pontuação máxima ao critério de potencial de perdas de vidas humanas, sem distribuição quantitativa adequada à realidade das barragens do estado quanto ao impacto socioeconômico. Além disso, quanto aos critérios presente na IN Femarh n. 3/2017, observa-se que houve divergências relevantes na classificação obtida, já que a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Femarh não possui critérios bem definidos para delimitação da área afetada o que pode ter subestimado a referida área, resultando em uma classificação incompatível com a realidade. Assim, verifica-se que a proposta apresentada pondera os critérios já estabelecidos a nível nacional e internacional, alterando faixas de classificações e inserindo critérios quantitativos, de modo a reduzir a discricionariedade por parte do órgão fiscalizador, o que permite a constatação de que o modelo de classificação proposto reflete as boas práticas utilizadas, sendo adequado ao estado de Roraima.

Palavras-chave: Barragem. Dano Potencial Associado. Classificação.

ABSTRACT

Considering that the analysis of the potential loss of human life, as well as environmental and socioeconomic impacts that occur in the flood area, in the event of possible dam breaks, contribute to the elaboration of the Dam Safety Plan – DSP and that such analyzes are part of the objectives and instruments of the National Dam Safety Policy – NDSP, research about criteria applied to the hazard potential rating of dams that reflect in the best way the reality of the studied dams, in order to propose a rating model for the state of Roraima, based on the case study of seven dams located in the basin of the Cauamé River. Therefore, it's necessary to analyze a rating published by resolutions CNRH n. 143/2012 and ANA n. 132/2016, when applied to the dams of the state of Roraima, to analyze in the comparative way the hazard potential rating, using the simplified flood spot generation method and the rating made by *Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Femarh*, state supervisory sector, with its own criteria and present a proposal for the hazard potential rating of dams using complementary methodologies, associated with Normative Instruction Femarh n. 3/2017 and ANA Resolution n. 132/2016. A bibliographic and documentary research is carried out about which methodology should be used to delimit the affected area, as well as which criteria and scores are best suited to the reality of the studied dams, in order to support the proposal presented from of a qualitative approach to data. That said, the criteria established in resolutions CNRH n. 143/2012 and ANA n. 132/2016 penalized in excess the dams, because of if there is presence of human life in the affected area is attributed to a maximum score on the potential loss of life, without a quantitative distribution adequate to the reality of the state dams as to the socioeconomic impact. In addition, about the Normative Instruction Femarh n. 3/2017, check that there were some relevant divergences in the rating, because *Femarh* doesn't have well-defined criteria to delimit the affected area or may have underestimated the specific area, resulting in an incompatible rating with reality. Thus, the proposal presented weighs the criteria already established at national and international level, changing ranges of ratings and inserting quantitative criteria, in order to reduce the discretion of the supervisory sector, which allows the verification that the model of proposed rating reflects the good practices used, being appropriate to the state of Roraima.

Keywords: Dam. Hazard potential rating. Classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação do uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.	20
Figura 2 – Seção transversal de uma barragem de terra homogênea.....	20
Figura 3 – Localização da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.	45
Figura 4 – Etapas para delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cauamé.....	46
Figura 5 – MDE após remoção de depressões espúrias existentes da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.	48
Figura 6 – Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima, utilizando otobacia de nível 4.....	49
Figura 7 – Etapas para delimitação da área afetada.....	50
Figura 8 – Traçado do curso d’água à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.....	52
Figura 9 – Seções distribuídas ao longo da linha d’água suavizada à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.....	53
Figura 10 – Ajuste de seções distribuídas ao longo da linha d’água suavizada à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.....	54
Figura 11 – Mancha de inundação inicial da barragem da Fazenda Umirizal.	56
Figura 12 – Mancha de inundação inicial após quebra de seções transversais da barragem da Fazenda Umirizal.....	57
Figura 13 – Mancha de inundação inicial com <i>buffer</i> de 150,0 m da barragem da Fazenda Umirizal.....	58
Figura 14 – Mancha de inundação final após correções da barragem da Fazenda Umirizal. ..	59
Figura 14 – Terras indígenas inseridas na bacia do Rio Cauamé.....	62
Figura 16 – Análise gráfica da faixa de classificação obtida quanto ao volume.....	76
Figura 17 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao potencial de perdas de vidas humanas.....	77
Figura 18 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto ambiental.....	77
Figura 19 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto socioeconômico.....	78
Figura 20 – Análise gráfica das classes de DPA obtidas.....	79
Figura 21 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao volume, baseada na IN Femarh n. 3/2017.....	82
Figura 22 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, baseada na IN Femarh n. 3/2017.....	82

Figura 23 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto ambiental, baseada na IN Femarh n. 3/2017.....	83
Figura 24 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto socioeconômico, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	84
Figura 25 – Análise gráfica da classificação quanto ao DPA (critério Femarh).	84
Figura 26 – Análise gráfica das classes finais de volume obtidas.....	90
Figura 27 – Análise gráfica das classes finais de potencial de perdas de vidas humanas obtidas.....	90
Figura 28 – Análise gráfica das classes finais de impacto ambiental obtida.....	91
Figura 29 – Análise gráfica das classes finais de impacto socioeconômico obtido.	92
Figura 30 – Análise gráfica das classes finais de DPA obtidas.....	92
Figura 31 – Identificação de barramentos quanto ao efeito cascata.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de barragens no Québec – Canadá.....	25
Tabela 2 – Pontuação relativa à capacidade para cálculo da vulnerabilidade.....	25
Tabela 3 – Capacidade de armazenamento recomendada x distância total à jusante.....	34
Tabela 4 – Estimativa do volume armazenável na faixa da borda livre em função da altura da barragem.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação de sistemas de classificação por dano potencial em alguns países...	22
Quadro 2 – Classificação quanto altura da barragem.....	24
Quadro 3 – Classificação do dano potencial.	24
Quadro 4 – Pontuação relativa às características da área afetada para cálculo das consequências.....	25
Quadro 5 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução CNRH n. 143/2012.....	30
Quadro 6 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução ANA n. 132/2016.	32
Quadro 7 – Classificação das barragens, segundo IN Sedam n. 3/2018.	37
Quadro 8 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Instrução Normativa Sedam n. 3/2018.....	37
Quadro 9 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo IN Femarh n. 3/2017.	39
Quadro 10 – Escopo da metodologia adotada.	43
Quadro 11 – Tipologias utilizadas pela ANA mediante alcance de metas definidas e complexidade de gestão.....	44
Quadro 12 – Dados das barragens cadastradas pela Femarh na bacia do Rio Cauamé.....	45
Quadro 13 – Base de dados utilizada para classificação das barragens.	60
Quadro 14 – Proposta de classificação quanto ao critério do volume total do reservatório....	60
Quadro 15 – Proposta de classificação quanto ao potencial de perdas de vidas humanas.	61
Quadro 16 – Proposta de classificação quanto ao critério de impacto ambiental.	63
Quadro 17 – Proposta de classificação quanto ao critério socioeconômico.....	64
Quadro 18 – Mancha de inundação da barragem Ecopark.....	66
Quadro 19 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Frutal.....	67
Quadro 20 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Nogueira.	68
Quadro 21 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Santo Expedito.....	69
Quadro 22 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda São Domingos.	70
Quadro 23 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Umirizal.....	71
Quadro 24 – Mancha de inundação da barragem Monte Cristo.....	72
Quadro 25 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	73

Quadro 26 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	74
Quadro 27 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Nogueira, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	74
Quadro 28 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedito, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	74
Quadro 29 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	75
Quadro 30 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	75
Quadro 31 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.	75
Quadro 32 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	79
Quadro 33 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	80
Quadro 34 – Classificação quanto ao DPA da barragem fazenda Nogueira, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	80
Quadro 35 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedito, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	80
Quadro 36 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	80
Quadro 37 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	81
Quadro 38 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo, baseada na IN Femarh n. 3/2017.	81
Quadro 39 – Proposta de classificação quanto ao DPA das barragens para o estado de Roraima.	85
Quadro 40 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark pelo critério proposto.	86
Quadro 41 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal pelo critério proposto.	87
Quadro 42 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Nogueira pelo critério proposto.	87

Quadro 43 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedito pelo critério proposto.....	88
Quadro 44 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos pelo critério proposto.....	88
Quadro 45 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal pelo critério proposto.	88
Quadro 46 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo pelo critério proposto.	89
Quadro 47 – Localização dos barramentos encontrados próximos às barragens estudadas.....	93

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CRI	Categoria de Risco
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DPA	Dano Potencial Associado
Femarh	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IN	Instrução Normativa
MDE	Modelo Digital de Elevação
PAE	Plano de Ação Emergencial
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	BACIA HIDROGRÁFICA	18
1.1.1	Bacia hidrográfica do Rio Cauamé	19
1.2	BARRAGENS.....	20
1.2.1	Sistema de classificação a nível internacional	22
1.2.1.1	África do Sul	23
1.2.1.2	Austrália	24
1.2.1.3	Canadá.....	24
1.2.1.4	Portugal	27
1.2.2	Sistema de classificação a nível nacional	28
1.2.2.1	Método simplificado de geração de mancha de inundação	34
1.2.2.2	Ceará.....	36
1.2.2.3	Paraná	36
1.2.2.4	Rondônia	37
1.2.2.5	São Paulo.....	38
1.2.2.6	Roraima	39
1.3	EFEITO CASCATA.....	40
2	OBJETIVOS	42
2.1	OBJETIVO GERAL.....	42
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
3	MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	43
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.3	IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS	46
3.4	DELIMITAÇÃO DA BACIA EM ESTUDO	46
3.4.1	Base de dados	47
3.4.2	Modelo MGB/IPH	47
3.4.3	Ottobacia de nível 4	48
3.5	DELIMITAÇÃO DA ÁREA AFETADA.....	49
3.5.1	Base de dados	50
3.5.2	Traçado do curso d'água represado	51
3.5.3	Obtenção da altimetria dos pontos ao longo das seções transversais	53

3.5.4	Geração da mancha de inundação	55
3.5.5	Correções manuais	57
3.6	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DPA DAS BARRAGENS.....	59
3.7	PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DPA	60
3.7.1	Volume total do reservatório	60
3.7.2	Potencial de perdas de vidas humanas	61
3.7.3	Impacto ambiental	62
3.7.4	Impacto socioeconômico	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	MANCHAS DE INUNDAÇÃO OBTIDAS	65
4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS QUANTO O DPA.....	73
4.2.1	Análise comparativa entre o critério do CNRH e da ANA	73
4.2.2	Análise do critério da Femarh	79
4.3	PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE DPA PARA O ESTADO DE RORAIMA	85
4.4	ANÁLISE DO EFEITO CASCATA.....	93
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

Sancionada e publicada em 2010, a Lei n. 12.334 estabeleceu a PNSB destinada à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e criou o SNISB (BRASIL, 2010).

Um dos instrumentos da PNSB é o sistema de classificação de barragens por CRI e por DPA. Além disso, destaca-se que um dos objetivos da referida política é garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências.

Nesta seara, a Lei n. 12.334/2010, atribuiu ao CNRH a competência de estabelecer critérios gerais de classificação de barragens por CRI, DPA e pelo seu Volume, culminando na Resolução CNRH n. 143/2012 (CNRH, 2012).

Destaca-se que a própria Resolução CNRH n. 143/2012 define DPA como o dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, mau funcionamento de uma barragem ou à infiltração no solo, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

Além disso, os critérios para classificação da barragem quanto ao DPA levam em consideração a área afetada, ou seja, a área à jusante e montante potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cuja metodologia de definição de seus limites deverá ser determinada pelo órgão fiscalizador.

No estado de Roraima, de modo a regulamentar a Resolução CNRH n. 143/2012, foi publicada pelo órgão fiscalizador estadual, Femarh, a IN Femarh n. 3/2017 (Femarh, 2017). Contudo, de acordo com ANA (2017d), todos os barramentos existentes, comunicados até a data da pesquisa, foram construídos anteriormente à Legislação Federal n. 12.334/2010 e até mesmo à instituição formal do órgão responsável pelo seu cadastro, regularização e fiscalização. Deste modo, as barragens não foram inseridas no sistema nacional de barragens devido a grande maioria não estarem regularizadas, estando em fase de elaboração instrumento legal para regularização daquelas.

A identificação e o cadastro das barragens são essenciais para classificação quanto ao DPA, a qual é realizada em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem. Se não há conhecimento sobre a existência de determinada barragem, não há classificação, o que implica dizer que nada se sabe acerca do dano potencial naquela área afetada.

A classificação quanto ao DPA das barragens situadas na bacia do Cauamé poderá contribuir para elaboração do PSB, proporcionando dados concretos que possam ser utilizados posteriormente pelo órgão fiscalizador e otimizando inclusive os serviços de fiscalização quanto as inspeções, definição de obras prioritárias, critérios objetivos de avaliação, planos de ação de risco, entre outros, que serão definidos em função do DPA das barragens. Destaca-se que a periodicidade mínima da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, de acordo com ANA (2017), será definida em função da matriz de CRI e DPA da barragem, evidenciando-se assim a sua grande importância.

Para tanto, esta pesquisa partiu da hipótese de que a melhor maneira de propor um modelo de classificação de barragens quanto ao DPA, aplicável à realidade local, é alterar as pontuações de cada faixa de classificação, uma vez que as barragens do estado de Roraima são de pequeno porte, não havendo a necessidade de pontuações que culminem no excesso de penalização.

A seguir serão apresentadas as fundamentações teóricas utilizadas para embasamento do presente estudo.

1.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Para Tucci (2015), a bacia hidrográfica pode ser considerada como sistema físico de entrada e saída de água, sendo que a entrada de água ocorre a partir da precipitação e a saída do volume escoado pelo exutório, considerando ainda a evapotranspiração e a infiltração. Destaca-se que, para Silva e Santos (2016), a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio.

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO; PORTO, 2008).

De acordo com Pereira, Collares e Lorandi (2016), a gestão do uso e ocupação do solo, considerando os limites da bacia, torna-se uma forma de compatibilizar as variadas utilizações da água. É na bacia que se encontra obras de barragens, quer seja para geração de energia, quer seja para dessedentação de animais, o que demonstra a importância da delimitação e estudo adequado das bacias hidrográficas.

Neste contexto, sabendo-se que o Rio Cauamé é sub-bacia do Rio Branco, o rio mais importante do município de Boa Vista – Roraima (LEMOS; OAIGEN; SOUZA, 2007), o presente estudo se restringirá às barragens de acumulação de água inseridas na bacia hidrográfica do Rio Cauamé.

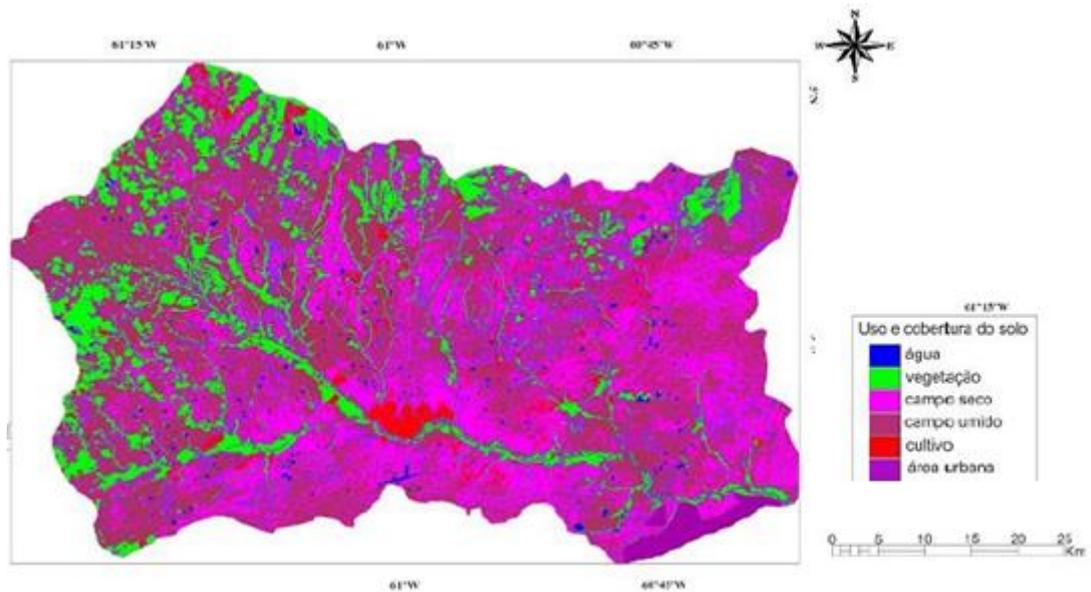
1.1.1 Bacia hidrográfica do Rio Cauamé

A bacia hidrográfica do Rio Cauamé, afluente da margem direita do alto Rio Branco, possui uma área de 3.159,0 km² e está situada na porção nordeste do estado de Roraima, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre. Está inserida dentro do domínio do lavrado, região campestre que se estende pelo nordeste de Roraima, Guiana e Venezuela, por cerca de 65,0mil km² (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014).

Na parte central da bacia estão localizadas as áreas de depressão de Boa Vista com variações altimétricas de 130,0 a 110,0 m. Já na parte sudeste comparece as unidades geomorfológicas: áreas abaciadas inundáveis; veredas; lagos; e planícies e terraços fluviais do rio Cauamé e igarapés maiores, com altitude de 60,0 m na foz do rio Cauamé (REIS NETO; COSTA, 2010).

Ainda de acordo com Oliveira e Carvalho (2014), a cidade de Boa Vista, região naturalmente favorável ao estabelecimento de sistemas lacustres devido ao baixo gradiente do relevo e lençol freático raso, situa-se à margem direita do baixo Cauamé, com 14,0 % de representatividade da bacia. Já a classe de cultivo, abrangendo as fazendas de irrigação, representa 3,0 % da bacia, sendo a área de maior impacto na bacia, devido à mecanização (ver Figura 1).

Figura 1 – Classificação do uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.



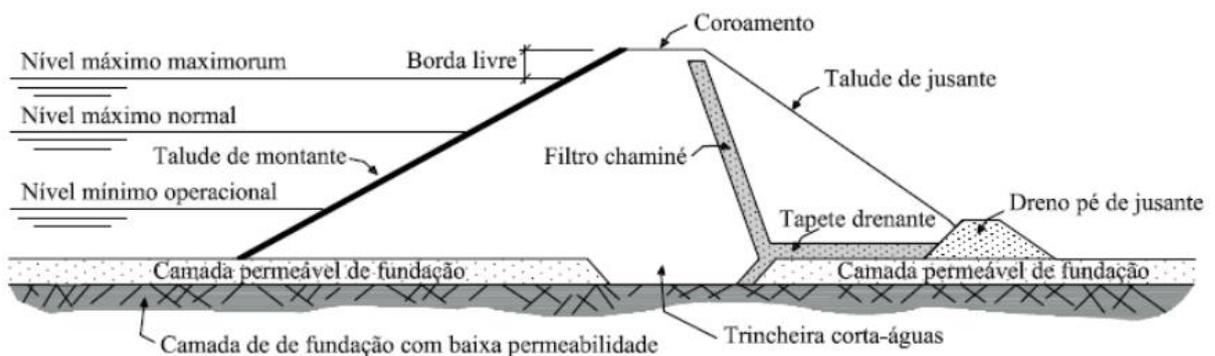
Fonte: Oliveira e Carvalho (2014).

1.2 BARRAGENS

Barragem é definida como estrutura construída transversalmente ao corpo hídrico ou talvegue, podendo elevar o nível d'água, criar reservatório de acumulação de água ou, em caso de barragem de rejeitos, reter rejeitos ou materiais estéreis de mineração e de outros processos industriais (MI, 2002).

As barragens de terra podem ser constituídas por uma grande variedade de solos naturais, apresentando aterro homogêneo ou zoneado, construído transversalmente ao curso de água, conforme ilustra Figura 2.

Figura 2 – Seção transversal de uma barragem de terra homogênea.



Fonte: ANA (2016a).

Em geral, é a partir da construção de barragens que se garante o volume requerido de água para atender a um determinado uso. Estes usos podem ser ainda para: dessedentação de animais; recreação de contato primário e secundário; irrigação; pesca; indústria; balneário; agricultura; entre outros.

De acordo com ANA (2016a), as pequenas barragens de terra podem ser constituídas por variados tipos de solos e há possibilidade de maior adequação às grandes deformações sem ruptura, já que as tensões aplicadas na fundação são bastante reduzidas e o trajeto da água infiltrada através da fundação é necessariamente longo.

De acordo com ANA (2016a), os danos potenciais são os principais impactos associados à construção de pequenas barragens, bem como a sedimentação do reservatório, o crescimento de plantas aquáticas, a redução significativa dos escoamentos para jusante e a circulação de peixes. Assim sendo, deverá haver avaliação quanto ao dano às pessoas, habitações ou propriedades afetadas pela onda de inundação devido ao eventual rompimento da barragem.

Ainda de segundo ANA (2016a), deve ser delimitada pela seção do corpo hídrico em que a onda de inundação atinge a ordem de grandeza da cheia de dimensionamento do vertedouro a região do vale a jusante da barragem potencialmente afetada pelo rompimento da barragem, bem como serem analisadas possíveis interferências na estabilidade das barragens à jusante.

Segundo Fontenelle et al. (2017), o aumento do número de barragens também torna crescente a preocupação com a segurança deste tipo de estrutura. Grandes acidentes com barragens chamaram atenção para este problema, haja vista que a falha destas estruturas pode deixar áreas inundadas, plantações dizimadas e causar mortes de populações e animais.

Considerando o risco potencial de ruptura ou outro acidente grave, bem como sua área de impacto no âmbito humano, social, ambiental e econômico-financeiro, tratar de questões de segurança das barragens é essencial para redução de possibilidades de desastres e crimes ambientais.

Neste contexto, tendo em vista que risco é a combinação da probabilidade de um evento com a sua consequência, Anderaós, Araújo e Nunes (2013) consideram que, de certo modo, o mais importante dos sete instrumentos da PNSB, estabelecida pela Lei Federal n.º 12.334/2010, é o sistema de classificação de barragens, por categoria de risco, por dano potencial associado e por volume. Os autores constataram ainda que tal sistema deverá ser o dosador das medidas e procedimentos de monitoramento a serem adotados, de forma a tornar mais seguras as barragens, determinando a periodicidade e o conteúdo mínimo das inspeções

regulares e especiais, da revisão periódica, e a obrigatoriedade ou não de elaboração do PAE da barragem, segundo regulamentos a serem publicados pelos agentes fiscalizadores da segurança de barragens.

1.2.1 Sistema de classificação a nível internacional

De acordo com Banco Mundial (2015), as barragens são classificadas em função do seu porte, aspectos físicos e usos, possibilitando determinar, em caso de ruptura, a onda de cheia. Contudo, tais aspectos não se relacionam diretamente com as consequências de uma ruptura, devendo ser analisada uma abordagem baseada no risco, ou seja, no produto da probabilidade de ruptura pelas consequências.

Já há uma tendência de migração entre a metodologia padrão básica de classificação de barragens para a metodologia baseada no risco informado. Alguns países como, por exemplo, Austrália e Canadá já adotaram ou estão em vias de adoção da abordagem baseada no risco. Portugal, que ainda usa o sistema de classificação de dano potencial para identificar as barragens de acordo com os impactos de suas consequências, por exemplo, está examinando essa abordagem para classificar suas barragens com base no risco e priorizar o financiamento na tomada de medidas para a redução de riscos (BANCO MUNDIAL, 2015).

Estudos desenvolvidos pelo Banco Mundial avaliando comparativamente os arcabouços regulatórios relativos à segurança de barragens em 22 países foi uma referência fundamental para a elaboração da Lei de Segurança de Barragens no Brasil, sendo adotado na comparação países como África do Sul, Austrália e Canadá, os quais são países federativos e possuem: lei de segurança de barragens, arcabouço técnico já estabelecido em relação à segurança de barragens; uma classificação das barragens baseada em consequências; entre outros critérios estabelecidos (BANCO MUNDIAL, 2015).

Assim, o Quadro 1 abaixo apresenta uma comparação de sistemas de classificação por dano potencial em alguns países proposto por Banco Mundial (2015), de modo a evidenciar pontos convergentes ou não com a legislação brasileira.

Quadro 1 – Comparação de sistemas de classificação por dano potencial em alguns países.

País	África do Sul	Austrália/ Queensland	Canadá/ Quebec	Portugal	Brasil
Classes/ Categorias	3	2	Sistema de classificação	3	3

País	África do Sul	Austrália/ Queensland	Canadá/ Quebec	Portugal	Brasil
Nomes das classes	I, II, e III	1 e 2	baseado em matriz de risco, que combina vulnerabilidade e consequências em função de ponderações. A definição dos riscos é comparada no relatório com uma prática nacional.	Alto, significativo e baixo	Alto, médio, baixo
Níveis de danos potenciais	Alto, significativo e baixo	Alto e baixo		Alto, significativo e baixo	Alto, médio, baixo
Consequências	Perda de vidas e econômicas e impacto adverso sobre qualidade de recursos	População em risco		População em risco e danos socioambientais e econômicos	Perda de vidas e perdas econômicas, ambientais e de serviços vitais
Observações	Classificação em 3 níveis baseada em matriz com classe de tamanho versus pontuação de dano potencial	Aplicável a barragens reguladas; não é regulada se População em risco < 2		População em risco > 25 implica classe alta	Perda de vidas implica classe alta
Situação em relação à perdas de vidas	As categorias de Perda de vidas são definidas como: nenhuma; > 10; e < 10.	Não define a categoria em função da perda de vidas, mas em função da População em risco.		Não define a categoria em função da perda de vidas, mas em função da População em risco.	Existência de população à jusante com potencial de perda de vidas humanas.

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2015).

1.2.1.1 África do Sul

De acordo com República da África do Sul (2012), todas as barragens com risco de segurança devem ser classificadas com base em seu tamanho e potencial de risco para determinar o nível de controle sobre a segurança da estrutura. A classificação quanto ao tamanho da barragem é feita de acordo com Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação quanto altura da barragem.

Classe de tamanho	Altura máxima
Pequena	$H < 12$ m
Média	$12 \leq H < 30$ m
Grande	$H \geq 30$ m

Fonte: República da África do Sul (2012).

A classificação por dano potencial deve ser feita conforme Quadro 3, analisando inclusive a qualidade da água armazenada e volume estimado de sedimentos no reservatório, quanto ao impacto ambiental. Destaca-se que a classificação de dano potencial de uma barragem é determinada considerando separadamente a perda potencial de vida, perda econômica potencial e efeitos ambientais adversos a jusante da barragem (REPÚBLICA DA ÁFRICA DO SUL, 2012).

Quadro 3 – Classificação do dano potencial.

Classe de dano potencial	Potencial perda de vidas	Potencial perda econômica	Impacto potencial adverso sobre a qualidade dos recursos ambientais
Baixo	Nenhum	Mínimo	Baixo
Significativo	≤ 10	Significativo	Significativo
Alto	> 10	Grande	Severo

Fonte: República da África do Sul (2012).

1.2.1.2 Austrália

De acordo com Queensland (2019) devem ser realizadas avaliações de impacto de ruptura para barragens que possuam alturas maiores que 10m de altura e capacidade de armazenamento de mais de 1,5 milhões m^3 ou ainda com alturas maiores que 10m de altura e capacidade de armazenamento de mais de 750 mil m^3 e uma bacia de drenagem maior do que três vezes a máxima superfície do espelho d'água no nível de máxima acumulação.

Além disso, quanto ao impacto à perda de vidas, divide-se em duas categorias, abrangendo população em risco entre 2 e 100 pessoas, e acima de 100 pessoas.

1.2.1.3 Canadá

De acordo com Québec (2019), as barragens deverão ser classificadas em função do grau de risco que representa para pessoas e bens (P), medido por meio da multiplicação entre o valor numérico de sua vulnerabilidade (V) e das potenciais consequências de uma falha da

barragem (C). Assim, as barragens são classificadas em quatro classes em função do grau de risco P, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Classes de barragens no Québec – Canadá.

Risco (P)	Classe
$P \geq 120$	A
$70 \leq P < 120$	B
$25 \leq P < 70$	C
$P < 25$	D

Fonte: Québec (2019).

A vulnerabilidade (V) de uma barragem é medida por meio do produto entre o valor médio aritmético dos parâmetros físicos constantes, tais como altura, tipo de barragem, capacidade (ver Tabela 2) e tipo de fundação, e o valor médio aritmético dos parâmetros variáveis, tais como idade, sismicidade, condição da barragem e confiabilidade das estruturas de descarga. Destaca-se que os parâmetros físicos e variáveis variam linearmente com os valores de suas respectivas pontuações (QUÉBEC, 2019).

Tabela 2 – Pontuação relativa à capacidade para cálculo da vulnerabilidade.

Capacidade (10^6 m^3)	Pontos
≤ 1	1
50	3
1.000	5
2.000	6,5
5.000	8
6.000	10

Fonte: Québec (2019).

O valor numérico das consequências (C) é definido em função das características de ocupação do vale à jusante, obtido por meio do Quadro 4 (QUÉBEC, 2019).

Quadro 4 – Pontuação relativa às características da área afetada para cálculo das consequências.

Características da área afetada	Categoria de consequências	Pontos
Área desabitada ou Área contendo infraestruturas ou serviços mínimos, tais como: - uma segunda barragem na categoria de consequências muito baixa; - uma estrada de acesso;	Muito baixa	1

Características da área afetada	Categoria de consequências	Pontos
<ul style="list-style-type: none"> - fazendas; - uma instalação comercial sem acomodações. 		
<p>Área habitada ocasionalmente contendo menos de 10 casas ou residências sazonais;</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área contendo uma instalação comercial que fornece alojamento para menos do que 25 pessoas ou que tenha menos de 10 unidades de alojamento (ou seja, 10 casas de campo, 10 parques de campismo, 10 quartos de motel);</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços limitados, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - uma segunda barragem na categoria de baixa consequência; - uma estrada local. 	Baixa	2
<p>Área permanentemente habitada contendo menos de 10 residências ou ocasionalmente habitadas e contendo 10 ou mais casas ou residências sazonais;</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área que contém uma instalação comercial sazonal que oferece acomodação para 25 ou mais pessoas ou que contém 10 ou mais unidades de alojamento ou que opera durante todo o ano e oferece acomodação para menos de 25 pessoas ou com menos de 10 unidades de alojamento;</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços moderados, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - uma segunda barragem na categoria consequência moderada; - uma via de acesso; - uma linha de trem (local ou regional); - uma empresa com menos de 50 trabalhadores; - a principal entrada da água a montante ou a jusante da barragem que abastece um município. 	Moderada	3
<p>Área permanentemente habitada contendo 10 ou mais residências e menos de 1.000 moradores</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área que contém um estabelecimento comercial que opera durante todo o ano e oferece acomodação para 25 ou mais pessoas, ou tem 10 ou mais unidades de alojamento;</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços significativos, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - uma segunda barragem na categoria Alta Consequência; - uma estrada regional; - uma linha de trem (transcontinental ou transfronteiriça); - uma escola; - uma empresa que detém 50 a 499 trabalhadores. 	Alta	5
<p>Área permanentemente habitada por uma população de mais de 1.000 e menos do que 10.000;</p> <p style="text-align: center;">Ou</p> <p>Área contendo grandes infraestruturas ou serviços, tais como:</p>	Muito alta	8

Características da área afetada	Categoria de consequências	Pontos
<ul style="list-style-type: none"> - uma segunda barragem na categoria consequência muito alta; - uma estrada autoestrada ou nacional; - uma empresa que tem 500 ou mais empregados; - um parque industrial; - um local de armazenamento de substâncias perigosas. 		
<p>Área permanentemente habitada por uma população de 10.000 ou mais;</p> <p style="text-align: center;">ou</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços substanciais tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - uma segunda barragem na categoria consequência grave; - um hospital; - um grande complexo industrial; - um grande local de armazenamento de substâncias perigosas. 	Grave	10

Fonte: Québec (2019).

1.2.1.4 Portugal

O regulamento vigente quanto a segurança de barragens aplica-se a todas as barragens de altura igual ou superior a 15,0 m, barragens de altura igual ou superior a 10,0 m cujo reservatório tenha uma capacidade superior a 1,0 hm³ e barragens de altura inferior a 15,0 m que tenham capacidade superior a 100,0 mil m³ (PORTUGAL, 2007).

As barragens devem agrupar-se em função dos danos potenciais a elas associados, correspondendo ao cenário de acidente mais desfavorável, havendo três classes de barragens definidas em função da ocupação humana, dos bens e do ambiente existentes (PORTUGAL, 2007):

- a) Classe I: residentes em número igual ou superior a 25;
- b) Classe II: residentes em número inferior a 25, ou infraestruturas e instalações importantes, ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis, ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas;
- c) Classe III: as barragens restantes.

A região a jusante da barragem deve ser delimitada da seguinte maneira (PORTUGAL, 2007):

- a) Com base em resultados obtidos por meio de modelos hidrodinâmicos para cálculo da onda de cheia, podendo também ser utilizados modelos simplificados ou fórmulas empíricas, se devidamente justificado, no caso de barragens das classes II ou III;
- b) Por uma seção do rio localizada 10,0 km a jusante da barragem, no caso de pequenas barragens com altura acima do leito do rio inferior a 10,0 m e volume armazenado inferior a 200,0 mil m³, devendo ainda se considerar que a onda de inundação não atingirá cotas superiores à do talvegue adicionada de metade da altura da barragem acima do leito do rio.

1.2.2 Sistema de classificação a nível nacional

De acordo com a Lei n. 12.334/2010, os objetivos da PNSB são: garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências; regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional; e promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens. Destaca-se que a referida Lei, tem por finalidade estabelecer a PNSB destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais (BRASIL, 2010).

Além disso, conforme a referida Lei, para aplicação da PNSB, a barragem deverá apresentar pelo menos uma das seguintes características (BRASIL, 2010):

- a) Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15,0 m (quinze metros);
- b) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000,0 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- c) Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- d) Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Considerando que, de acordo com a Lei 12.334/2010, o CNRH deverá estabelecer critérios gerais para classificação das barragens por CRI, por DPA e pelo seu volume (BRASIL, 2010), foi regulamentada a Resolução CNRH n. 143/2012 para tal fato, na qual compete aos agentes fiscalizadores esta classificação (CNRH, 2012).

Destaca-se ainda que, cada entidade fiscalizadora de segurança de barragem poderá estabelecer critérios específicos ou complementares aos critérios gerais estabelecidos pelo CNRH (CNRH, 2012).

De acordo com a Resolução CNRH n. 143/2012, quanto à CRI, as barragens serão classificadas de acordo com seus aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais (CNRH, 2012):

a) Características técnicas:

- Altura do barramento;
- Comprimento do coroamento da barragem;
- Tipo de barragem quanto ao material de construção;
- Tipo de fundação da barragem;
- Idade da barragem;
- Tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;

b) Estado de conservação da barragem:

- Confiabilidade das estruturas extravasoras;
- Confiabilidade das estruturas de adução;
- Eclusa;
- Percolação;
- Deformações e recalques;
- Deterioração dos taludes.

c) Plano de Segurança da Barragem:

- Existência de documentação de projeto da barragem;
- Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;
- Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Em suma, a CRI de uma barragem trata-se de aspectos da própria barragem que possam influenciar na probabilidade de um acidente tais como: integridade da estrutura; aspectos de projeto; estado de conservação, operação e manutenção; atendimento ao Plano de Segurança; entre outros (NEVES, 2018).

Ademais, o órgão fiscalizador poderá adotar critérios complementares tecnicamente justificados, devendo reavaliar em, no máximo, a cada cinco anos a classificação aplicada, se assim considerar necessário. Destaca-se que, caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinados critérios explicitados acima, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério (CNRH, 2012).

No que tange ao DPA de uma barragem, este é o dano que pode ocorrer devido a eventual rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. Para se classificar o DPA, deve-se levar em consideração o uso e ocupação atual do solo (NEVES, 2018). Os critérios gerais a serem utilizados nesta classificação quanto à área afetada são (CNRH, 2012):

- a) Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- b) Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- c) Existência de infraestrutura ou serviços;
- d) Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- e) Existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- f) Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados;
- g) Volume.

A classificação quanto ao DPA, apresentada pela Resolução CNRH n. 143/2012, é feita por meio da atribuição de pontuação equivalente ao possível dano gerado à jusante, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução CNRH n. 143/2012.

DPA	Classes	Pontos
Volume Total do Reservatório	PEQUENO (≤ 5 milhões m^3)	1
	MÉDIO (5 milhões a 75 milhões m^3)	2

DPA	Classes	Pontos
	GRANDE (75 milhões a 200 milhões m ³)	3
	MUITO GRANDE (> 200 milhões m ³)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3
	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residências e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4
	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de CNRH (2012).

De acordo com CNRH (2012), a soma da pontuação alcançada a partir do Quadro 5 acima determinará a faixa de classificação o DPA, a qual se divide em três: alto, médio e baixo. Será considerado DPA alto caso a pontuação seja maior ou igual a 16, médio caso esteja no intervalo entre 10 e 16, e baixo se menor ou igual a 10.

O órgão fiscalizador poderá adotar critérios complementares tecnicamente justificados, devendo reavaliar em, no máximo, a cada cinco anos a classificação aplicada, se assim considerar necessário. Ressalta-se que, caso o empreendedor da barragem não apresente

informações sobre determinados critérios explicitados acima, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério (CNRH, 2012).

De acordo com Neves (2018), a classificação por categoria de DPA à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Observa-se ainda a importância da classificação da barragem quanto ao DPA no que tange a elaboração do PAE, uma vez que o plano é parte integrante do PSB e indispensável para as barragens com DPA alto. Ademais, contém todas as orientações importantes para tomada de decisão no momento da situação de emergência, permitindo entre outras medidas a notificação e o alerta antecipado, visando minimizar os danos materiais e ambientais além das perdas de vidas (BRASIL, 2010).

ANA (2017) estabelece como diretrizes para elaboração do conteúdo mínimo e do nível de detalhamento do PAE que as barragens fiscalizadas pela entidade com altura inferior a 15,0 m e capacidade do reservatório inferior a 3.000.000,0 m³, a critério da ANA, poderá aceitar a apresentação de estudo simplificado para elaboração do mapa de inundação.

Considerando que compete à ANA classificar as barragens por ela reguladas, foram definidos critérios complementares à Resolução CNRH n. 143/2012 referentes ao Impacto Ambiental e ao Impacto Socioeconômico (ANA, 2016).

De acordo com Petry et al. (2018) os itens referentes aos impactos ambientais e socioeconômicos possuíam pontuações muito rigorosas, com poucas classes de escolhas, não permitindo uma correta associação com a realidade verificada em campo. Assim a ANA estabeleceu classes intermediárias para os referidos critérios, buscando uma complementação e detalhamento dos critérios de classificação do CNRH (ver Quadro 6).

Quadro 6 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução ANA n. 132/2016.

DPA	Classes	Pontos
Volume Total do Reservatório	PEQUENO (≤ 5 milhões m ³)	1
	MÉDIO (5 milhões a 75 milhões m ³)	2
	GRANDE (75 milhões a 200 milhões m ³)	3
	MUITO GRANDE (> 200 milhões m ³)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4

DPA	Classes	Pontos
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	POUCO SIGNIFICATIVO (quando área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais).	1
	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada incluir áreas de proteção de uso sustentável – APA, FLONA, RESEX, etc. – ou quando for área de interesse ambiental e encontrar-se pouco descaracterizada de suas condições naturais).	2
	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada incluir áreas de proteção integral – ESEC, PARNA, REBIO, etc. inclusive Terras Indígenas – ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (quando existem de 1 a 5 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem).	1
	MÉDIO (quando existem mais de 5 até 30 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem).	3
	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação).	8

Fonte: Adaptado de ANA (2016).

A alteração nos critérios complementares possibilitou melhor distribuição das classes quanto ao DPA, possibilitando maior precisão na classificação das barragens fiscalizadas pela ANA (PETRY et al., 2018).

Além disso, considerando que só há duas classificações quanto ao impacto ambiental, dividido em “significativo” e “muito significativo”, em barragens muito pequenas o impacto ambiental pode não ser necessariamente significativo. Assim, a existência de outra classe de escolha com pontuação menos rigorosa reflete melhor a realidade (PETRY et al., 2018).

Cabe ressaltar que para classificação das barragens quanto ao DPA, faz-se necessário a delimitação da área inundada após ruptura da barragem. Assim, abaixo é descrito as metodologias adotadas pela ANA e demais estados, bem como quais critérios complementares estes adotam, em consonância ao que dispõe a Resolução CNRH n. 143/2012 acerca da competência de cada entidade fiscalizadora de segurança de barragem de estabelecer critérios específicos ou complementares aos critérios gerais estabelecidos pelo CNRH.

1.2.2.1 Método simplificado de geração de mancha de inundação

De acordo com Petry et al. (2018), antes da aplicação da metodologia simplificada da ANA, era difícil fazer simulações confiáveis de rompimento da barragem, por meio de estudos mais detalhados para os mapas de inundação, devido à ausência de dados de projeto e a precariedade dos dados de relevo disponíveis, sem dados de qualidade, tanto de relevo como de projeto, impedindo assim a verificação da área potencialmente atingida, e consequentemente a classificação quanto ao DPA.

Assim foi desenvolvido pela ANA e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC de Portugal um método simplificado correlacionando distância inundada a jusante de uma barragem com os parâmetros conhecidos como volume e altura da barragem, usando uma base de dados de 145 casos de rompimentos de barragens compilados pelo *United States Army Corps of Engineers – USACE* (PETRY et al., 2018).

De acordo com Graham (1999), após período de estudo de 39 anos de rompimentos de barragens nos Estados Unidos, verificou-se que 50,0 % das mortes ocorreram em até 5,0 km da barragem e mais de 99,0 % ocorreram em até 25,0 km. Além disso, constatou-se que 86,0 % das mortes ocorreram em barragens com altura de até 15,0 m.

Com base no estudo de Graham (1999), o Banco Mundial propôs distâncias estimativas a serem adotadas na metodologia simplificada, conforme Tabela 3 (BANCO MUNDIAL, 2014):

Tabela 3 – Capacidade de armazenamento recomendada x distância total à jusante.

Capacidade de Armazenamento (hm³)	Distância Total a Jusante (km)
≤ 5	0 – 10
5 – 75	10 – 25
75 – 200	25 – 50
≥ 200	50 a 100

Fonte: Banco Mundial (2014).

Quanto à aplicação da metodologia simplificada em barragens de grande porte, constatou-se que é adequada para fins de classificação quanto ao DPA, pois a extensão da mancha gerada é suficiente para determinar os impactos ambientais, socioeconômicos e de perdas de vidas humanas. Já em barragens de pequeno porte, a mancha de inundação gerada é conservadora quando comparada com modelos de cálculo hidráulicos mais robustos, uma vez que possui extensão mínima 6,7 km, culminando na definição de classes superiores de DPA (PETRY et al., 2018).

Banco Mundial (2014) sugere que sejam consideradas as distâncias inundadas à jusante até o ponto onde se presume que os efeitos incrementais da cheia do rompimento da barragem, em relação a uma cheia natural de referência, ficariam relativamente pequenos. Destaca-se que as distancias sugeridas (ver Tabela 3) estão de acordo com a distribuição apresentada na Resolução ANA n. 132/2016.

Mesmo havendo simplificações e correções manuais a serem feitas, na grande maioria dos casos a mancha final foi considerada próxima da realidade, sendo adequada para fins de classificação quanto ao DPA. Contudo, destaca-se que o método apresenta dificuldades em regiões planas, como por exemplo, na região amazônica, tendo em vista que os dados disponíveis do terreno não são bons, necessitando em muitas correções manuais, o que gera incerteza na definição da área eventualmente atingida (PETRY et al., 2018).

Salienta-se que esta metodologia é recomendada para definir a área que seria inundada por um eventual rompimento de barragem, para identificar os danos potenciais a jusante e para oferecer parâmetros que ajudam na seleção da classificação do dano potencial, não sendo adequado para utilização em mapas de inundação, pois não permite simular diversos aspectos hidrodinâmicos da onda de inundação (BANCO MUNDIAL, 2014).

Apesar de ser simplificada, a metodologia tem fundamentação técnica, de acordo com Banco Mundial (2014a), pois se baseia em múltiplas fórmulas empíricas resultantes de casos de estudo reais e de modelos de simulação de rupturas. Ademais, quando comparado os resultados de níveis máximos atingidos pela onda de ruptura com os obtidos através de métodos mais completos do ponto de vista hidráulico, por exemplo, o software *Hydrologic Engineers Corps – River Analysis System* (HEC-RAS), obtiveram-se resultados satisfatórios para efeitos de classificação do dano potencial associado.

Por fim, a metodologia simplificada permite, numa primeira fase, estimar os níveis de cheia máximos atingidos em seções de cálculo distribuídas perpendicularmente ao leito de cheia ao longo da extensão da área inundada para jusante, uma vez conhecidos o volume do reservatório e a altura da barragem em relação ao talvegue (BANCO MUNDIAL, 2014a).

1.2.2.2 Ceará

A Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – SRH/CE, de acordo com Lima et al. (2016), utiliza a metodologia simplificada da ANA de geração de manchas de inundação para classificação do DPA, que necessita como dados de entrada apenas o volume do reservatório, a altura do barramento e cota da soleira.

Delimitada a área afetada a jusante da barragem, são estimados os impactos ambientais e socioeconômicos e o potencial de perdas de vidas humanas, classificando o dano potencial associado a cada barragem por meio do sistema de pontuação presente na Resolução CNRH n. 143/2012. Destaca-se que culturalmente, no Estado do Ceará, há assentamento da população em áreas próximas aos corpos d'água, com grande ocupação das regiões à jusante das barragens, culminando na maioria dos casos em barragens com DPA alto (LIMA et al, 2016).

No que tange ao PAE, fica a critério da SRH/CE aceitar a apresentação de estudo simplificado para elaboração do mapa de inundação nos casos de barragens com altura inferior a 15,0 m e capacidade do reservatório inferior a 3.000.000,0 m³ (SRH/CE, 2017).

1.2.2.3 Paraná

Compete ao Instituto das Águas do Paraná – IAP fiscalizar a segurança das barragens destinadas à acumulação de água para usos múltiplos, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico. O referido instituto utiliza para a classificação quanto ao DPA das barragens o que apresenta a Resolução CNRH n. 143/2012. Ademais, por meio de IN IAP n. 1/2019, a qual estabeleceu procedimentos para fiscalização de segurança de barragens, foi regulamentada que poderá ser utilizada a metodologia simplificada da ANA de geração de manchas de inundação como apoio para classificação das barragens quanto ao DPA. (IAP, 2019).

Deverá também fazer parte do PAE estudos de inundação com os respectivos mapas. Em caso de revisão, deverá ser feita reavaliação da ocupação a jusante e da eventual necessidade de elaboração de novo mapa de inundação. (IAP, 2018).

1.2.2.4 Rondônia

De acordo com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – Sedam (2018), o estado de Rondônia classifica as barragens em função da área da bacia contribuinte na qual se insere do volume máximo de acumulação do reservatório e da altura do barramento, dividindo-se em 4 classes, conforme Quadro 7 abaixo:

Quadro 7 – Classificação das barragens, segundo IN Sedam n. 3/2018.

Classe	Volume	Altura	Área bacia contribuinte	Observação
Micro	$\geq 20.000 \text{ m}^3$	$\geq 4,0 \text{ m}$	$\geq 3 \text{ km}^2$	Sem outorga
Pequena	$20.000 < \text{m}^3 \leq 1.000.000$	$3 < \text{m} \leq 6$	$3 < \text{km}^2 \leq 50 \text{ km}^2$	Prévia outorga
Média	$1.000.000 < \text{m}^3 \leq 3.000.000$	$6 < \text{m} \leq 15$	$50 < \text{km}^2 \leq 500 \text{ km}^2$	Prévia outorga
Grande	$< 3.000.000 \text{ m}^3$	$< 15 \text{ m}$	$< 500 \text{ km}^2$	Prévia outorga

Fonte: Adaptado de Sedam (2018).

A IN Sedam n. 3/2018 determina ainda que o empreendedor é obrigado a elaborar mapa de inundação, por profissional qualificado, para auxílio na classificação referente ao DPA de cada barragem, individualmente, podendo inclusive utilizar estudo simplificado. Deverá ainda ser analisado no referido mapa, possível efeito cascata em casos de abranger mais de uma barragem na área de influencia da inundação (SEDAM, 2018).

O estado possui ainda critérios complementares referentes aos impactos ambientais e socioeconômicos, conforme Quadro 8, idênticos aos que constam na Resolução CNRH n. 143/2012, com exceção das classes apresentadas quanto ao volume.

Quadro 8 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Instrução Normativa Sedam n. 3/2018.

DPA	Classes	Pontos
Volume Total do Reservatório	MICRO (≤ 5 milhões m^3)	1
	PEQUENO (5 milhões a 75 milhões m^3)	2
	MÉDIO (75 milhões a 200 milhões m^3)	3
	GRANDE (> 200 milhões m^3)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4

DPA	Classes	Pontos
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3
	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residências e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4
	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de Sedam (2018).

Cabe aqui destacar a inconsistência presente na IN Sedam n. 3/2018 entre as classes de volumes apresentadas nos Quadros 7 e 8.

1.2.2.5 São Paulo

O estado de São Paulo utiliza para a classificação quanto ao DPA das barragens o que dispõe a Resolução CNRH n. 143/2012. Além disso, as barragens nas quais não se aplicarem as determinações da Lei n. 12.334/2010 e que não apresentem a jusante núcleos urbanos, empreendimentos ou áreas de interesse ambiental relevantes, a uma distância de duas vezes o comprimento do reservatório formado, serão classificadas como dano potencial associado baixo, estando estas dispensadas do PSB (DAEE, 2015).

O estado desenvolveu uma Nota Técnica na qual analisou, de maneira bastante conservadora, o reservatório da barragem situado em vales encaixados, abertos, fechados de baixa declividade, entre outros. Concluiu-se a partir disso que a onda formada em caso de

ruptura da barragem, para todos os tipos de reservatórios analisados, numa extensão a jusante da barragem de 1,5 a 2,0 vezes o comprimento do reservatório, é insignificante, sendo da ordem de alguns centímetros (DAEE, 2015).

Destaca-se ainda que para reservatórios situados em vales abertos, com largura máxima de 560,0 m e altura menor que 10,0 m, o estudo concluiu que a distância de segurança ideal é de 4,0 km (DAEE, 2015).

1.2.2.6 Roraima

Regulamentada pelo órgão fiscalizador Femarh, a IN Femarh n. 3/2017 trata da classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do estado de Roraima, regulamentando o que dispõe a Resolução CNRH n. 143/2012. Nesta seara, a classificação quanto ao DPA para barragens de acumulação de água apresentada é feita conforme Quadro 9 (FEMARH, 2017):

Quadro 9 – Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo IN Femarh n. 3/2017.

DPA	Classes	Pontos
Volume Total do Reservatório	PEQUENO (< 300 mil m ³)	1
	MÉDIO (300 mil a 3 milhões m ³)	2
	GRANDE (3 a 20 milhões m ³)	3
	MUITO GRANDE (> 20 milhões m ³)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3

DPA	Classes	Pontos
	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residências e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4
	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de Femarh (2017).

A referida IN define ainda quais barragens serão classificadas como DPA baixo, à saber (FEMARH, 2017):

- a) Apresentem porte de reservatório menor que os valores estabelecidos para a classificação de pequeno porte;
- b) Não apresentem à jusante núcleos urbanos, empreendimentos ou áreas de interesse ambiental relevante a uma distância de quatro vezes o comprimento do reservatório formado.

De acordo com ANA (2017d) a maioria das barragens em Roraima foi construída antes da regulamentação sobre segurança de barragens, havendo assim muitas barragens irregulares em uso, não possuindo cadastro e/ou outorga no órgão ambiental a nível estadual. De acordo com o Relatório Progestão 2017 elaborado pela ANA (2017d), constatou-se que houve a identificação, cadastro e classificação do DPA e da CRI de 16 barramentos encontrados, utilizando a classificação disposta na IN Femarh n. 3/2017. Ademais, o relatório destaca ainda que o Estado não possui barragens de contenção de rejeitos, considerando dados até o ano de 2017.

1.3 EFEITO CASCATA

Segundo Neves (2018), quando houver mais de uma estrutura de barramento em um mesmo empreendimento, os critérios considerados para a barragem de maior pontuação

deverão ser estendidos às demais estruturas. Além disso, a área de abrangência para avaliação do DPA deverá compreender as barragens de jusante que disponham de capacidade para amortecimento da cheia associada ao rompimento, o chamado efeito cascata.

Para Banco Mundial (2014a), além da classificação quanto ao DPA das barragens de modo isolado, deve-se ainda analisar a verificação da ruptura em cascata. Assim, as barragens classificadas com DPA “médio” ou “baixo” que possam gerar ruptura em barragens localizadas à jusante com classificação de DPA superior àquelas, deverá ser reanalisadas as referidas classificações.

Ademais, Banco Mundial (2014a) também apresenta, mesmo que de forma simplificada, análise quanto ao possível “efeito dominó”, ocasionado pelo rompimento de barragens à montante, em barragens imediatamente à jusante. Tal análise simplificada ocorre em função da faixa de borda livre do reservatório à jusante, de acordo com Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa do volume armazenável na faixa da borda livre em função da altura da barragem.

Altura da barragem de jusante	Porcentagem do Volume do reservatório na faixa da borda livre ($V_{\text{borda livre}}/V_{\text{max}}$)
$0 \text{ m} \leq H < 3,0 \text{ m}$	20,0 %
$3,0 \text{ m} \leq H < 15,0 \text{ m}$	10,0 %
$15,0 \text{ m} \leq H < 60,0 \text{ m}$	5,0 %
$60,0 \text{ m} \leq H$	3,0 %

Fonte: Banco Mundial (2014a).

Para tanto, Banco Mundial (2014a) admitiu que a barragem de jusante não rompe quando a sua capacidade de armazenamento permitir encaixar totalmente na faixa de borda livre o volume afluyente devido à ruptura a montante. Em caso de rompimento, deverá ser atribuída à barragem de montante que causou a ruptura, a classificação de DPA mais elevado entre ambas.

2 OBJETIVOS

Para responder a proposta do estudo foram listados os seguintes objetivos abaixo:

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor modelo de classificação quanto ao DPA para o estado de Roraima, baseado no estudo de caso de sete barragens situadas na bacia do Rio Cauamé.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a classificação apresentada pelas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 quando aplicadas aos barramentos do estado de Roraima;
- b) Analisar de maneira comparativa a classificação das barragens quanto ao DPA utilizando o método simplificado de geração de mancha da ANA e a classificação feita pelo órgão fiscalizador do estado de Roraima (Femarh) com critérios próprios;
- c) Apresentar proposta de classificação de barragens quanto ao DPA utilizando a metodologias complementares, associada à IN Femarh n. 3/2017 e à Resolução ANA n. 132/2016.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos definidos, o estudo consistiu metodologicamente em sete etapas, conforme descrito no Quadro 10.

Quadro 10 – Escopo da metodologia adotada.

Nº	Etapa	Descrição
1	Revisão de literatura	Realizada por meio de consulta em sites de órgãos envolvidos, periódicos, revistas, livros e anais de congressos.
2	Definição da área de estudo	Escolhida em função da necessidade da Femarh apresentada ao programa ProfÁgua.
3	Caracterização da área de estudo	Baseada distribuição geopolítica dos municípios e nos dados disponíveis pela Femarh de barragens inseridas na bacia estudada.
4	Escolha e aplicação do método de delimitação da área afetada	Baseada nas recomendações e estudos nacionais, internacionais, Banco Mundial e ANA.
5	Identificação e escolha das barragens a serem analisadas	Baseada nas barragens que havia base de dados essenciais para o estudo.
6	Classificação das barragens quanto o DPA pelo critério do CNRH e ANA	Baseada nos critérios apresentados nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, utilizando o método de delimitação da área afetada escolhido.
7	Análise comparativa da classificação da Femarh	Baseada na classificação obtida após critérios apresentada pela IN Femarh n. 3/2017, utilizando o método simplificado de delimitação da área afetada, e na classificação apresentada pela Femarh, de acordo com ANA (2017a).
8	Elaboração de proposta de classificação quanto ao DPA	Baseado no porte e situação local das barragens, bem como no que dispõe a literatura a respeito.

Fonte: Autora (2020).

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Inicialmente foi realizada vasta pesquisa bibliográfica sobre classificação das barragens quanto ao DPA, que se buscou evidenciar as faixas de classificação utilizadas quanto ao volume, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e socioeconômico, bem como a metodologia de delimitação da área afetada à jusante em caso de possível ruptura da barragem.

A nível internacional, a coleta de dados restringiu-se a países federativos utilizados como referência fundamental para a elaboração da Lei de Segurança de Barragens no Brasil por possuírem lei de segurança de barragens, arcabouço técnico já estabelecido em relação à segurança de barragens, classificação das barragens baseada em consequências, entre outros, tais como África do Sul, Austrália, Canadá e Portugal.

Já a nível nacional, optou-se por estados que já possuíssem bastante experiência com barragem, tais como Ceará e São Paulo. Além disso, foi considerada a complexidade de gestão nos estados, apresentada pelo Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – Progestão, distribuídas em quatro tipologias (ANA, 2020), conforme Quadro 11 abaixo:

Quadro 11 – Tipologias utilizadas pela ANA mediante alcance de metas definidas e complexidade de gestão.

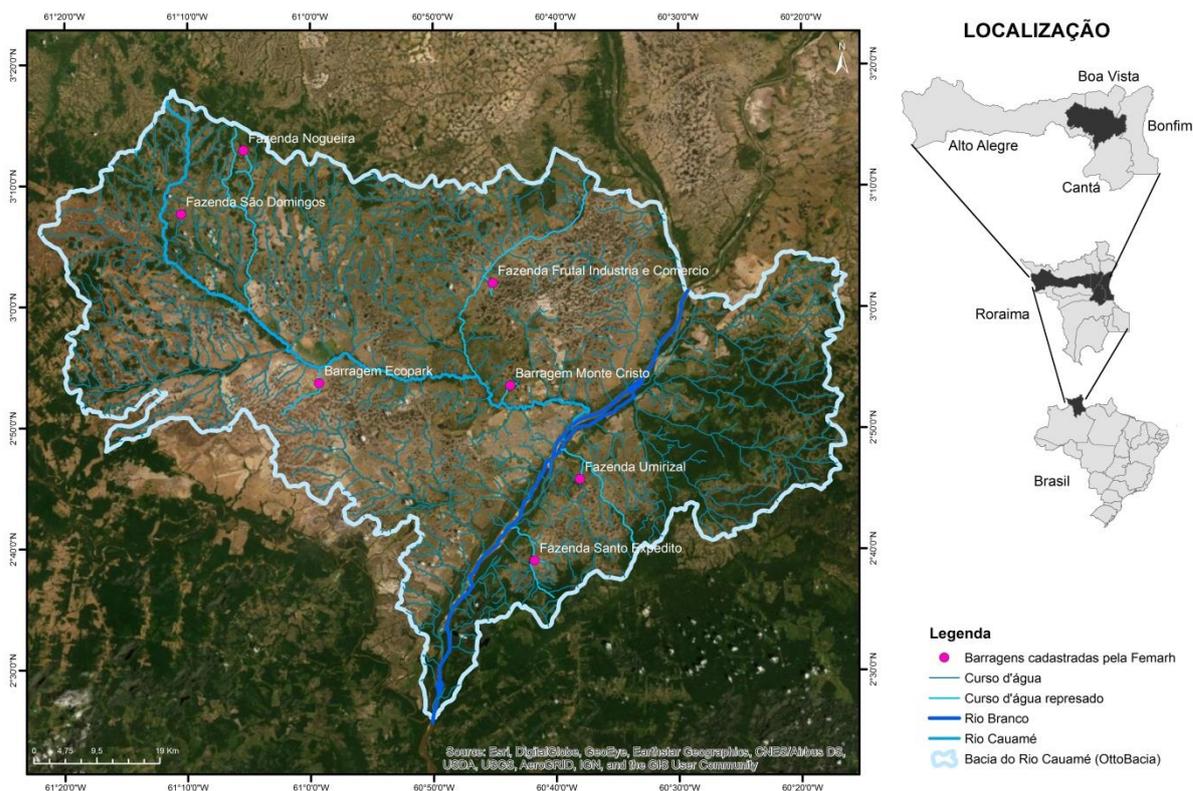
Tipologia	Descrição	Estado
A	Balanço quali-quantitativo satisfatório em quase a totalidade do território; criticidade quali-quantitativa inexpressiva; usos pontuais e dispersos; baixa incidência de conflitos pelo uso da água.	Roraima
B	Balanço quali-quantitativo satisfatório na maioria das bacias; usos concentrados em algumas poucas bacias com criticidade quali-quantitativa (áreas críticas); incidência de conflitos pelo uso da água somente em áreas críticas.	Rondônia
C	Balanço quali-quantitativo crítico (criticidade qualitativa e quantitativa) em algumas bacias; usos concentrados em algumas poucas bacias com criticidade quali-quantitativa (áreas críticas); conflitos pelo uso da água com maior intensidade e abrangência, mas ainda restritos às áreas críticas.	Paraná
D	Balanço quali-quantitativo crítico (criticidade qualitativa e quantitativa) em diversas bacias; usos concentrados em diversas bacias, não apenas naquelas com criticidade quali-quantitativa (áreas críticas); conflitos pelo uso da água generalizados e com maior complexidade, não restritos às áreas críticas.	Ceará e São Paulo

Fonte: Adaptado de ANA (2020).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O desenvolvimento do estudo foi baseado na bacia hidrológica do Rio Cauamé. Assim, foram analisadas as barragens cadastradas na referida bacia pelo órgão fiscalizador estadual, Femarh, localizada nos municípios de Alto Alegre, Boa Vista, Bonfim e Cantá no estado de Roraima, conforme Figura 3 abaixo, baseada na codificação de Otto Pfafstetter, de nível 4, utilizada pelo órgão.

Figura 3 – Localização da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.



Fonte: Autora (2020).

Todas as barragens estudadas foram barragens de terra, possuindo características físicas e classificação quanto ao DPA, conforme Quadro 12 abaixo (ANA, 2017a).

Quadro 12 – Dados das barragens cadastradas pela Femarh na bacia do Rio Cauamé.

Barragem	Altura (m)	Volume do reservatório (hm ³)	Comprimento (m)	Uso principal	Lat.	Long.	DPA
EcoPark	5,0	8,6	383,0	Outros	2,8955	-60,988	Alto
Fazenda Frutal	3,7	0,8	500,0	Aquicult.	3,03275	-60,752	Baixo
Fazenda Nogueira	11,5	7,3	275,0	Outros	3,21553	-61,089	Baixo
Fazenda São Domingos	7,5	3,3	469,5	Aquicult.	3,12765	-61,176	Baixo
Fazenda Santo Expedito	4,7	1,2	405,6	Aquicult.	2,651496	-60,6959	Baixo
Fazenda Umirizal	1,9	0,08	176,4	-	2,762996	- 60,6341	Baixo
Monte Cristo	6,9	2,5	285,0	Outros	2,89136	-60,728	Baixo

Fonte: Adaptado de ANA (2017a).

3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS

A partir da delimitação da bacia hidrográfica em estudo, quer seja pelo modelo de Otto Pfafstetter, quer seja pelo MGB/IPH, foram identificados os barramentos, por meio de imagens de satélite do *ArcMap*, bem como do *Google Earth*.

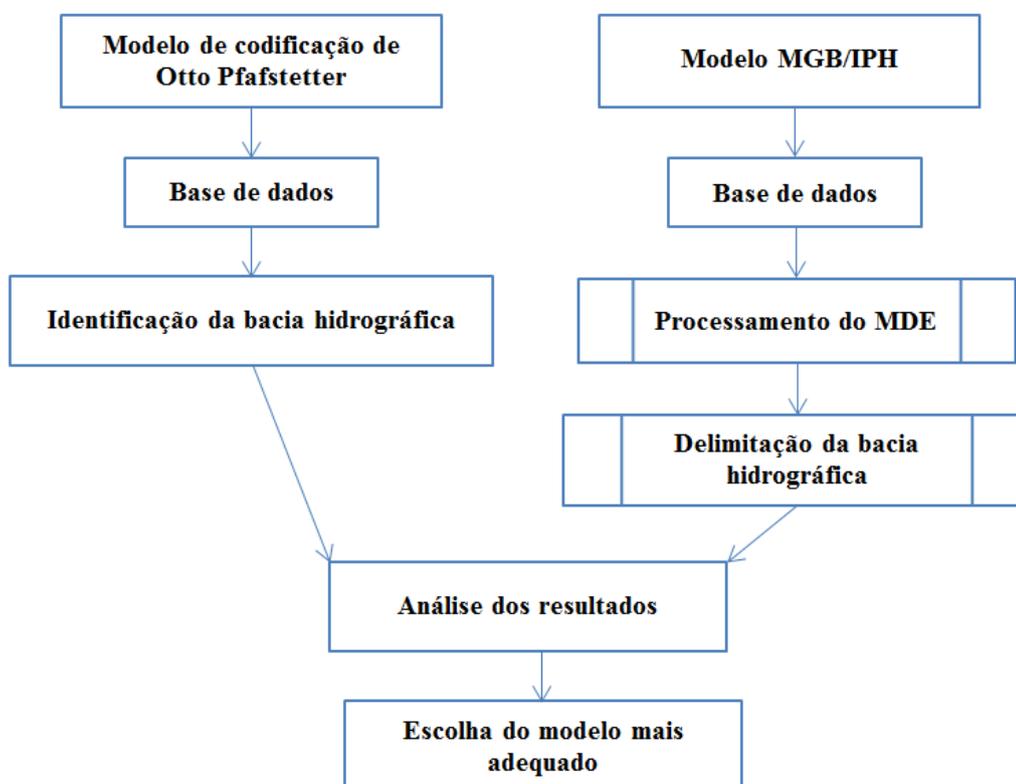
Para identificação dos barramentos, foi utilizado *shape* da rede hidrográfica do estado de Roraima, disponível gratuitamente pela ANA na plataforma de metadados, de modo a identificar cursos d'água represados, por meio da construção de barragens, diferenciando-os dos lagos naturais presentes na região.

As barragens selecionadas para o estudo foram aquelas já cadastradas pela Femarh, por estas possuírem informações quanto ao volume armazenado e altura do barramento.

3.4 DELIMITAÇÃO DA BACIA EM ESTUDO

Para a definição do modelo de aplicação para delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cauamé, foram seguidas as etapas conforme ilustra Figura 4.

Figura 4 – Etapas para delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cauamé.



3.4.1 Base de dados

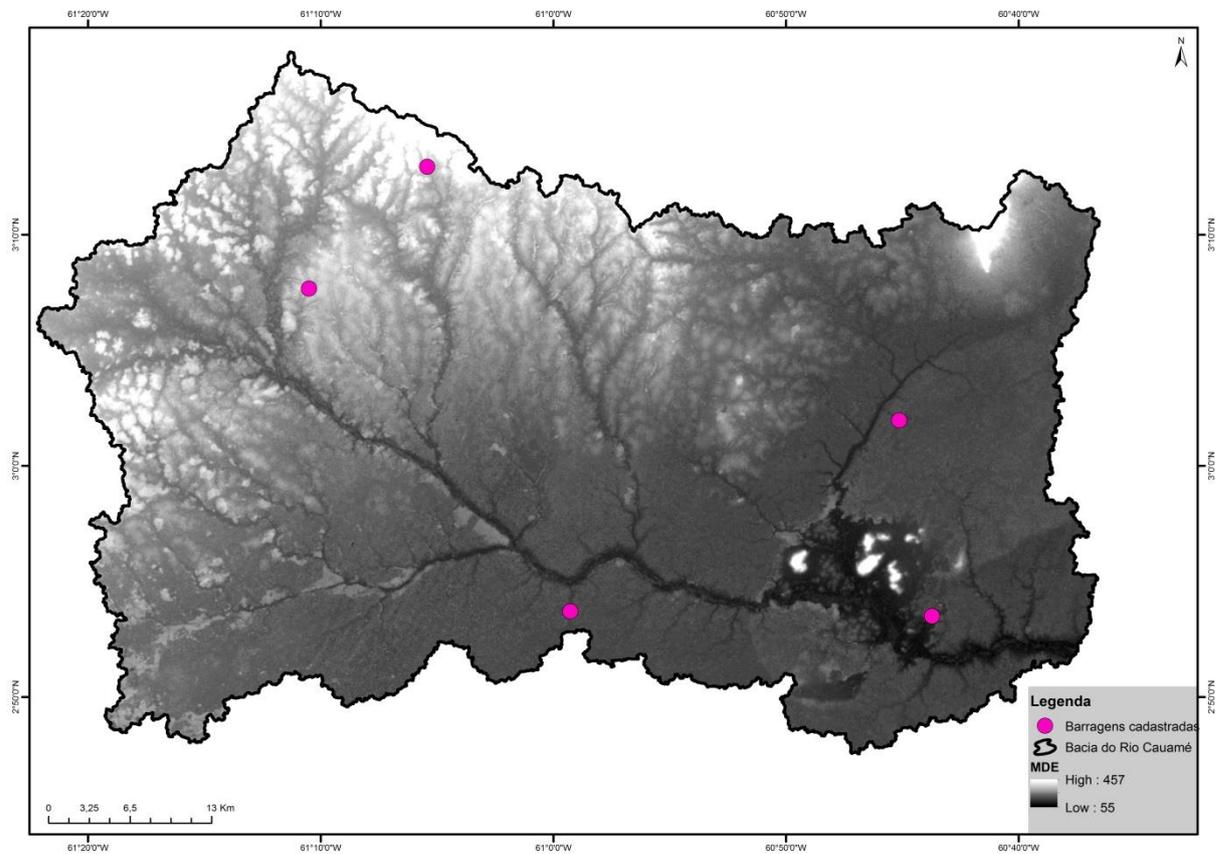
Para aplicação do Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – MGB/IPH, apresentado por Collischonn et al. (2010), foram utilizados dados do radar *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM da região de estudo, obtidos junto ao *United States Geological Survey* – USGS, para obtenção do MDE. Para tanto, foi necessária elaboração de mosaico a partir das imagens obtidas para aplicação do modelo, uma vez que somente uma cena não abrangia toda a bacia estudada.

Para a utilização do modelo de bacias hidrográficas otocodificadas foi utilizado o *shape* contendo a base hidrográfica otocodificada de nível 4 disponibilizado gratuitamente pela ANA (2012) com sistema de referência SAD 1969, tendo sido necessário reprojeter o arquivo para Sirgas 2000, uma vez que este último é o sistema adotado como padrão pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

3.4.2 Modelo MGB/IPH

Para aplicação do modelo foram utilizadas as ferramentas *Spatial Analyst* e *ArcHydro* do software ArcGis versão 10.5 da *Environmental Systems Research Institute* – Esri para a conclusão do procedimento, que envolve etapas de remoção de depressões espúrias existentes no MDE, definição de direções de escoamento e da rede de drenagem que resultaram no MDE delimitado pela bacia hidrográfica do Rio Cauamé obtida de acordo com modelo MGH/IPH (Figura 5).

Figura 5 – MDE após remoção de depressões espúrias existentes da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima.



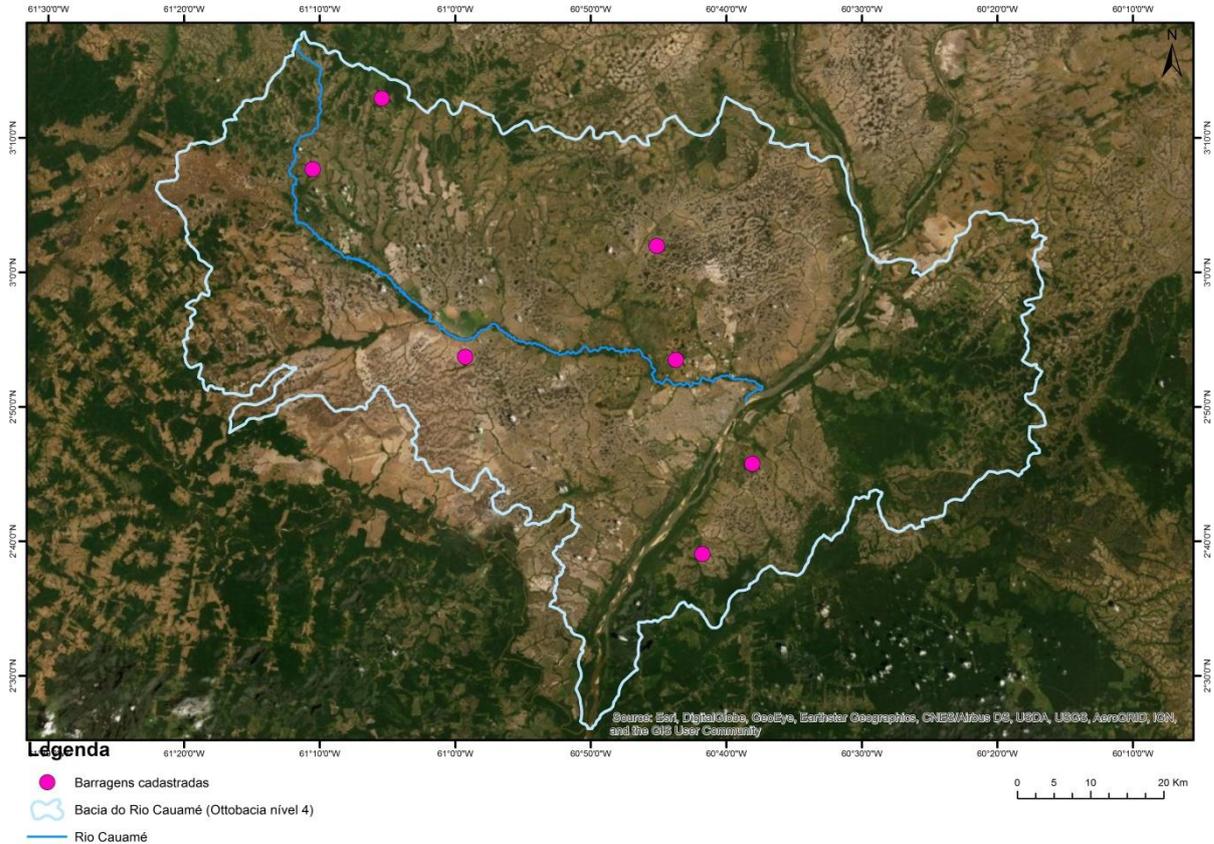
Fonte: Autora (2020).

3.4.3 Ottobacia de nível 4

O método baseia-se em um método hierárquico que divide o Brasil em oito grandes bacias numeradas de 1 a 8 e estas foram divididas cada uma em 10 sub-bacias (0-9), alterando os níveis até que os cursos d'água principais da bacia não possuam mais tributários (ANA, 2020a). Assim, a partir do *shape* obtido na base de dados da ANA, foi identificada a bacia hidrográfica na qual o Rio Cauamé estava inserido, uma vez que a delimitação de tal bacia já foi realizada pela ANA, a partir da aplicação do modelo de bacias hidrográficas ottocodificadas.

Assim, identificou-se a bacia correspondente ao Rio Cauamé, conforme mostra Figura 6.

Figura 6 – Bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima, utilizando ottobacia de nível 4.



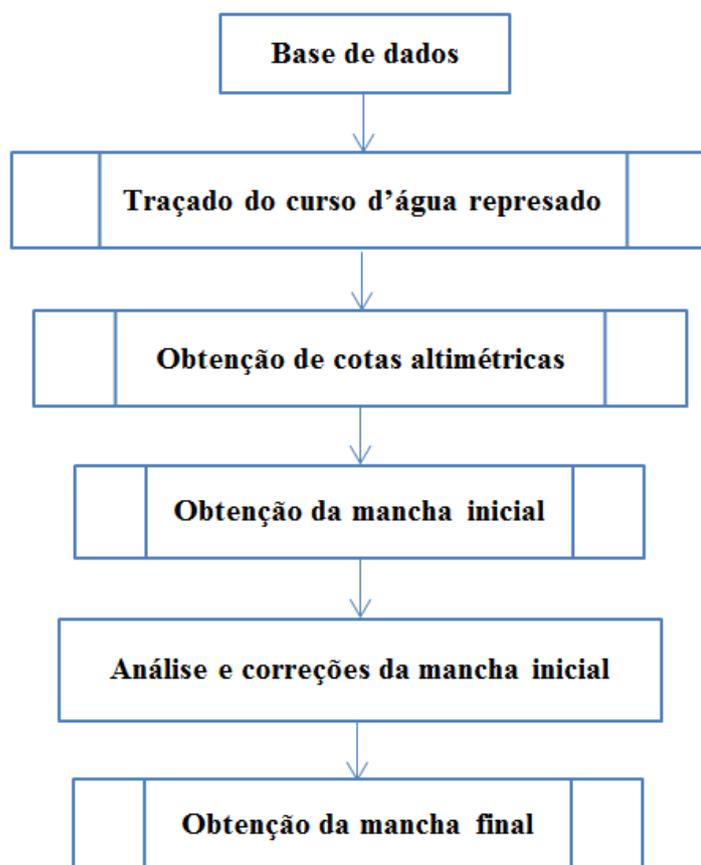
Fonte: Autora (2020).

Deste modo, foi utilizada a codificação de bacias de Otto Pfafstetter no estudo, uma vez que tal delimitação abrangeu mais barramentos cadastrados, culminando em um melhor campo amostral. Além disso, de acordo com ANA (2020a), tal metodologia é útil para delimitação de áreas de drenagem em regiões muito planas, onde os algoritmos de análise de escoamento superficial não conseguem extrair os divisores de água a partir dos MDE's existentes.

3.5 DELIMITAÇÃO DA ÁREA AFETADA

O método simplificado de geração de mancha de inundação foi utilizado neste estudo, uma vez que este abrange de maneira conservadora as experiências internacionais e nacionais apresentadas no capítulo de Introdução. Para tanto, foram seguidas as etapas ilustradas na Figura 7 abaixo para todas as barragens em estudo.

Figura 7 – Etapas para delimitação da área afetada.



Fonte: Autora (2020).

3.5.1 Base de dados

Para aplicação do método, foi disponibilizado pela ANA (2017b) planilhas eletrônicas devidamente formuladas e vinculadas a programas em *Python* utilizadas durante todo o processo de geração de mancha de inundação no *software* ArcGis, bem como projeções UTM e MDE do Brasil, de modo a permitir aplicação da metodologia de maneira mais rápida com processos “automatizados”.

A princípio, de acordo com ANA (2017c), o método utiliza imagens de MDE do radar *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, cuja resolução espacial é de 30,0 m. Contudo, considerando que a bacia em estudo está inserida em uma região de planície, optou-se por utilizar imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* – ALOS sensor *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* – PALSAR, cuja resolução espacial é de 12,5 m, obtidas junto ao *Alaska Satellite Facility* – ASF.

Desta maneira, foram realizadas correções nas imagens obtidas, com auxílio da ferramenta *Spatial Analyst* do *software* ArcGis, para eliminação dos pixels com valores negativos por meio do preenchimento das células com valores médios, bem como eliminação dos valores espúrios (errôneos), de modo que os cursos d'água sigam a direção correta de escoamento, indo da célula de maior para de menor valor de altitude, obtendo assim um MDE hidrologicamente consistente.

Para aplicação da metodologia simplificada foram necessários como dados de entrada, valores de altura (m) e capacidade (hm³) das barragens em estudo, obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB conforme apresenta ANA (2017c).

Ademais, a metodologia careceu ainda de informações acerca das cotas de coroamento das barragens analisada. Assim, considerando que não houve disponibilização de tais dados das barragens em estudo no SNISB ou pela Femarh, foram geradas curvas de níveis extrapoladas a uma equidistância de 1,0 m por meio do MDE com resolução espacial de 12,5 m e com o auxílio da ferramenta *Spatial Analyst* do *software* ArcGis.

Para melhor assimilação da metodologia aplicada, foi utilizada como exemplo do processo executado em todos os barramentos, a barragem da Fazenda Umirizal ao decorrer da descrição dos materiais e métodos adotados para delimitação da área afetada.

3.5.2 Traçado do curso d'água represado

Inicialmente foram inseridos dados de volume (hm³), em processos individualizados para cada barragem, com sistema de coordenadas UTM Zone 20N, para o cálculo da distância máxima à jusante da barragem a ser analisada quanto ao DPA, conforme fórmula apresentada por Banco Mundial (2014a) descrita abaixo.

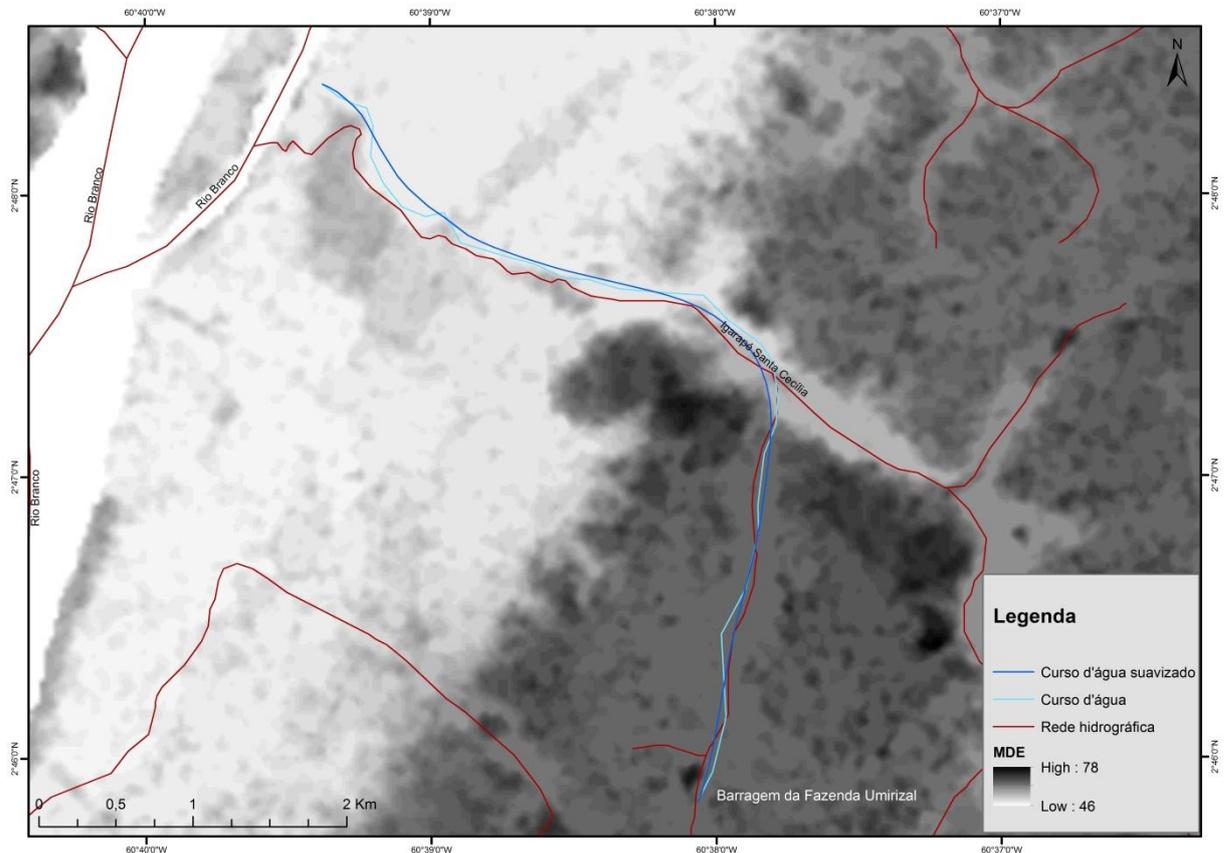
$$D_{m\acute{a}x} = 8,870 \times 10^{-8}V_{m\acute{a}x}^3 - 2,602 \times 10^{-4}V_{m\acute{a}x}^2 + 2,648 \times 10^{-1}V_{m\acute{a}x} + 6,737 \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo $V_{m\acute{a}x}$ o volume máximo do reservatório e a equação válida para volumes de reservatório até 1.000,0 hm³.

Nesta etapa, foi realizado o traçado manual do curso d'água represado a partir do barramento e percorrendo a distância máxima calculada à jusante, conforme Eq. 1, baseado no MDE, na rede hidrológica e nas imagens do *ArcMap* disponíveis da área analisada. Em

seguida, foi gerada uma versão suavizada do traçado eliminando curvas acentuadas, conforme Figura 8.

Figura 8 – Traçado do curso d'água à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

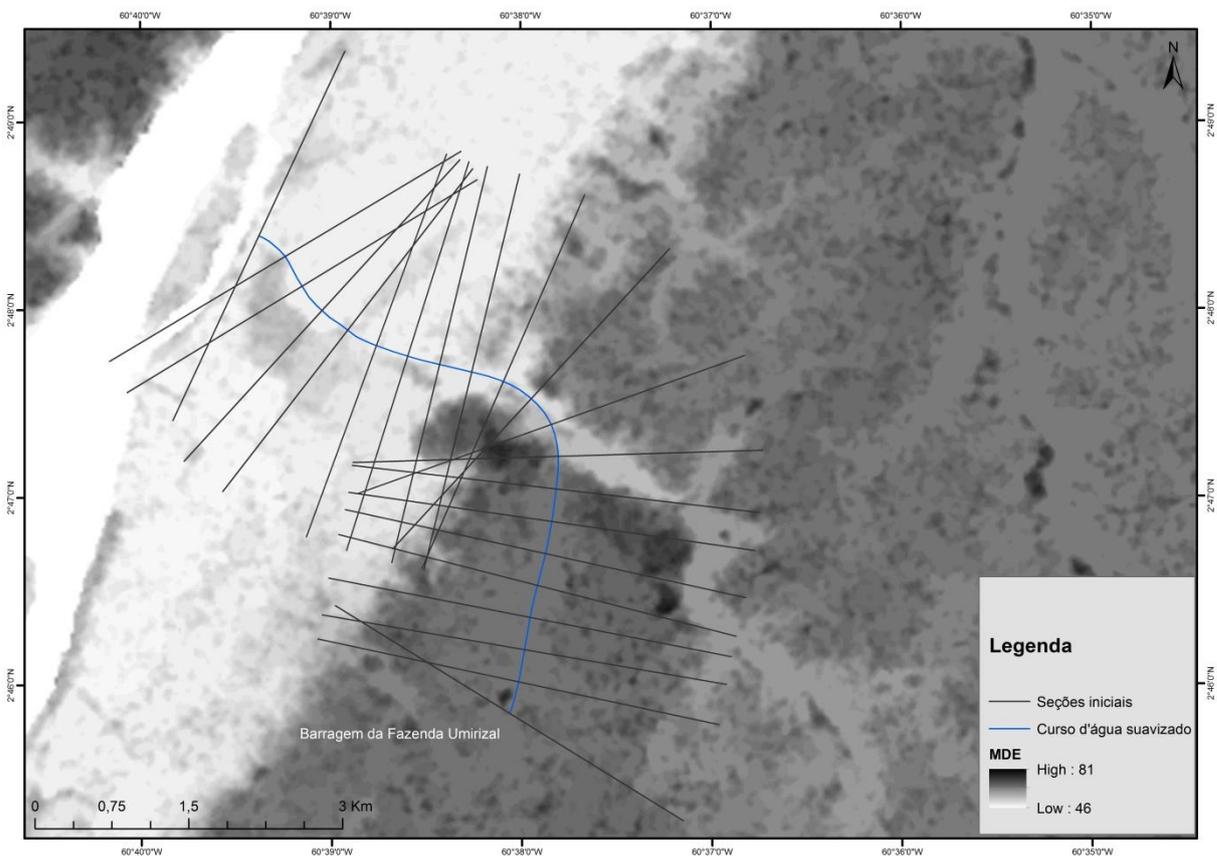
Houve a necessidade de realizar alguns ajustes manualmente da curva suavizada que foi gerada, considerando certas especificidades de cada caso em função do grau de automação dos procedimentos utilizados conforme Banco Mundial (2014a), uma vez que alguns pontos da curva estavam muito fora do traçado original do rio, em áreas topograficamente mais elevadas, resultando em interferências, de maneira errônea, nas etapas seguintes, inclusive na declividade do curso d'água traçado.

Assim, a curva suavizada foi pontualmente revista de forma manual, de modo a melhor ajustar o perfil do talvegue às variações de inclinação do leito de acordo com Banco Mundial (2014b).

3.5.3 Obtenção da altimetria dos pontos ao longo das seções transversais

Para geração de manchas de inundação foi necessário traçar 21 seções de 4,0 km de largura, de acordo com ANA (2017c), distribuídas igualmente e aproximadamente perpendiculares ao longo do comprimento do traçado do curso d'água suavizado, à jusante da barragem. Cada uma das seções foi representada por 81 pontos totalizando 1701, que são confrontados com o MDE, obtendo-se automaticamente, por interpolação, as respectivas cotas altimétricas, conforme mostra Figura 9.

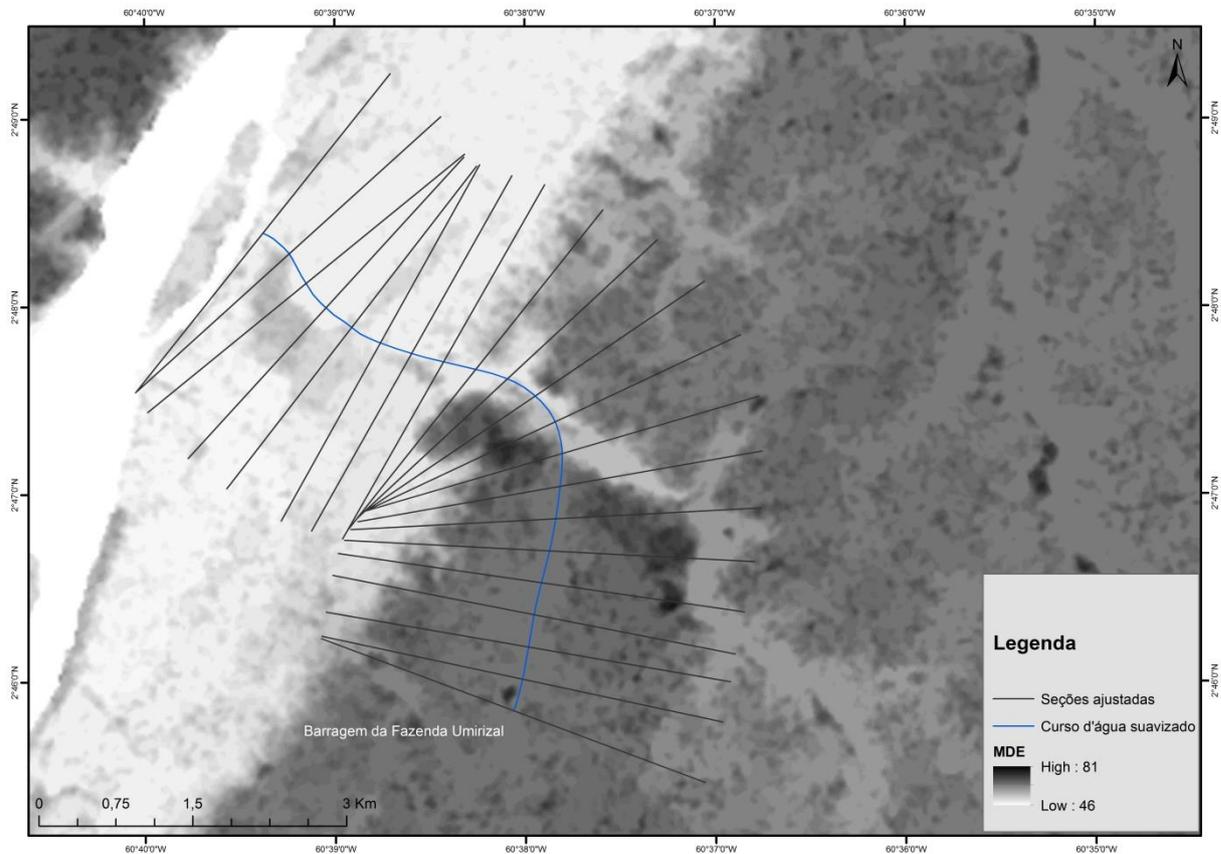
Figura 9 – Seções distribuídas ao longo da linha d'água suavizada à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

A metodologia ainda solicita que em caso de cruzamentos de seções sejam rotacionada em torno do eixo do curso d'água. Assim, foi realizado o referido procedimento, conforme mostra Figura 10.

Figura 10 – Ajuste de seções distribuídas ao longo da linha d'água suavizada à jusante da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

Obtidas as cotas altimétricas, e com o auxílio das planilhas eletrônicas previamente formuladas pela ANA (2017b), foi efetuado o cálculo hidráulico do nível máximo da onda de cheia em cada seção, por meio da equação de Manning-Strickler.

$$\frac{Q_x}{\sqrt{j}} = K_s \times A \times R^{2/3} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Q_x - a vazão máxima à distância x da seção da barragem (m³/s);

j - a inclinação da linha de energia;

K_s^1 - o coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler, valor admitido de $K_s=15$ m^{1/3}/s;

A - a área da seção de escoamento (m²);

R - o raio hidráulico da seção de escoamento (m).

¹ Valor intermediário adotado pela ANA (2017d) considerando a falta de dados dos diversos locais em estudo.

Considerando a existência de erros associados à delimitação da área inundada decorrentes das incertezas dos próprios dados, em função da sua qualidade, foi necessário adotar um Fator de Correção – FC para o cálculo das alturas de escoamento nas 21 seções, variando de 1 a 6, para todas as barragens, conforme indica Banco Mundial (2014).

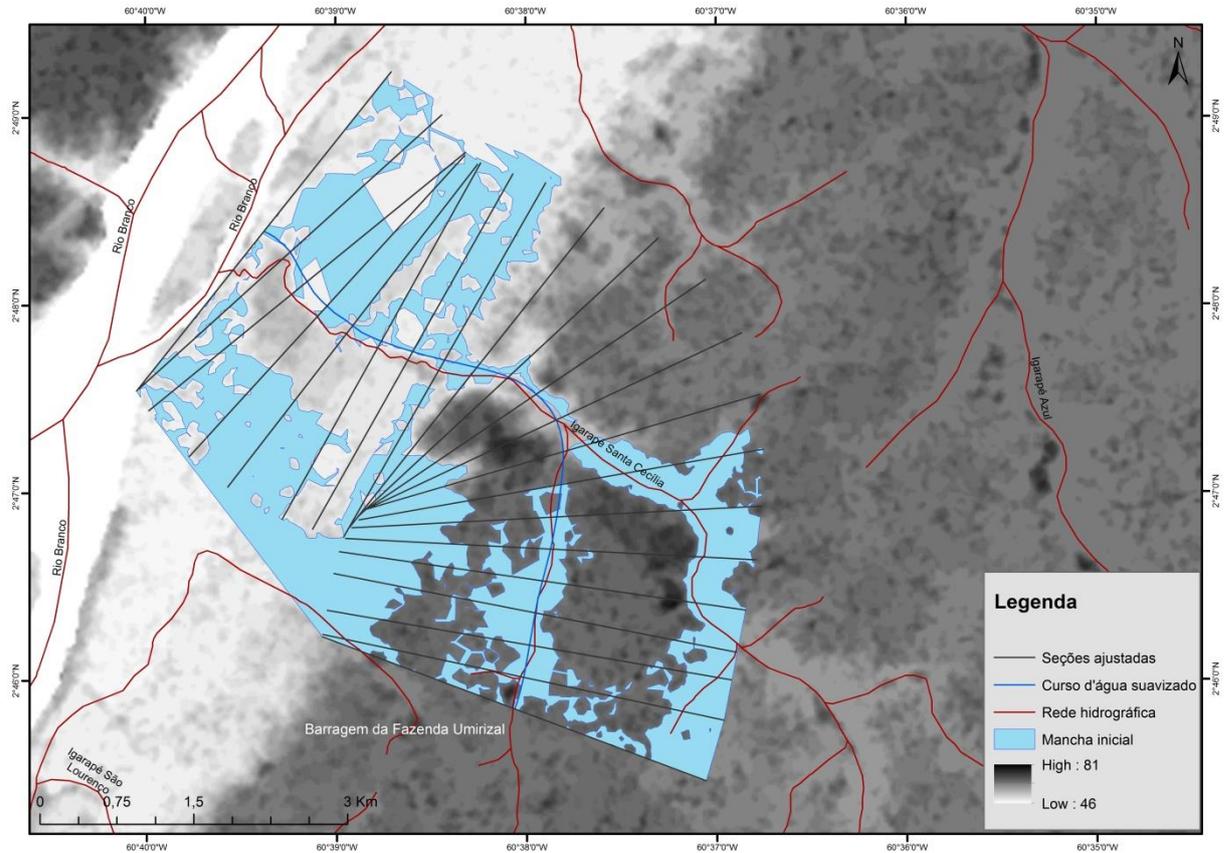
Assim, considerando ainda que o FC define a área útil de escoamento da onda de inundação (BANCO MUNDIAL, 2014), abarcando mais vales quanto menor for o FC, e conseqüentemente elevando a linha da superfície de escoamento, ou seja, a cota máxima, e considerando que a região analisada é bastante plana, foi adotado o menor FC possível, próximo ao valor de 1, em todas as seções das barragens de maneira conservadora.

Deste modo, o FC ajustou qual seção da curva de vazão (Manning) devia ser utilizada para o cálculo da vazão estimada em cada seção, por meio de interpolação, que definiu em seguida a altura de escoamento em cada seção. Estas alturas somadas às cotas do talvegue possibilitaram a obtenção das cotas máximas da superfície livre (de inundação).

3.5.4 Geração da mancha de inundação

Calculadas as alturas máximas de inundação de cada seção das barragens, foi gerada uma superfície de máxima de inundação, por meio da triangulação com o auxílio do *software* ArcGIS, de modo que a diferença positiva entre a superfície gerada e a altitude do terreno resultou na área de inundação. A diferença negativa gerada resultou em áreas não inundadas, por apresentarem alturas superiores à superfície de inundação, conforme Figura 11 abaixo.

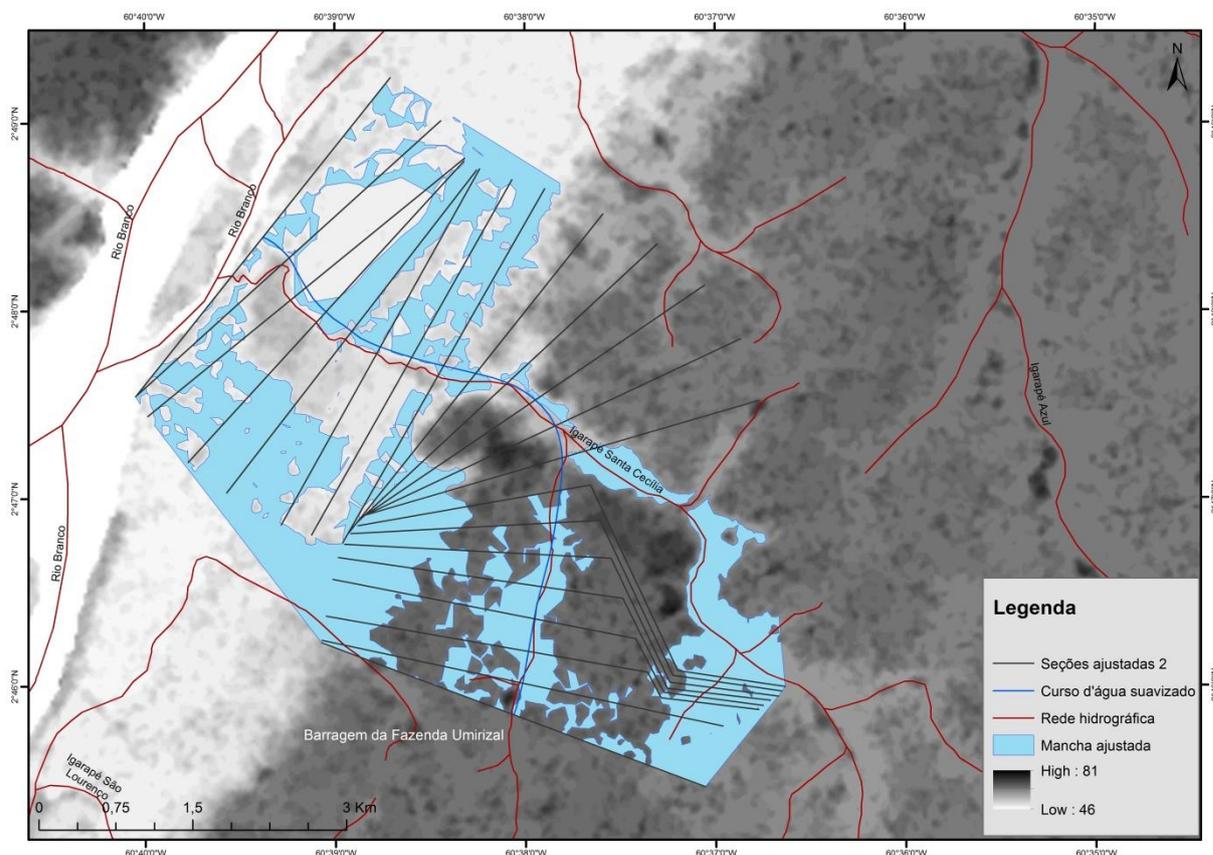
Figura 11 – Mancha de inundação inicial da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

Destaca-se que em todas as barragens a área de inundação gerada estendeu-se à montante de um ou mais afluentes devido à altura máxima da onda cheia abranger cotas que abarcaram o referido rio. Foi realizada a quebra das seções transversais, de acordo com Banco Mundial (2014), em conformidade com o terreno, de forma a evitar tal situação, conforme Figura 12.

Figura 12 – Mancha de inundação inicial após quebra de seções transversais da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

3.5.5 Correções manuais

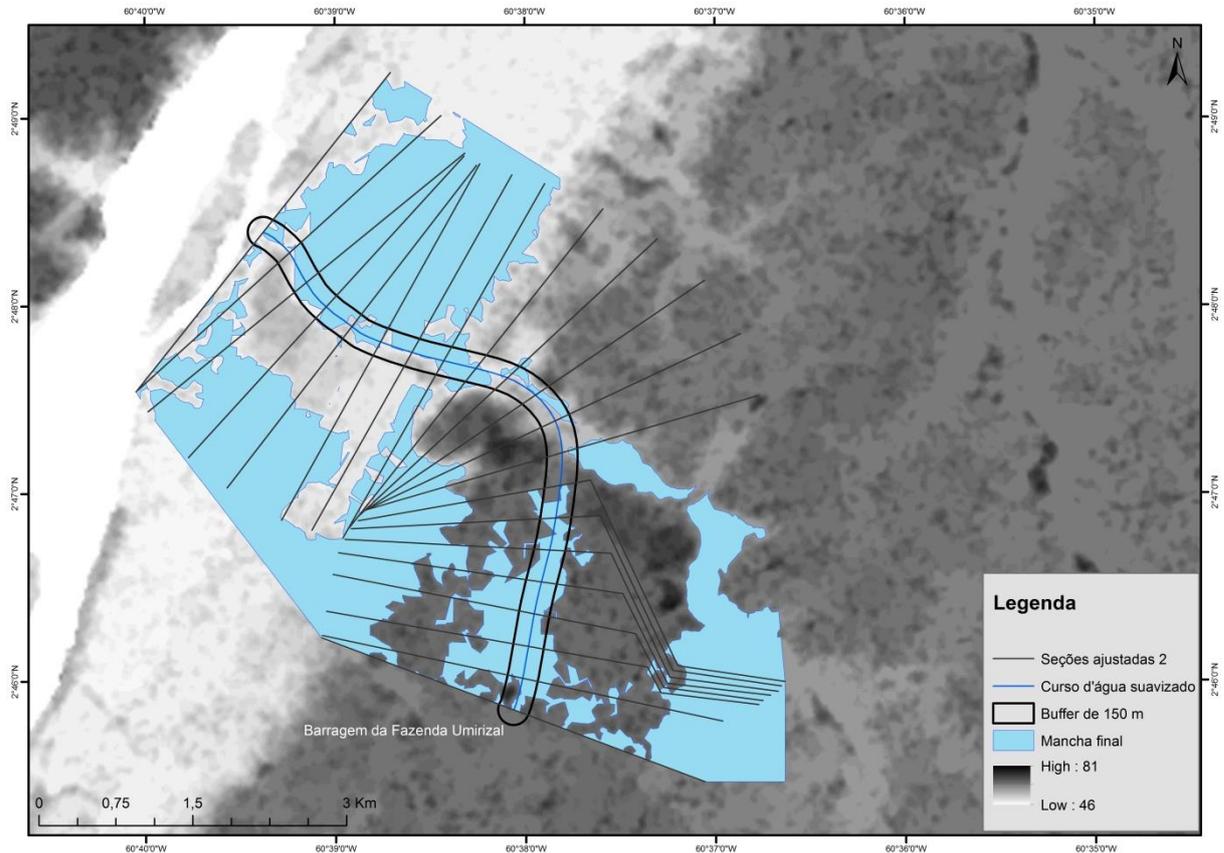
Banco Mundial (2014) ressalta que a natureza artificial dos processos conduz às inevitáveis formações de novas áreas inundadas desligadas da área de inundação ao longo do eixo do canal principal, as quais não possuem qualquer ligação à realidade física da propagação da onda de inundação, devendo então ser excluídas, de forma que a área de inundação resultante seja um contorno fechado contendo o eixo do canal principal.

Logo, para obtenção da mancha final, foi necessário realizar alguns procedimentos para eliminação de lagos sem interligação com a área de inundação, bem como união de áreas molhadas.

Além disso, de maneira conservadora foi realizado um *buffer* moderado em torno no curso d'água represado de 150,0 m, de acordo com ANA (2017c), de modo a considerar possíveis desvios entre a localização do talvegue digitalizado e a localização do talvegue obtida por imagens do MDE, utilizada no estudo. Além disso, o procedimento permitiu que,

nos casos em que as áreas de inundação eram descontínuas ao longo da linha de água, foram tornadas contínuas, conforme Figura 13.

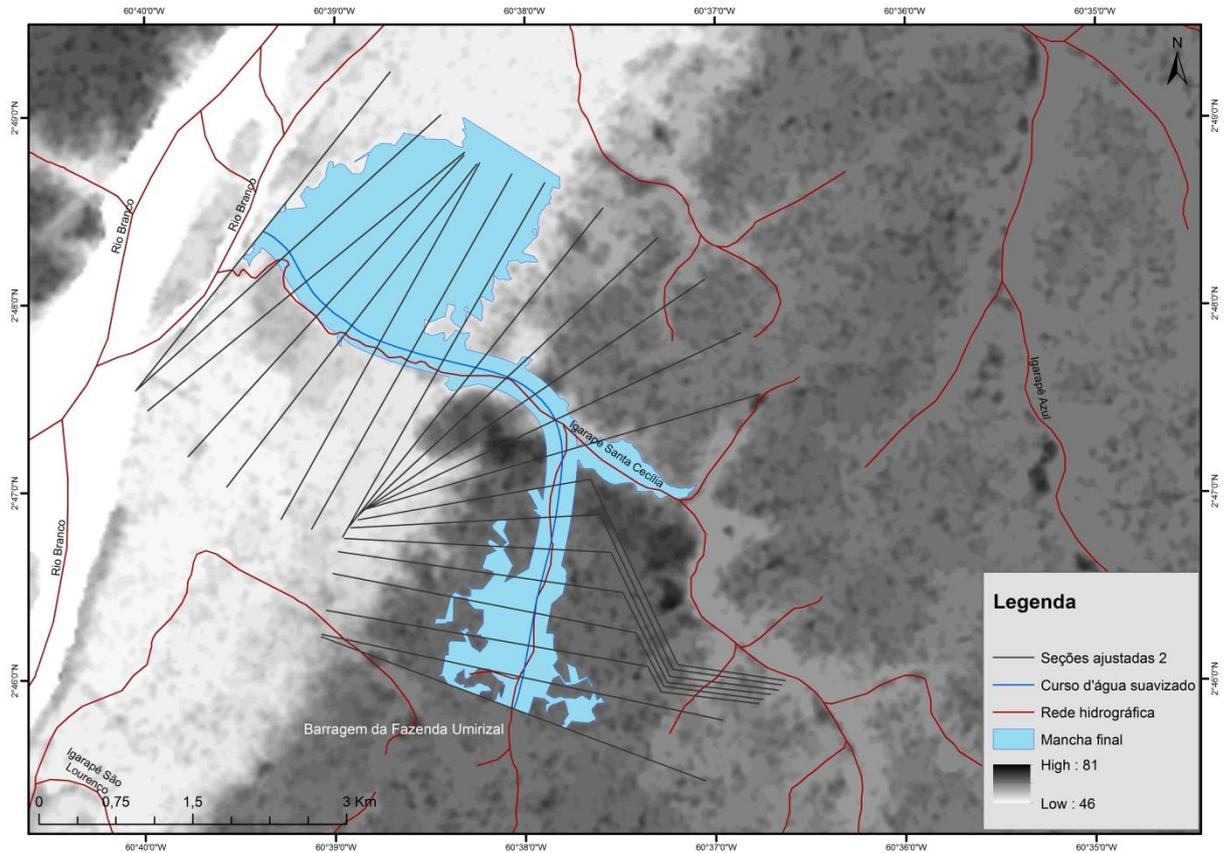
Figura 13 – Mancha de inundação inicial com *buffer* de 150,0 m da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

Assim, a mancha de inundação final foi obtida, após todas as correções manuais descritas acima, conforme Figura 14.

Figura 14 – Mancha de inundação final após correções da barragem da Fazenda Umirizal.



Fonte: Autora (2020).

3.6 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DPA DAS BARRAGENS

Para a classificação das barragens quanto ao DPA, foi utilizado o método simplificado de geração de mancha de inundação, por se considerar mais consistente, uma vez que foi elaborado baseado em estudos de rupturas e experiências de outros países.

Assim, para obtenção da classificação, foram aplicados os critérios apresentados pelas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 de modo a serem analisados seus resultados quanto ao grau de penalização dos barramentos quando considerada a realidade local.

Além disso, a partir dos critérios presentes na IN Femarh n. 3/2017, associados à aplicação do método simplificado de geração de mancha de inundação, foi feita uma análise comparativa entre a classificação obtida e a apresentada pela Femarh, de acordo com ANA (2017d).

Para tanto, de acordo com cada critério analisado foi utilizado como base de dados para classificação o que consta no Quadro 13.

Quadro 13 – Base de dados utilizada para classificação das barragens.

Critério	Base de dados
Volume	SNISB (ANA, 2017d)
Potencial de perdas de vidas humanas	Google Earth e IBGE (IBGE, 2011)
Impacto ambiental	IBGE (IBGE, 2011)
Impacto socioeconômico	Google Earth e IBGE (IBGE, 2011)

Fonte: Autora (2020).

3.7 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DPA

Após vasta pesquisa bibliográfica e seguindo o critério mais conservador, foi elaborada uma proposta de classificação quanto ao DPA, aplicada às barragens do estado de Roraima, de modo que os critérios de classificação propostos foram baseados na situação local, considerando o porte das barragens, bem como a área de inundação obtida pelo método simplificado de geração de mancha, de acordo com ANA (2017c).

Ressalta-se que não foi feita nenhuma alteração nas pontuações atribuídas pela Resolução CNRH n. 143/2012, Resolução ANA n. 132/2016 ou IN Femarh n. 3/2017, quando utilizadas como parâmetros para proposta, uma vez que, de acordo com Banco Mundial (2014a), as pontuações consideradas permitem espelhar de forma correta o peso relativo dos danos, com ênfase em particular ao potencial de perdas de vidas humanas.

3.7.1 Volume total do reservatório

Analisado o que apresenta a literatura quanto aos limites de volume de reservatórios para análise do DPA nas barragens, foi observado que os valores mínimos variam de 0,3 a 5,0 hm³ e os valores extremos entre 1,5 e 200,0 hm³ (ver item 1.2.1).

Assim, de maneira conservadora e com o intuito de não penalizar excessivamente as barragens na classificação quanto ao DPA, foi utilizada a mesma faixa de classificação presente nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, conforme demonstra Quadro 14.

Quadro 14 – Proposta de classificação quanto ao critério do volume total do reservatório.

Critério	Faixa de classificação	Pontuação
Volume Total do Reservatório	PEQUENO: quando apresenta volume ≤ 5 hm ³ .	1
	MÉDIO: quando apresenta volume de 5 a 75 hm ³ .	2
	GRANDE: quando apresenta volume de 75 a 200 hm ³ .	3

Critério	Faixa de classificação	Pontuação
	MUITO GRANDE: quando apresenta volume de maior que 200 hm ³ .	5

Fonte: Autora (2020).

3.7.2 Potencial de perdas de vidas humanas

Quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, de maneira conservadora, foi seguido o critério apresentado pela Resolução CNRH n. 143/2012, no qual atribui pontuação máxima à faixa de classificação que apresenta existência de uma ou mais pessoas na área afetada.

Contudo, foi inserido que em casos de indícios de atividade agrícola e/ou industrial na área afetada seja enquadrado na faixa de classificação “Frequente”, em consonância ao que dispõe Banco Mundial (2014a).

Além disso, nas situações em que não for possível realizar visitas *in loco* e o uso de imagens de satélite não possuir boa resolução espacial para análise do critério de potencial de perdas de vidas humanas, foi atribuída pontuação máxima, de maneira conservadora e em conformidade ao que Banco Mundial (2014a) sugere, conforme Quadro 15.

Quadro 15 – Proposta de classificação quanto ao potencial de perdas de vidas humanas.

Critério	Faixa de classificação	Pontuação
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE: quando não existem pessoas permanentes/residentes ou temporários/transitando na área afetada a jusante da barragem.	0
	POUCO FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local.	4
	FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe atividade agrícola e/ou industrial, rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas.	8
	EXISTENTE: quando não houver qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação ou existam pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas.	12

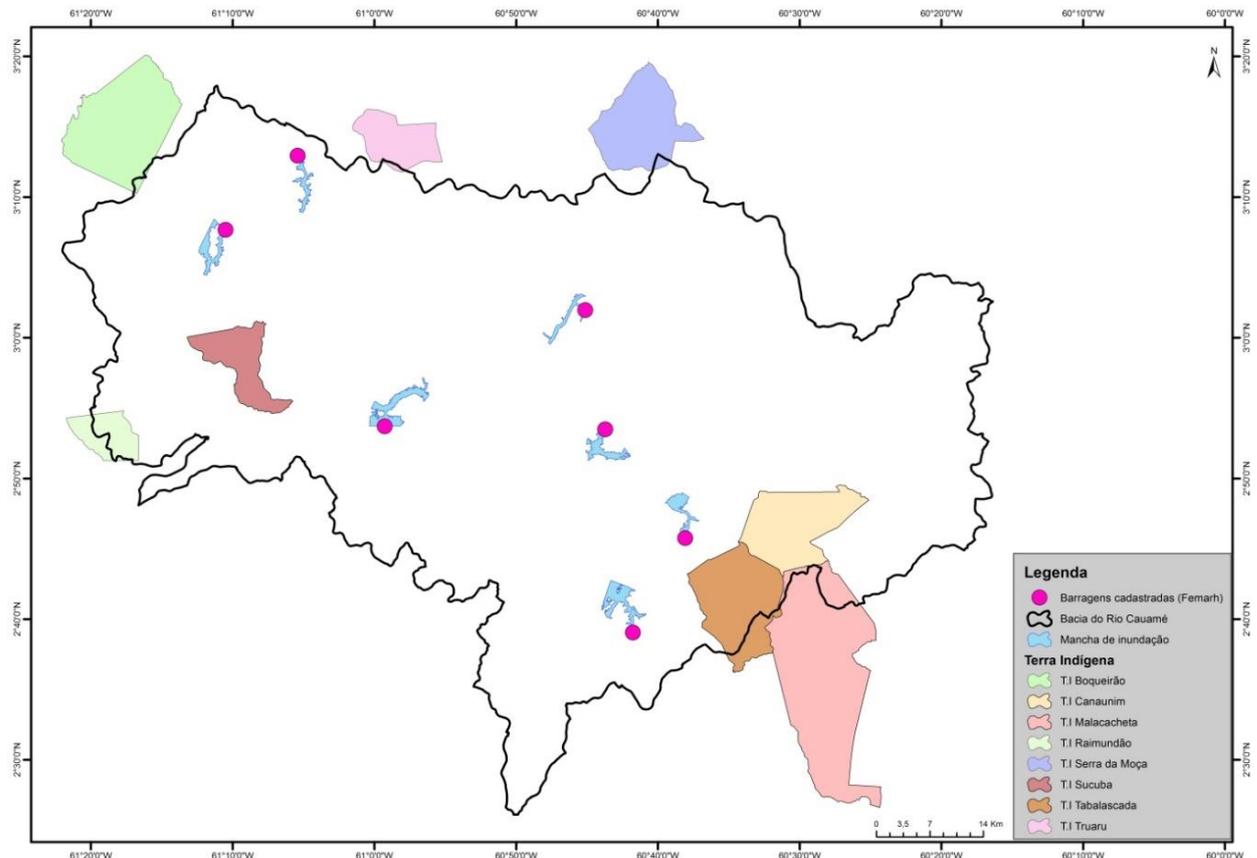
Fonte: Autora (2020).

3.7.3 Impacto ambiental

Segundo Petry et al. (2018), a classificação apresentada na Resolução ANA n. 132/2016, referente ao impacto ambiental e aplicada somente às barragens fiscalizadas pela ANA, proporciona uma pontuação menos rigorosa para pequenas barragens, uma vez que há mais uma faixa de classificação quando comparada às faixas presentes na Resolução CNRH n. 143/2012, redistribuindo melhor o peso da pontuação atribuída inicialmente e refletindo melhor a realidade da barragem.

Com o intuito de inserir critérios aplicados à realidade local, foi analisada a existência de Terras Indígenas, Unidades de Conservação, Área de Proteção Ambiental (APA), Floresta Nacional (FLONA) e Reserva Extrativista (RESEX). Contudo, a bacia em estudo abrangeu somente Terras Indígenas, sendo que nenhuma mancha de inundação gerada as atingiu, conforme ilustra a Figura 14.

Figura 15 – Terras indígenas inseridas na bacia do Rio Cauamé.



Fonte: Autora (2020).

Deste modo, a proposta para análise do impacto ambiental na área afetada foi baseada no que dispõe a Resolução ANA n. 132/2016, uma vez que foram estabelecidas faixas intermediárias para o referido critério, buscando uma complementação e detalhamento dos critérios de classificação do CNRH (ver Quadro 16).

Quadro 16 – Proposta de classificação quanto ao critério de impacto ambiental.

Critério	Faixa de classificação	Pontuação
Impacto ambiental	POUCO SIGNIFICATIVO: quando área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais.	1
	SIGNIFICATIVO: quando a área afetada incluir áreas, de proteção de uso sustentável (APA, FLONA, RESEX, etc.) ou quando for área de interesse ambiental e encontrar-se pouco descaracterizada de suas condições naturais.	2
	MUITO SIGNIFICATIVO: quando a área afetada incluir áreas de proteção integral – ESEC, PARNA, REBIO, etc. inclusive Terras Indígenas – ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural.	5

Fonte: Autora (2020).

3.7.4 Impacto socioeconômico

Banco Mundial (2014a) já havia destacado que há uma relação implícita quanto ao critério socioeconômico e potencial de perdas de vidas, uma vez que sempre que existam vidas na área de inundação, automaticamente é atribuída pontuação máxima a estes critérios, culminando sempre em um DPA alto.

A Resolução ANA n. 132/2016, propôs quatro faixas de classificação quanto ao critério de impacto socioeconômico variando em função da quantidade de instalações residenciais, comerciais, agrícolas, indústrias ou infraestrutura afetada.

De modo a corroborar com a realidade do estado de Roraima, para o qual é proposta a classificação, e em consonância com o dispõe Banco Mundial (2014a), foi inserido, considerações acerca do uso de imagens de satélite com baixa resolução espacial para análise do critério de impacto socioeconômico, conforme demonstra Quadro 17.

Quadro 17 – Proposta de classificação quanto ao critério socioeconômico.

Critério	Faixa de classificação	Pontuação
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE: quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem.	0
	BAIXO: quando existem de 1 a 25 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem.	1
	MÉDIO: quando existem mais de 25 até 100 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem.	3
	ALTO: quando não houver qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação ou quando exista grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação.	8

Fonte: Autora (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir do presente estudo, apresentando as classificações analisadas que contribuiram para elaboração do modelo de proposta de classificação de barragens quanto ao DPA.

4.1 MANCHAS DE INUNDAÇÃO OBTIDAS

Os Quadros 18 a 24, a seguir, apresentam as manchas de inundação finais de cada barragem, destacando a caracterização pontual encontrada na área afetada de cada local, considerando a existência de instalações residenciais, agrícolas, áreas de interesse ambiental, existência de barramentos vizinhos, entre outros.

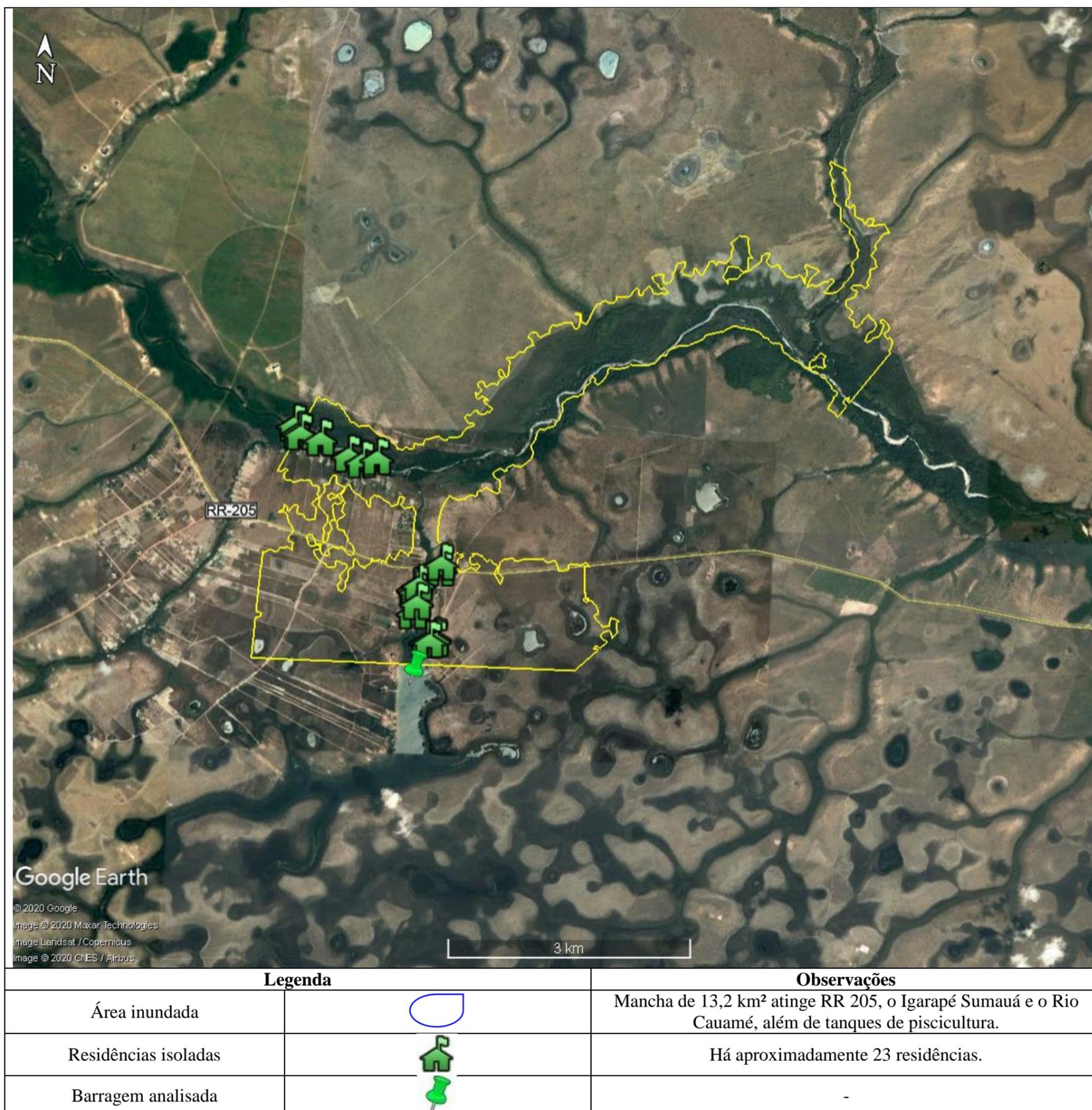
Foi observado que todas as manchas geradas estenderam-se para montante de alguns afluentes, ainda que tenha sido realizadas correções, conforme descreve o item 3.5.5 deste estudo. Ademais, a mancha gerada na barragem da Fazenda Santo Expedito abrangeu, também, parte do igarapé adjacente em virtude de sua proximidade.

Tais fatos ocorreram porque as áreas de inundações dos afluentes foram obtidas devido ao processo geométrico da diferença entre a superfície máxima de inundação calculada e a superfície do MDE utilizado no método simplificado na qual resultou em diferença positiva, sendo parte de tais afluentes inseridos na área inundada.

Foi observado ainda que as áreas afetadas pelas barragens Umirizal e Monte Roraima atingiram a área edificada das cidades de Santa Cecília e Boa Vista, nesta última sendo afetados os bairros Cauamé e Jardim Caranã (Quadros 23 e 24, respectivamente). Tal situação de “inundação” poderá culminar em recalques diferenciais em subleitos de estradas de rodagem, corrosão de estruturas enterradas tais como fundações, canalizações, reservatórios, fossas sépticas, que, por conseguinte, poderá se consubstanciar em focos de poluição e contaminação do aquífero livre.

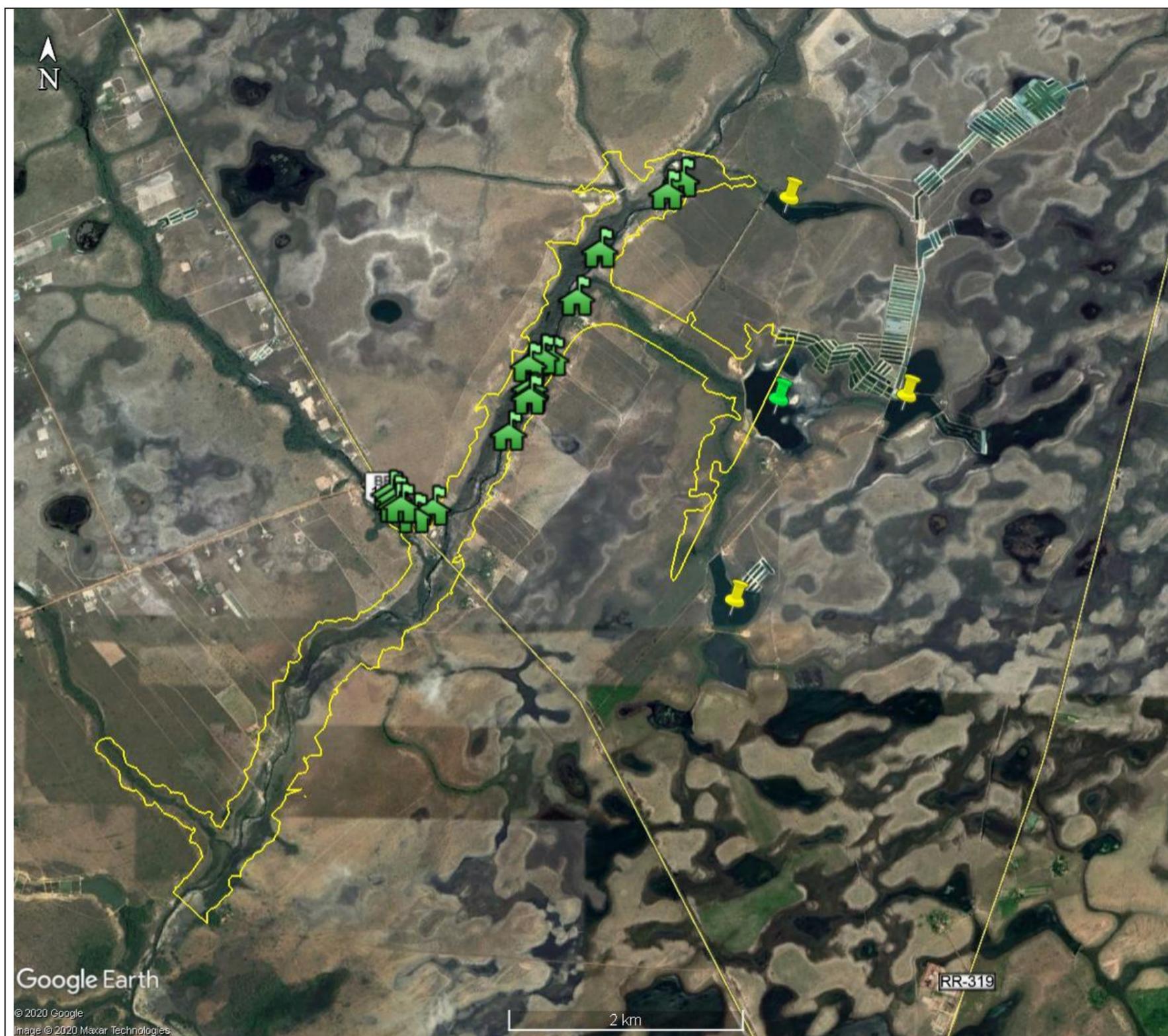
Cabe destacar ainda que a área afetada pela barragem Monte Roraima (Quadro 24) poderá sofrer alterações, aumentando a área inundada inicialmente, uma vez que foram encontradas barragens para piscicultura próximas à estudada.

Quadro 18 – Mancha de inundação da barragem Ecopark.



Fonte: Autora (2020).

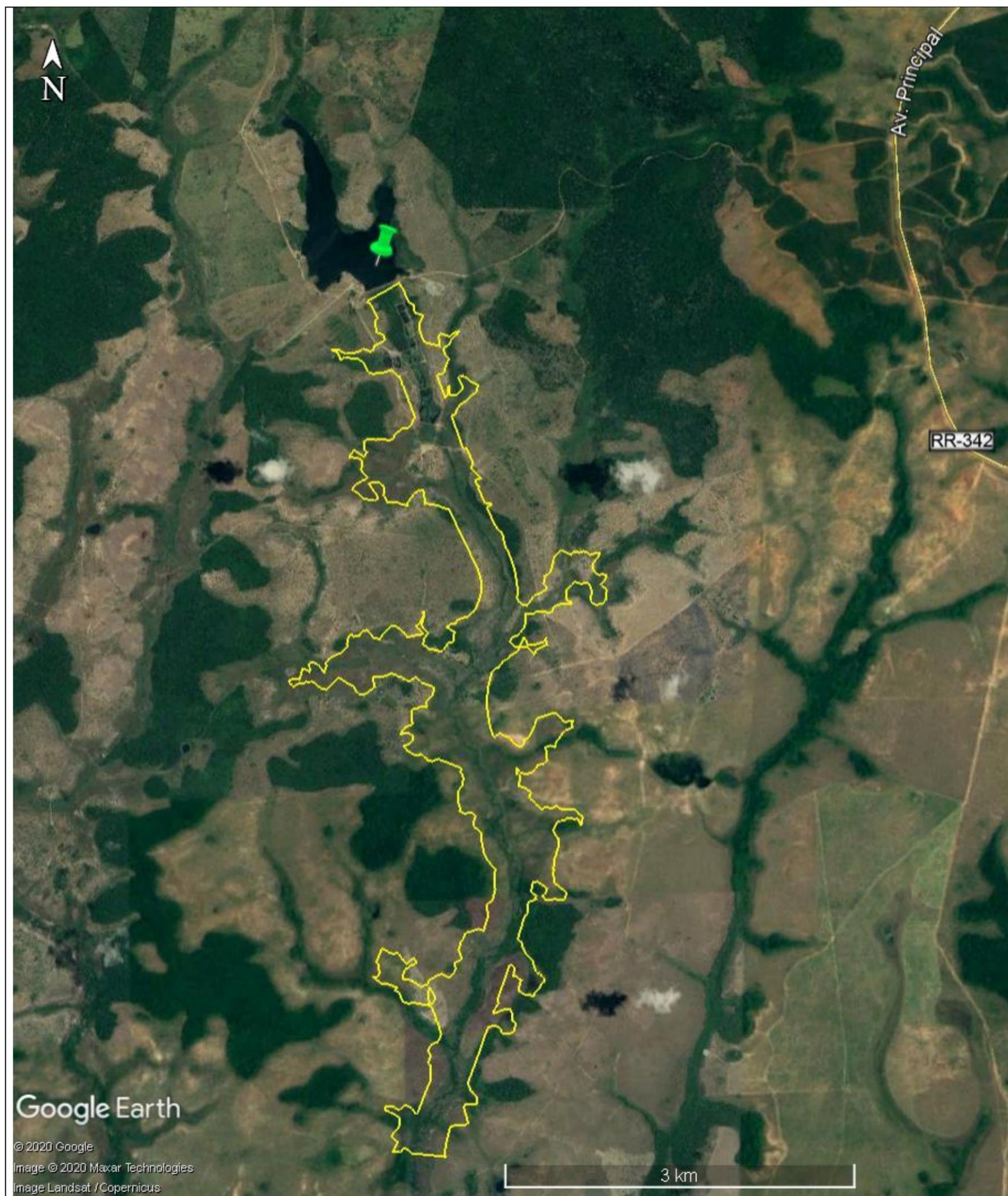
Quadro 19 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Frutal.



Legenda		Observações
Área inundada		Mancha de 4,4 km ² atinge BR 174 e os Igarapés: Murupu, Sucurijá, Água Branca e 1 sem nome, além de tanques de piscicultura.
Residências isoladas		Há aproximadamente 23 residências.
Barragem analisada		-
Barragem vizinha		Há 3 barramentos próximos que poderão influenciar na mancha gerada.

Fonte: Autora (2020).

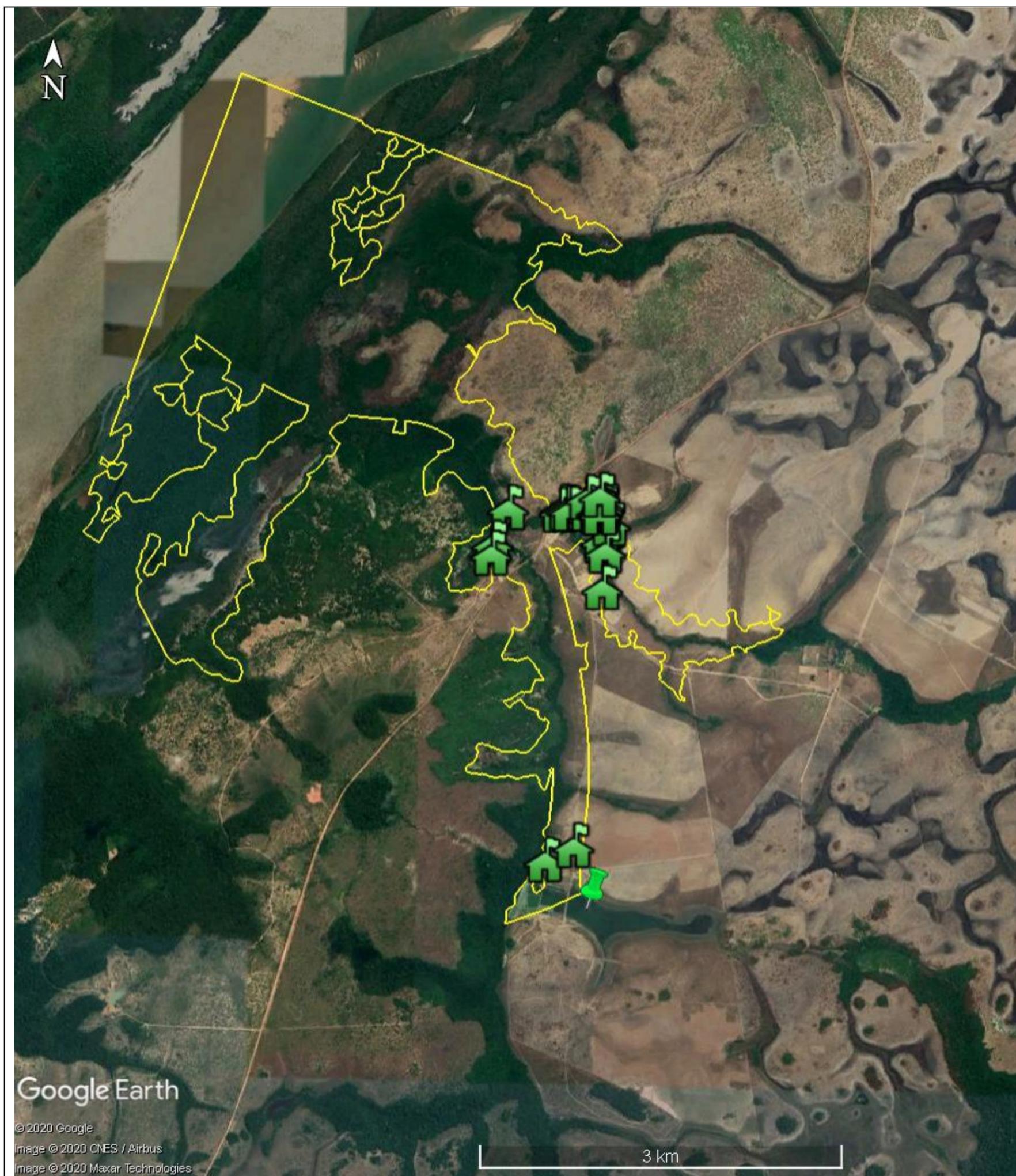
Quadro 20 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Nogueira.



Legenda		Observações
Área inundada		Mancha de 4,8 km ² atinge os Igarapés: Lontra, do Jairo e 1 sem nome, além de tanques de piscicultura.
Barragem analisada		-

Fonte: Autora (2020).

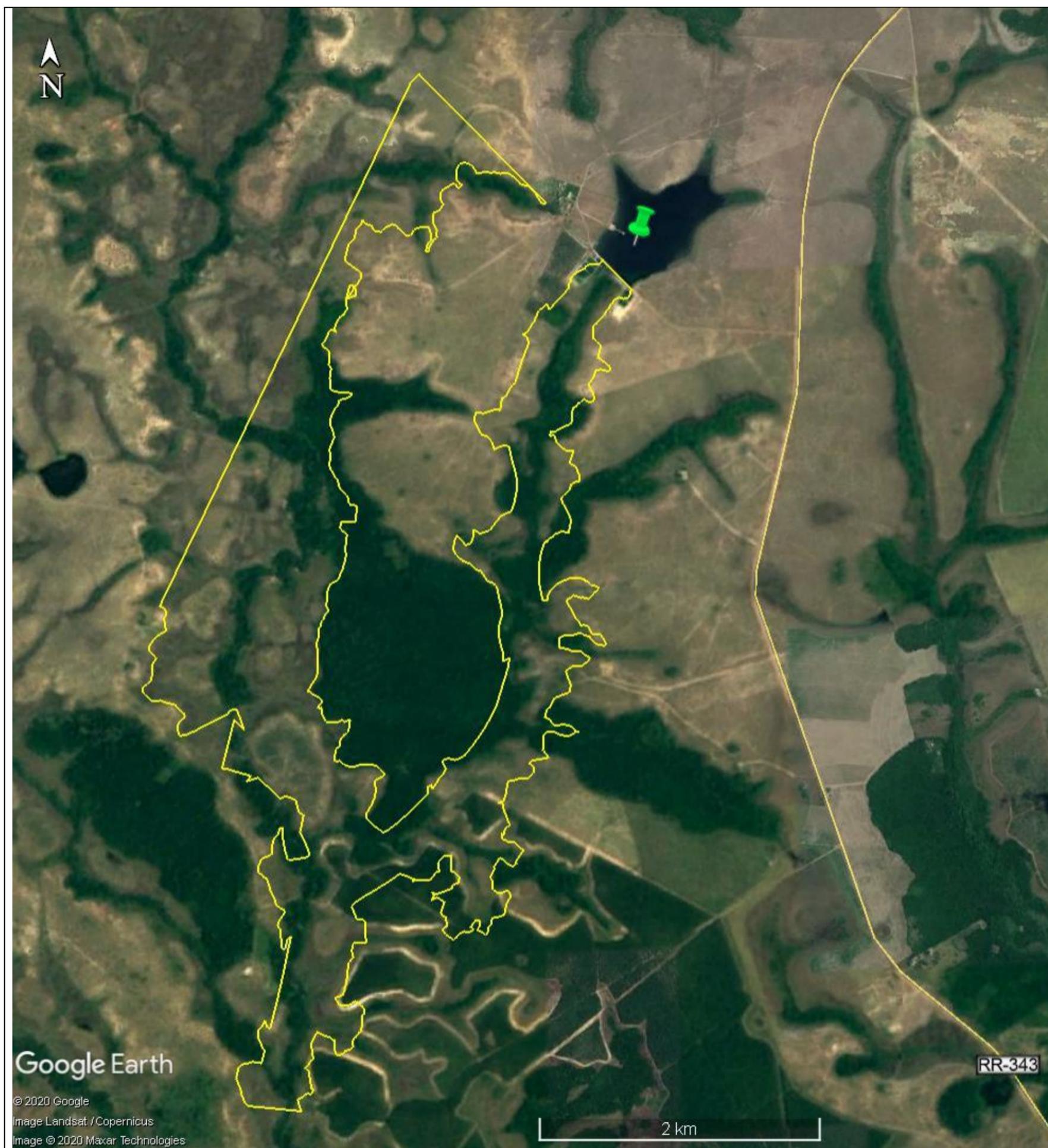
Quadro 21 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Santo Expedito.



Legenda		Observações
Área inundada		Mancha de 11,1 km ² atinge dois Igarapés sem nomes e vicinais, além de tanques de piscicultura.
Residências isoladas		Há aproximadamente 23 residências.
Barragem analisada		-

Fonte: Autora (2020).

Quadro 22 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda São Domingos.



Legenda		Observações
Área inundada		Mancha de 7,5 km ² atinge dois Igarapés sem nomes e o Rio Cauamé, além de tanques de piscicultura.
Residências isoladas		*Sem visibilidade suficiente para determinação.
Barragem analisada		-
Barragem vizinha		*Sem visibilidade suficiente para determinação.

Fonte: Autora (2020).

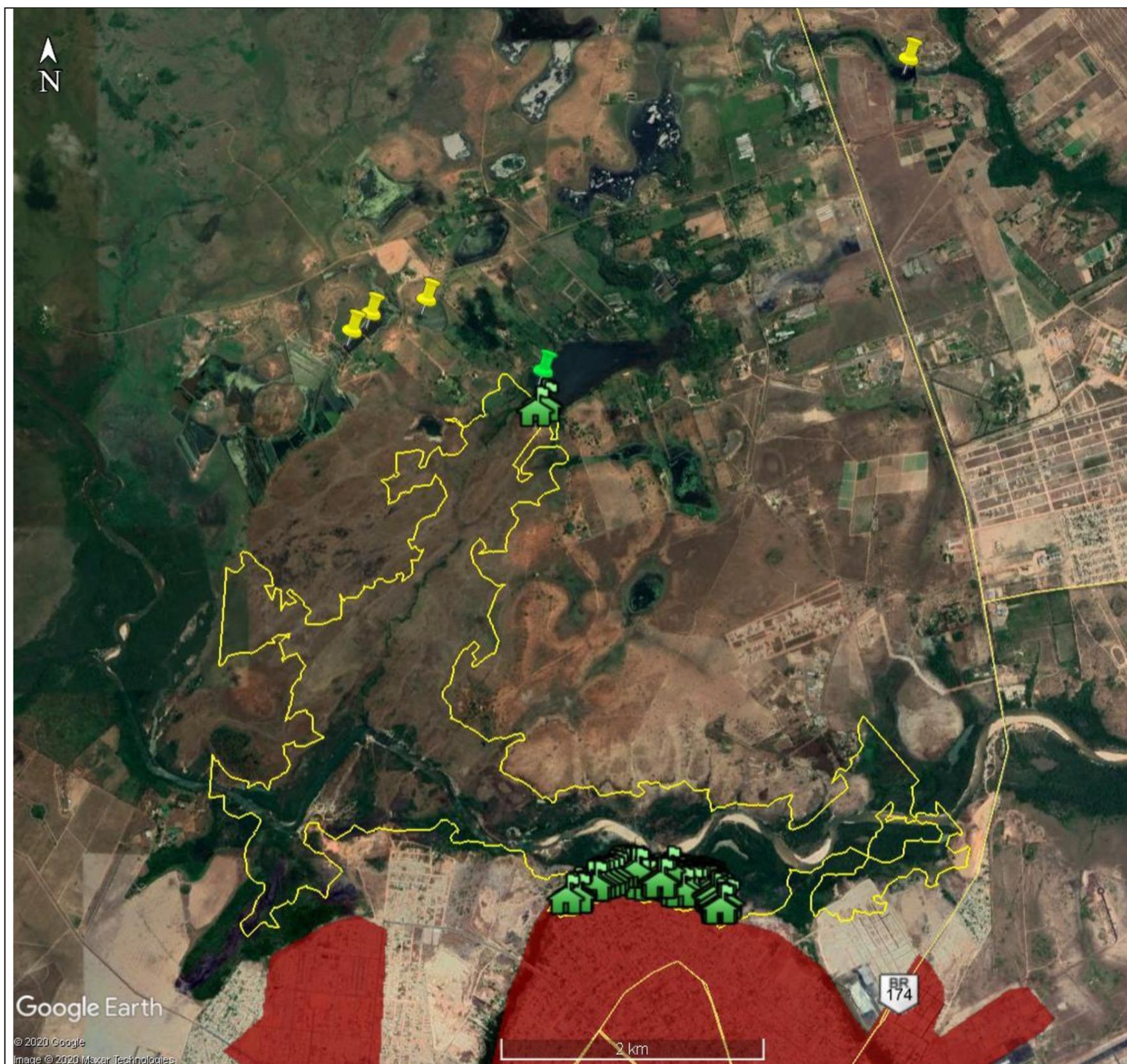
Quadro 23 – Mancha de inundação da barragem da Fazenda Umirizal.



Legenda		Observações
Área edificada		Cidade de Santa Cecília/RR.
Área inundada		Mancha de 6,7 km ² atinge Igarapé Santa Cecília, BR 401 e em média 10 residências.
Barragem analisada		-

Fonte: Autora (2020).

Quadro 24 – Mancha de inundação da barragem Monte Cristo.



Legenda		Observações
Área edificada		Cidade de Boa Vista/RR.
Área inundada		Mancha de 7,1 km ² atinge o Rio Cauamé.
Residências isoladas		Há aproximadamente 160 residências.
Barragem analisada		-
Barragem vizinha		Há 4 barramentos a montante que poderão influenciar na mancha gerada.

Fonte: Autora (2020).

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS QUANTO O DPA

De modo a construir uma proposta de classificação de barragens quanto ao DPA para o estado de Roraima, foi realizada análise comparativa entre os critérios apresentados nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, quando aplicados aos barramentos em estudo, conforme demonstrado a seguir. Ademais, foram analisados também os critérios apresentados na IN Femarh n. 3/2017, com intuito de avaliar sua aplicabilidade à realidade das barragens.

Destaca-se ainda que, foram utilizadas, em ambas as análises, as manchas de inundação obtidas de cada barragem.

4.2.1 Análise comparativa entre o critério do CNRH e da ANA

As manchas de inundação das barragens em estudo (ver Quadro 12) possibilitaram analisar pontualmente o cenário de cada barramento, de modo a classificá-los quanto aos critérios apresentados nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, como seguem abaixo os Quadros 25 a 31.

Quadro 25 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Médio	Médio	2	2
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Médio	4	3
Total			21	18
DPA			Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 26 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Pequeno	Pequeno	1	1
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Médio	4	3
Total			20	17
DPA			Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 27 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Nogueira, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Médio	Médio	2	2
Potencial de perdas de vidas humanas	Inexistente	Inexistente	0	0
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Baixo	4	1
Total			9	4
DPA			Baixo	Baixo

Fonte: Autora (2020).

Quadro 28 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedito, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Pequeno	Pequeno	1	1
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Médio	4	3
Total			20	17
DPA			Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 29 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Pequeno	Pequeno	1	1
Potencial de perdas de vidas humanas ²	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Médio	4	3
Total			20	17
DPA			Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 30 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Pequeno	Pequeno	1	1
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Baixo	Médio	4	3
Total			20	17
DPA			Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 31 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo, baseada nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

	Faixa de classificação		Pontuação	
	CNRH	ANA	CNRH	ANA
Volume Total do Reservatório	Pequeno	Pequeno	1	1
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	Existente	12	12
Impacto ambiental	Significativo	Pouco significativo	3	1
Impacto socioeconômico	Alto	Alto	8	8
Total			24	22
DPA			Alto	Alto

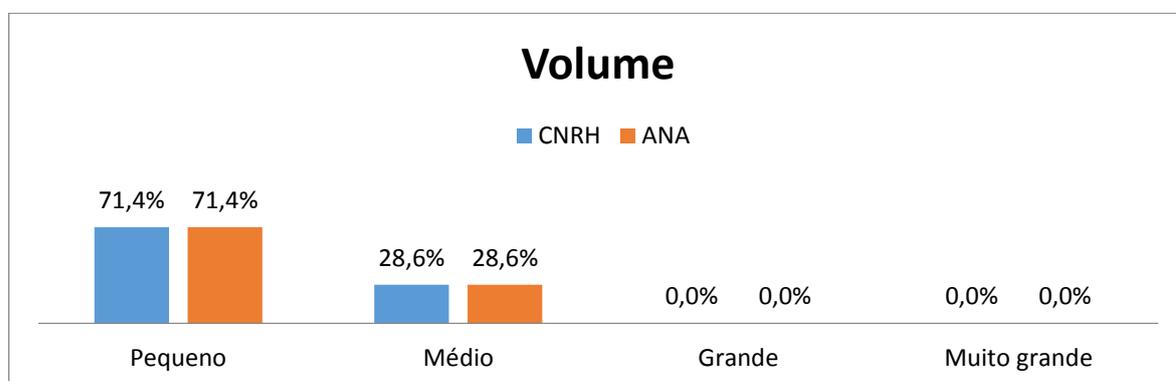
Fonte: Autora (2020).

² Foi atribuída pontuação máxima, de maneira conservadora, devido a má qualidade das imagens de satélites disponíveis, impossibilidade análise.

Foi observado que a aplicação dos critérios das Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 resultaram em pontuações finais distintas para classificação quanto ao DPA. Contudo, todas as barragens analisadas apresentaram a mesma classe final de DPA, o que implica dizer que não houve diferença significativa na classificação final quando comparados ambos os critérios.

Considerando a realidade dos reservatórios das barragens do estado de Roraima, a qual é de pequeno a médio porte, quando comparados a outros estados, a análise da faixa de classificação quanto ao volume, conforme Figura 16, já era esperada, de modo que mais de 70,0 % das barragens se enquadraram como volume “pequeno”.

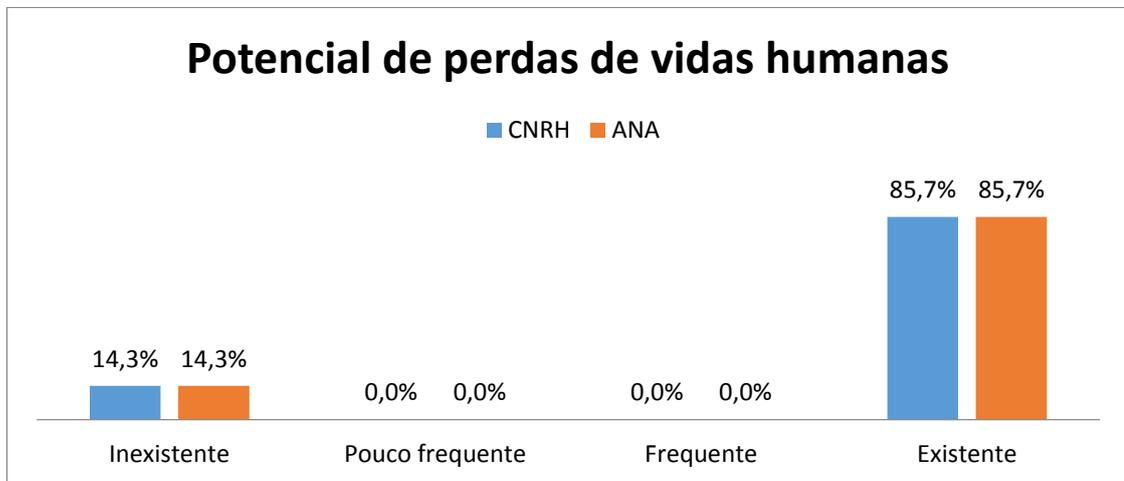
Figura 16 – Análise gráfica da faixa de classificação obtida quanto ao volume.



Fonte: Autora (2020).

No que tange à classificação quanto ao potencial de perdas de vidas humanas e considerando que a metodologia utilizada em ambos os critérios é de que, havendo a existência de vida humana na área sujeita a inundação seja aplicada pontuação máxima, mais de 85,0 % dos barramentos foram enquadrados na faixa “existente”, conforme Figura 17. Assim, o resultado da referida classificação, ainda que bastante penalizante e conservadora, é coerente, uma vez na maioria das barragens do estado há no mínimo uma residência de apoio ao empreendimento.

Figura 17 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao potencial de perdas de vidas humanas.

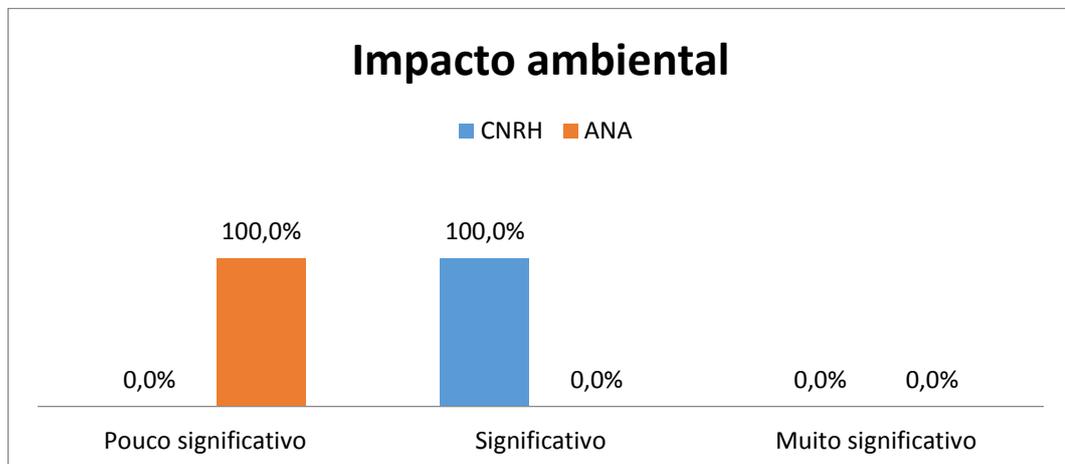


Fonte: Autora (2020).

Foi constatado ainda que nas faixas de classificação de volume e potencial de perdas de vidas humanas os critérios apresentados nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 são convergentes entre si, logo, não houve alteração nos resultados como esperado, conforme demonstram as Figuras 16 e 17 acima.

Na análise do impacto ambiental, foi observado que todas as barragens se enquadraram na menor faixa de classificação, quer seja aplicando o critério da Resolução CNRH n. 143/2012 (significativo), quer seja da ANA n. 132/2016 (pouco significativo), conforme ilustrado na Figura 18, uma vez que as barragens analisadas não estavam inseridas em áreas de interesse ambiental como Terras Indígenas ou Unidades de Conservação.

Figura 18 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto ambiental.

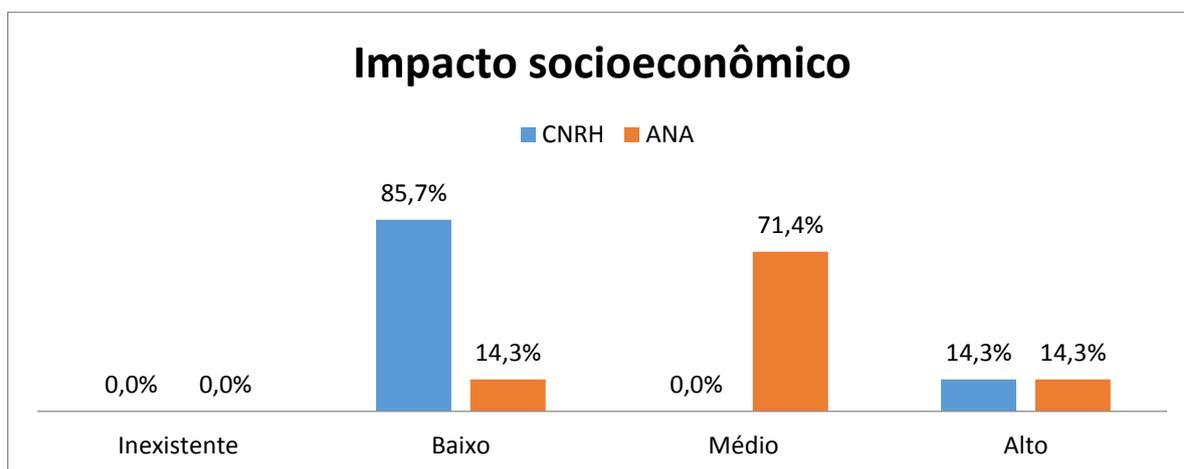


Fonte: Autora (2020).

Ressalta-se que, devido a Resolução ANA n. 132/2016 ter inserido uma nova faixa de classificação, afim de melhor redistribuir as pontuações atribuídas, houve uma despenalização e mudança de faixa em todas as barragens considerada adequada. Contudo, tal alteração não teve reflexo significativo na classificação final quanto ao DPA.

Por fim, quanto à análise do impacto socioeconômico, foi observado que de fato houve uma mudança significativa, conforme Figura 19, uma vez que as barragens se enquadraram em três de quatro faixas propostas pelo critério da ANA, havendo maior concentração na faixa de impacto “médio”. Destaca-se que isso ocorreu devido aos parâmetros quantitativos inseridos na Resolução ANA n. 132/2016, antes inexistentes na Resolução CNRH n. 143/2012, que ponderaram de modo mais realista a classificação.

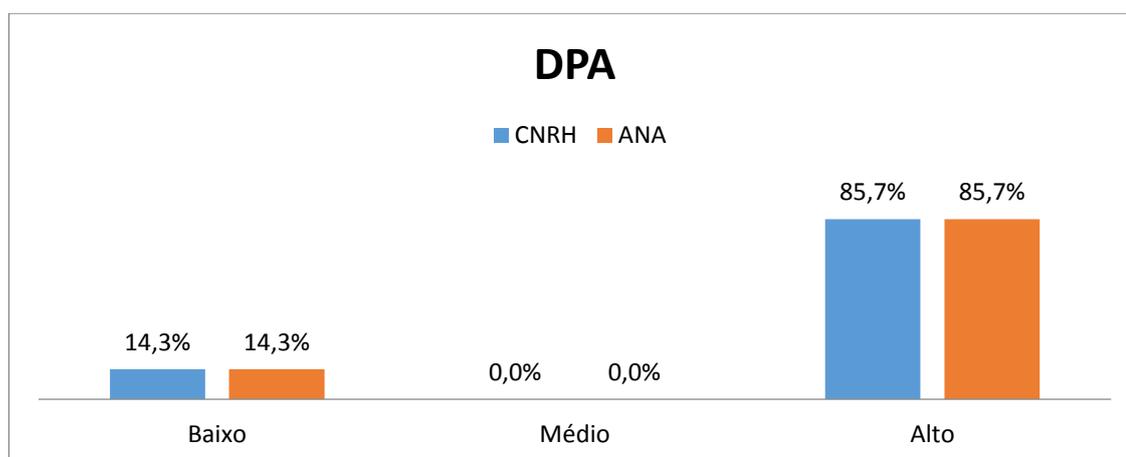
Figura 19 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto socioeconômico.



Fonte: Autora (2020).

Deste modo, ainda que com pontuais diferenças nas faixas de classificação entre as Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, os DPA das barragens obtido foram os mesmos, como demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Análise gráfica das classes de DPA obtidas.



Fonte: Autora (2020).

De acordo com ambos os critérios, aproximadamente 86,0 % das barragens cadastradas se enquadraram no que dispõe da Lei n. 12.334/2010, uma vez que possuíam DPA alto. Tal fator ocorre em função da severa penalidade atribuída à existência de vidas humanas na área afetada, uma vez que em todos os casos em que ocorreram, as barragens foram classificadas com DPA alto.

4.2.2 Análise do critério da Femarh

A partir da delimitação da área afetada pelo método de geração de mancha de inundação, foram aplicados os critérios adotados pela Femarh para a referida classificação, estabelecidos na IN Femarh n. 3/2017, resultando nos Quadros 32 a 38.

Quadro 32 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Grande	3
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		22
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 33 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Médio	2
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		21
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 34 – Classificação quanto ao DPA da barragem fazenda Nogueira, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Grande	3
Potencial de perdas de vidas humanas	Inexistente	0
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		10
DPA		Baixo

Fonte: Autora (2020).

Quadro 35 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedido, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Médio	2
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		21
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 36 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Grande	3

Faixa de classificação		Pontuação
Potencial de perdas de vidas humanas ³	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		22
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 37 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Pequeno	1
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Baixo	4
Total		20
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 38 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

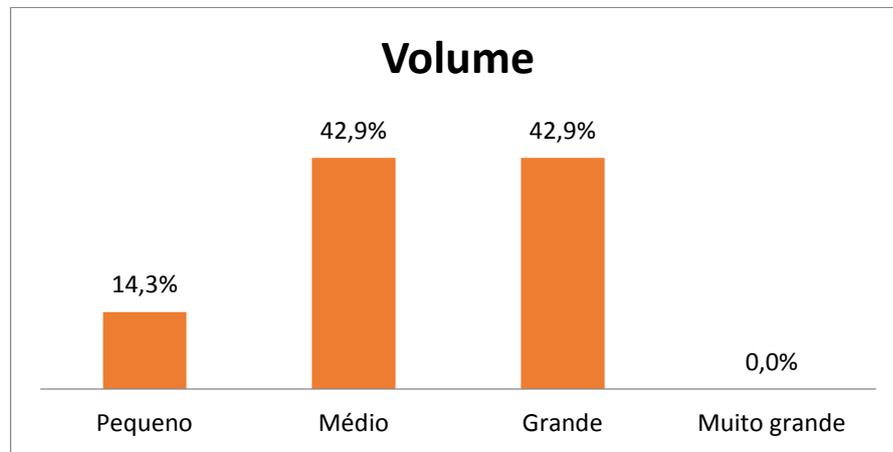
Faixa de classificação		Pontuação
Volume Total do Reservatório	Médio	2
Potencial de perdas de vidas humanas	Existente	12
Impacto ambiental	Significativo	3
Impacto socioeconômico	Alto	8
Total		25
DPA		Alto

Fonte: Autora (2020).

Os barramentos estudados não apresentaram grandes volumes quando classificados pelo critério das Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 (ver Figura 15), contudo, o critério apresentado na IN Femarh n. 3/2017 alterou as faixas de classificação propostas a nível nacional, o que culminou no enquadramento das barragens em três das quatro faixas de classificação, conforme Figura 21.

³ Foi atribuída pontuação máxima, de maneira conservadora, devido a má qualidade das imagens de satélites disponíveis, impossibilidade análise.

Figura 21 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao volume, baseada na IN Femarh n. 3/2017.

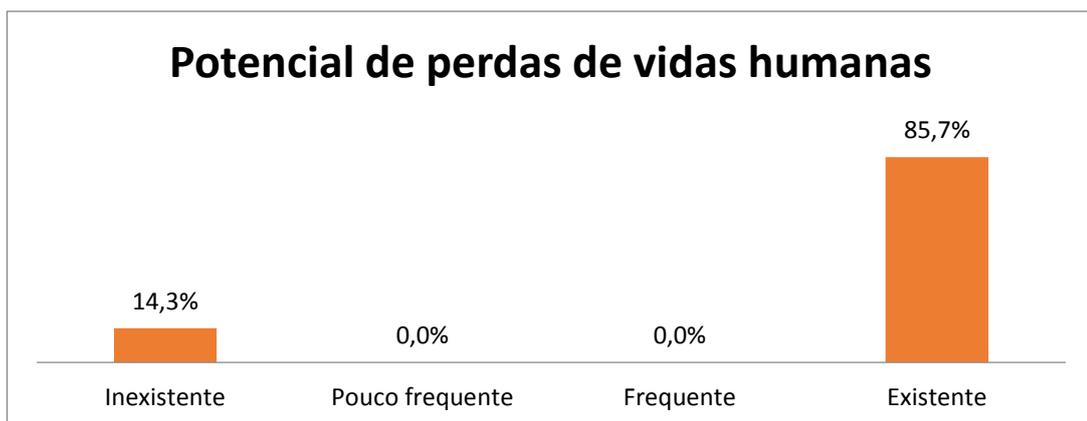


Fonte: Autora (2020).

A partir da classificação obtida, foi observado que quase 86,0 % das barragens foram classificadas com volume “médio” e “grande”, o que pode gerar uma penalização excessiva desnecessária.

A Figura 22 permitiu visualizar que aproximadamente 86,0 % das barragens apresentaram “existente” potencial de perdas de vidas humanas. Destaca-se que todas as barragens que foram enquadradas nesta faixa obtiveram DPA “alto”.

Figura 22 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, baseada na IN Femarh n. 3/2017.



Fonte: Autora (2020).

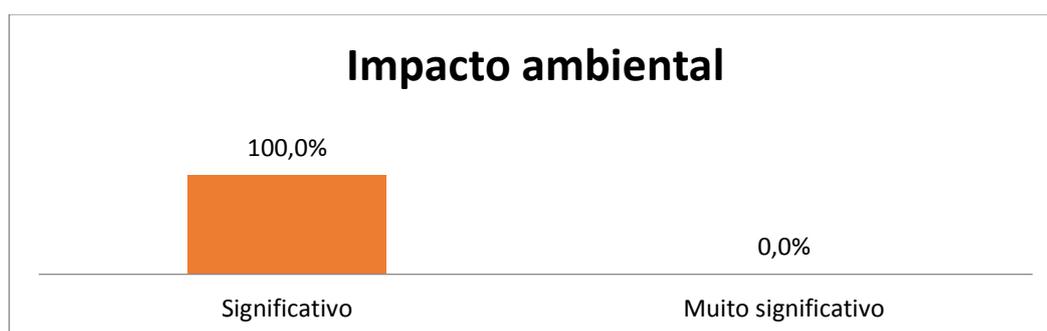
Ademais, no caso da barragem da Fazenda Umirizal (Quadro 37) que apresentou as menores faixas de classificação em todos os quesitos e por consequência menor pontuação

atribuída, exceto no quesito de potencial de perdas de vidas humanas, foi classificada ainda com DPA “alto”.

A única barragem classificada com DPA “baixo” foi a da Fazenda Nogueira (Quadro 34) que, mesmo com volume de reservatório “grande”, apresentou potencial de perdas de vidas humanas “inexistentes”, o que proporcionou baixa pontuação quanto ao DPA, classificando-a como “baixa”. Assim, observou-se que a faixa mais penalizante refere-se à existência de vidas humanas.

No que tange ao impacto ambiental, todas as barragens foram enquadradas na menor faixa de classificação, já que não estão inseridas em áreas de interesse ambiental como Terras Indígenas ou Unidades de Conservação, tendo sido classificadas com impacto “significativo”, conforme Figura 23.

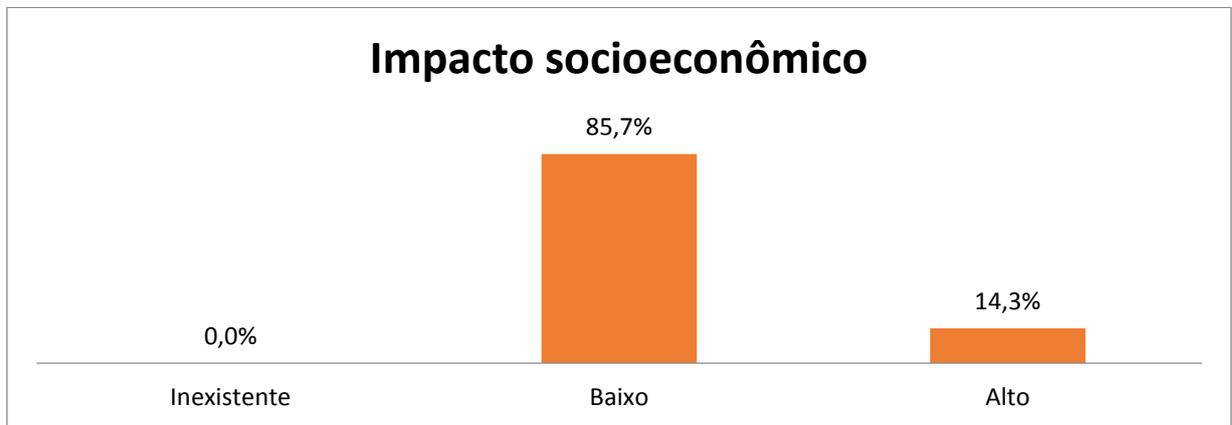
Figura 23 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto ambiental, baseada na IN Femarh n. 3/2017.



Fonte: Autora (2020).

Por fim, considerando que em todas as barragens havia pequena concentração de instalações residenciais e/ou tanques de pisciculturas inseridos na área afetada, cerca de 86,0 % das barragens foram classificadas com “baixo” impacto socioeconômico, conforme demonstrada na Figura 24. Somente uma barragem foi classificada com “alto” impacto, pois atingiu muitas residências na área edificada da cidade de Boa Vista.

Figura 24 – Análise gráfica da classificação obtida quanto ao impacto socioeconômico, baseada na IN Femarh n. 3/2017.



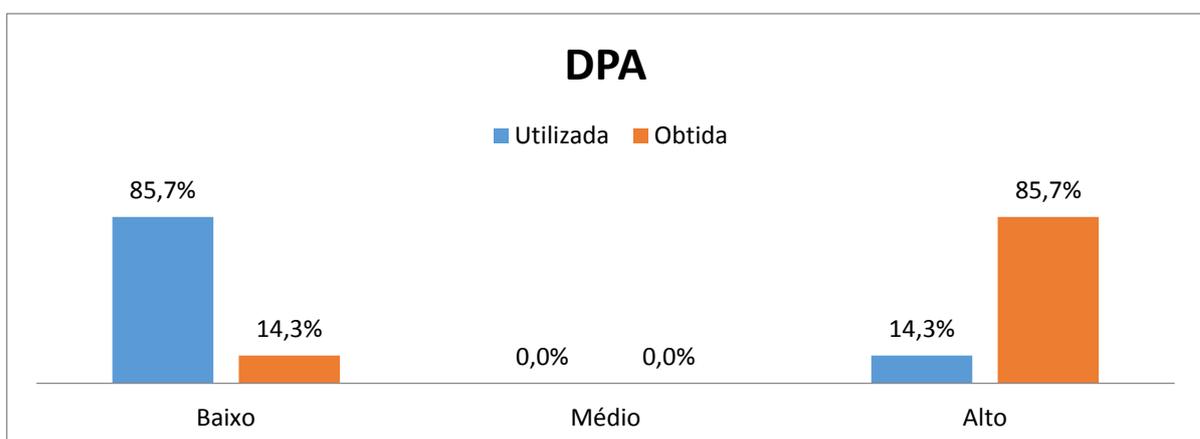
Fonte: Autora (2020).

Considerando a última classificação disponível no SNISB, foi observado que todas as barragens em estudo apresentam DPA “baixo”, exceto a Barragem Ecopark, a qual apresenta DPA “alto” (ANA, 2017a).

Destaca-se que atualmente o órgão fiscalizador estadual, Femarh, não possui critérios de delimitação de área afetada que subsidiem uma classificação consistente das barragens quanto ao DPA. Logo, tal fato pode ter resultado no maior enquadramento das barragens como DPA “baixo”.

Comparando os resultados obtidos, a partir da utilização do método simplificado para delimitação da área afetada, com a classificação de acordo com ANA (2017a), foi observado que houve uma inversão dos resultados da classificação, sendo mais agravante a obtida, conforme demonstra Figura 25 abaixo.

Figura 25 – Análise gráfica da classificação quanto ao DPA (critério Femarh).



Fonte: Autora (2020).

Portanto, baseado nos resultados obtidos adotando os critérios propostos pela Femarh, associado às manchas de inundação obtidas, foi constatado que houve um excesso de penalização quanto ao DPA das barragens, que pode não refletir a realidade, estando 86,0 % classificadas com DPA “alto”, inseridas, portanto, ao que determina a Lei n. 12.334/2010.

4.3 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE DPA PARA O ESTADO DE RORAIMA

Baseada nas penalizações excessivas discorridas no item 4.2, se fez necessário analisar os parâmetros utilizados para classificação das barragens quanto ao DPA, utilizando como metodologia para delimitação da área afetada a apresentada no item 3.5, uma vez que a Femarh não possui nenhuma.

Assim, foram verificados quais parâmetros utilizados pelos critérios das Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 e IN Femarh n. 3/2017, bem como das experiências nacionais e internacionais, puderam contribuir para formulação da proposta, o que resultou no Quadro 39 abaixo.

Quadro 39 – Proposta de classificação quanto ao DPA das barragens para o estado de Roraima.

	Faixa de classificação	Pontos
Volume Total do Reservatório (I)	PEQUENO: quando apresenta volume $\leq 5 \text{ hm}^3$.	1
	MÉDIO: quando apresenta volume de 5 a 75 hm^3 .	2
	GRANDE: quando apresenta volume de 75 a 200 hm^3 .	3
	MUITO GRANDE: quando apresenta volume de maior que 200 hm^3 .	5
Potencial de perdas de vidas humanas (II)	INEXISTENTE: quando não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem.	0
	POUCO FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local.	4
	FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe atividade agrícola e/ou industrial, rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas.	8
	EXISTENTE: quando não há qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação ou existam pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas.	12

	Faixa de classificação	Pontos
Impacto ambiental (III)	POUCO SIGNIFICATIVO: quando área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais.	1
	SIGNIFICATIVO: quando a área afetada inclui áreas de proteção de uso sustentável (APA, FLONA, RESEX, etc.) ou quando se trata de área de interesse ambiental e encontra-se pouco descaracterizada de suas condições naturais.	2
	MUITO SIGNIFICATIVO: quando a área afetada incluir áreas de proteção integral (ESEC, PARNA, REBIO, etc.), inclusive Terras Indígenas, ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural.	5
Impacto socioeconômico (IV)	INEXISTENTE: quando não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem.	0
	BAIXO: quando existem de 1 a 25 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem.	1
	MÉDIO: quando existem mais de 25 até 100 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem.	3
	ALTO (quando não houver qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação ou quando exista grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação, acima de 100).	8

Fonte: Autora (2020).

A partir da proposta apresentada, apenas com adoção de parâmetros quantitativos nas faixas de classificação, sem alteração das respectivas pontuações, bem como do critério mais penalizante apresentado em todas as classificações apresentadas neste trabalho – potencial de perda de vidas humanas – foram obtidas as classificações abaixo, conforme demonstram Quadros 40 a 46. Os referidos quadros apresentam ainda uma comparação das classificações obtidas pelos critérios do CNRH, da ANA e Femarh.

Quadro 40 – Classificação quanto ao DPA da barragem Ecopark pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Médio	Médio	Grande	Médio	2	2	3	2
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	4	3	4	1
Total					21	18	22	16
DPA					Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 41 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Frutal pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Pequeno	Pequeno	Médio	Pequeno	1	1	2	1
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	4	3	4	1
Total					20	17	21	15
DPA					Alto	Alto	Alto	Médio

Fonte: Autora (2020).

Quadro 42 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Nogueira pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Médio	Médio	Grande	Médio	2	2	3	2
II	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente	0	0	0	0
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	4	1	4	1
Total					9	4	10	4
DPA					Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: Autora (2020).

Quadro 43 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Santo Expedito pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Pequeno	Pequeno	Médio	Pequeno	1	1	2	1
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	4	3	4	1
Total					20	17	21	15
DPA					Alto	Alto	Alto	Médio

Fonte: Autora (2020).

Quadro 44 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda São Domingos pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Pequeno	Pequeno	Grande	Pequeno	1	1	3	1
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Médio	Baixo	Alto	4	3	4	8
Total					20	17	22	22
DPA					Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

Quadro 45 – Classificação quanto ao DPA da barragem da Fazenda Umirizal pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno	1	1	1	1
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	4	3	4	1
Total					20	17	20	15
DPA					Alto	Alto	Alto	Médio

Fonte: Autora (2020).

Quadro 46 – Classificação quanto ao DPA da barragem Monte Cristo pelo critério proposto.

	Faixa de classificação				Pontuação			
	CNRH	ANA	Femarh	Proposta	CNRH	ANA	Femarh	Proposta
I	Pequeno	Pequeno	Médio	Pequeno	1	1	2	1
II	Existente	Existente	Existente	Existente	12	12	12	12
III	Significativo	Pouco significativo	Significativo	Pouco significativo	3	1	3	1
IV	Alto	Alto	Alto	Alto	8	8	8	8
Total					24	22	25	22
DPA					Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Autora (2020).

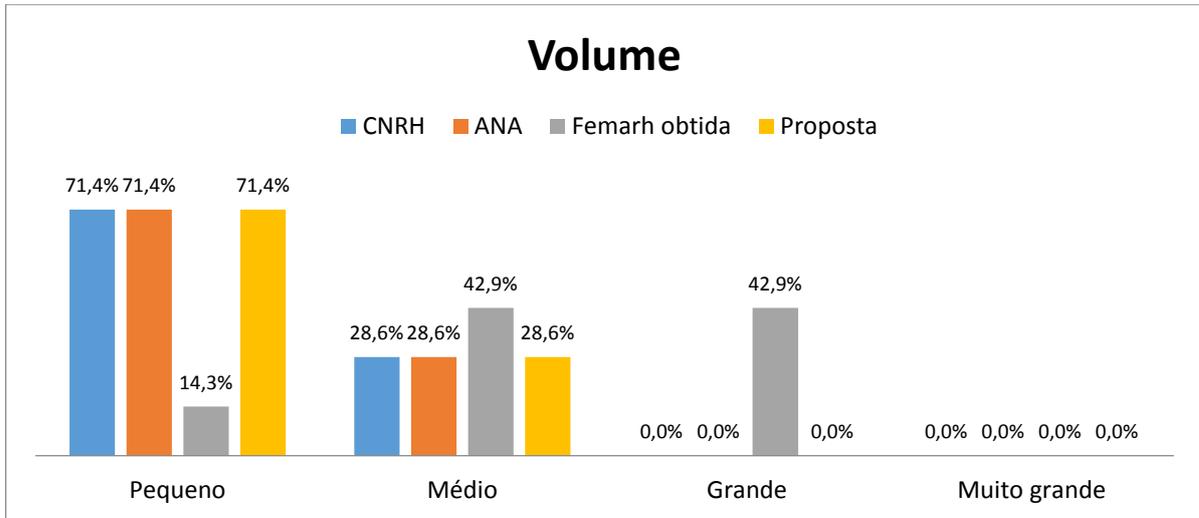
Quanto aos volumes de reservatório das barragens em estudo, destaca-se que apresentam valores entre 0,1 e 8,6 hm³, com área inundada entre 4,4 e 13,2 km², variando de acordo com a inclinação do terreno e volume da barragem.

Foi observado ainda que, os estados analisados adotam as mesmas faixas de classificação presente na Resolução CNRH n. 143/2012, ainda que o estado de Rondônia apresente classes com denominações distintas, os intervalos de volumes e as pontuações apresentadas são as mesmas da referida resolução.

As faixas de volumes propostas possibilitou o enquadramento de mais de 70,0 % dos barramentos como volume “pequeno”, de acordo com a Figura 26, perfazendo a realidade das barragens locais, sem penalização excessiva, baseado nos critérios presentes nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

Destaca-se que baseado no critério da IN Femarh n. 3/2017, as barragens eram classificadas em aproximadamente 43,0 % com volume “médio” e 43,0 % com “grande”, conforme demonstra Figura 26. Isto, a priori, não resultava em penalização excessiva na classificação geral quanto ao DPA, pois a Femarh não utiliza critérios estabelecidos quanto à delimitação da área afetada. Logo, tal classificação culminava em baixas pontuações gerais de DPA, o que tornava aplicável as faixas de classificações quanto ao volume serem diferentes das presentes nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016.

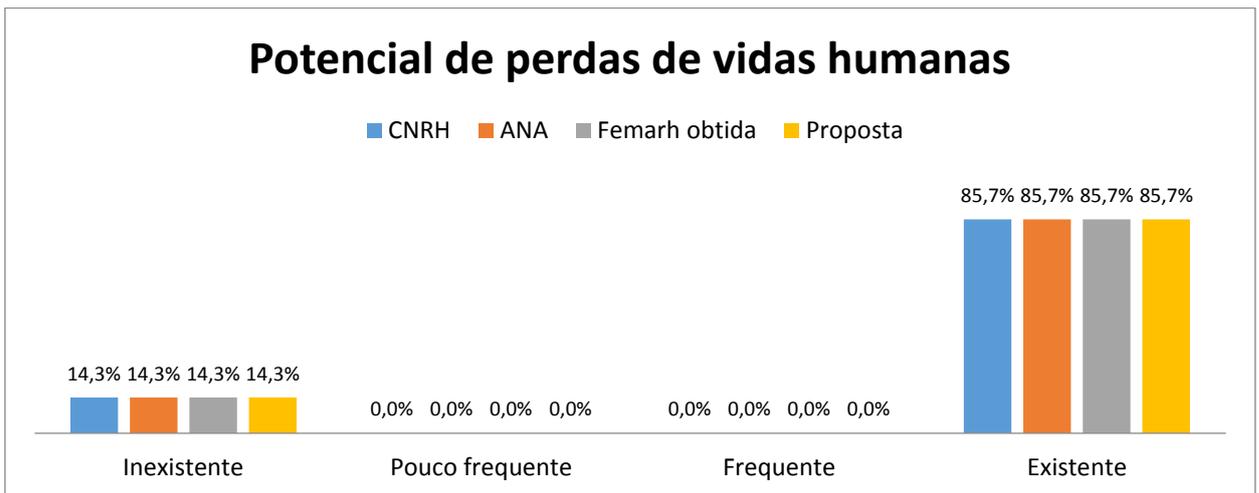
Figura 26 – Análise gráfica das classes finais de volume obtidas.



Fonte: Autora (2020).

Quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, considerando que em todos os critérios apresentados foi priorizada a existência de vida humana como dano máximo de maneira conservadora, não foi observada nenhuma alteração na classificação obtida, conforme representa a Figura 27.

Figura 27 – Análise gráfica das classes finais de potencial de perdas de vidas humanas obtidas.

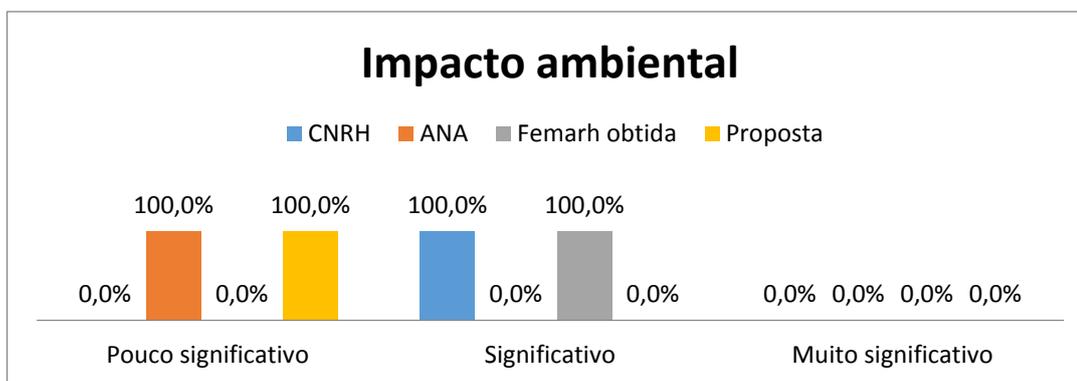


Fonte: Autora (2020).

Destaca-se que na barragem da Fazenda São Domingos foi atribuído a faixa de classificação “existente”, de maneira conservadora, em virtude desta não possuir imagens de satélite de boa qualidade que pudessem subsidiar a referida classificação.

No que tange ao impacto ambiental, por ter sido adotado o mesmo critério proposto pela ANA, e devido a todas as barragens analisadas não estarem inseridas em áreas de interesse ambiental, foi obtido o resultado apresentado na Figura 28 abaixo.

Figura 28 – Análise gráfica das classes finais de impacto ambiental obtida.



Fonte: Autora (2020).

Referente ao impacto socioeconômico, a situação encontrada após delimitação da área afetada foi de que, na maioria dos casos, próximo à barragem havia no mínimo quatro residências, indicando ser do proprietário do barramento, não sendo especificado se de uso permanente ou temporário ou simplesmente áreas de armazenamento.

Em mais de 70,0 % dos casos analisados a mancha de inundação atingiu menos de 25 residências, sendo estas geralmente espaçadas entre si e concentradas nas extremidades da mancha gerada. Somente em um dos casos a mancha atingiu mais de 100 residências, pois atingiu a área edificada da cidade de Boa Vista (ver Quadro 24).

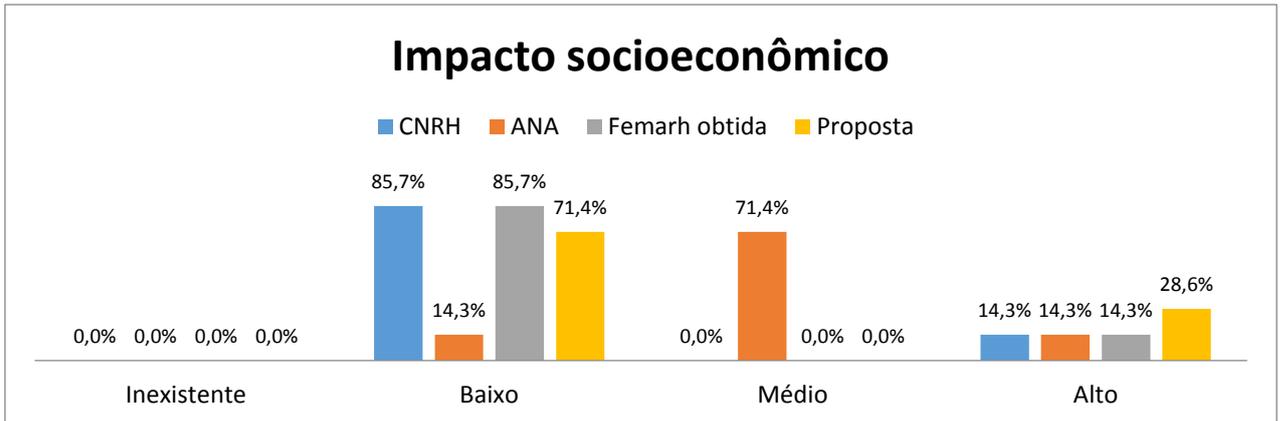
Assim, considerando a situação encontrada e que as barragens em estudo representam aproximadamente 50,0 % das barragens cadastradas junto ao SNISB, as quais contem dados das características técnicas, foram utilizadas as faixas de classificação apresentada pela Resolução ANA n. 132/2016, sendo proposta alteração quantitativa nas faixas de valores de “Baixo” e “Médio” impacto socioeconômico (ver Quadro 17).

A alteração foi baseada na realidade local com o intuito de não agravar indevidamente a classificação final da barragem quanto ao DPA e ainda nas experiências de países como Austrália, Canadá e Portugal, os quais trabalham com valores semelhantes aos propostos.

Deste modo, observou-se que, quanto ao impacto socioeconômico, mais de 70,0% dos barramentos apresentou impacto “baixo”, quer seja por existir pequena aglomeração de pessoas, quer seja por possuir apenas instalações agrícolas como piscicultura no local (ver

Figura 29). Ademais, destaca-se que para a barragem da Fazenda São Domingos foi atribuído a faixa de impacto “alto”, de maneira conservadora, em virtude desta não possuir imagens de satélite de boa qualidade que pudessem subsidiar a referida classificação de maneira correta.

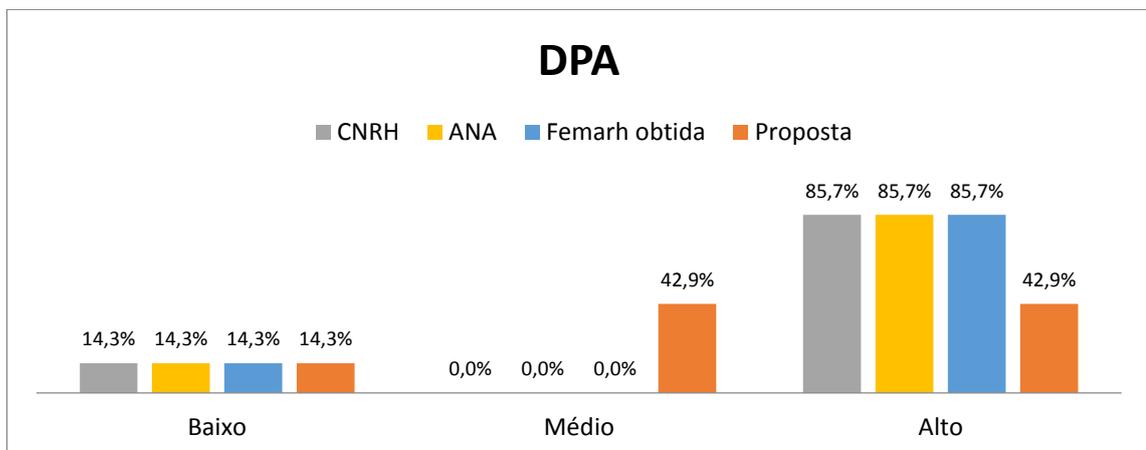
Figura 29 – Análise gráfica das classes finais de impacto socioeconômico obtido.



Fonte: Autora (2020).

A classificação obtida quando aplicada a proposta apresentada neste estudo, resultou que 42,9 % das barragens foram classificadas com DPA “médio” e 42,9 % com DPA “alto” (ver Figura 30). Logo, conclui-se que aproximadamente 86,0 % das barragens analisadas estão sob a égide da Lei n. 12.334/2010, ou seja, é aplicável a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e todas as Resoluções da ANA sobre segurança de barragens.

Figura 30 – Análise gráfica das classes finais de DPA obtidas.



Fonte: Autora (2020).

4.4 ANÁLISE DO EFEITO CASCATA

Conforme demonstrado nos Quadros 19 e 24, foi constatada a presença de barramentos nas proximidades à montante das barragens Monte cristo e Fazenda Frutal. O Quadro 47 apresenta a localização dos referidos barramentos, bem como a classificação quanto ao DPA das barragens estudadas, baseada no critério de classificação proposto.

Quadro 47 – Localização dos barramentos encontrados próximos às barragens estudadas.

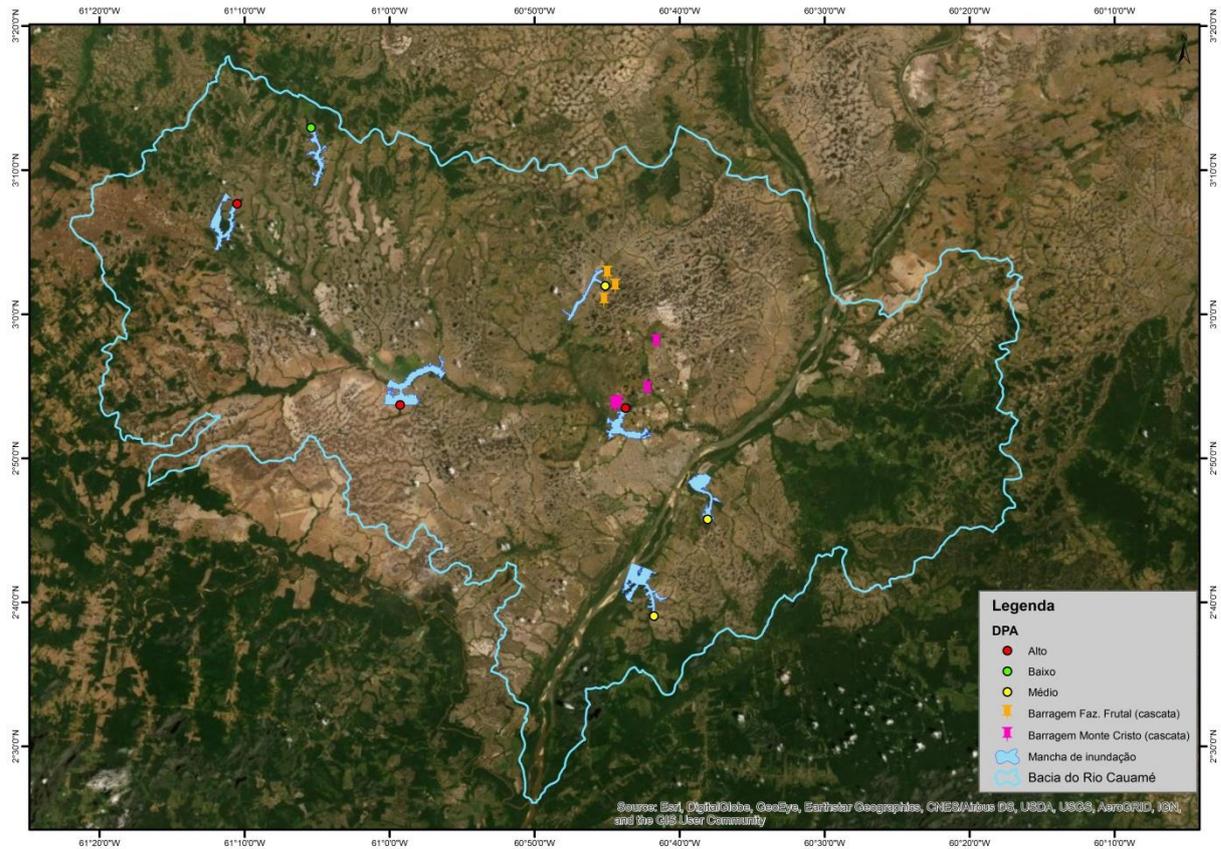
Barragem analisada	DPA	Barramentos encontrados	Longitude	Latitude
Monte cristo	Alto	1	60° 44' 11,580" O	2° 53' 49,602" N
		2	60° 44' 25,289" O	2° 53' 46,254" N
		3	60° 44' 30,025" O	2° 53' 41,993" N
		4	60° 42' 12,516" O	2° 54' 48,179" N
		5	60° 41' 36,597" O	2° 58' 2,936" N
Fazenda Frutal	Médio	1	60° 45' 12,621" O	3° 0' 57,875" N
		2	60° 44' 25,824" O	3° 1' 55,039" N
		3	60° 44' 58,901" O	3° 2' 49,140" N

Fonte: Autora (2020).

Destaca-se que, de acordo com Banco Mundial (2014a), é importante analisar, mesmo que de forma simplificada, o possível “efeito dominó”, ocasionado pelo rompimento de barragens à montante, em barragens imediatamente à jusante. Tal análise simplificada ocorre em função da faixa de borda livre do reservatório à jusante.

A Figura 31 apresenta a identificação dos novos barramentos, bem como classificação quanto ao DPA obtida pelo critério proposto no presente estudo, onde há possibilidade de interferência nas referidas barragens Monte cristo e Fazenda Frutal, gerando o efeito cascata.

Figura 31 – Identificação de barramentos quanto ao efeito cascata.



Fonte: Autora (2020).

Considerando que não foi possível realizar a devida caracterização física dos novos barramentos identificados, não cadastrados pela Femarh, de modo a obter dados de volume e altura, a análise quanto ao efeito dominó não foi realizada, tendo sido apenas identificada a necessidade de posterior exame.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou o presente estudo, constatou-se que o estado de Roraima não possuía um critério de classificação quanto ao DPA estabelecido, com ausência de definição da metodologia de delimitação da área afetada para aplicação dos critérios presentes na IN Femarh n. 3/2017. Além disso, havia barragens irregulares não cadastradas que necessitavam de cadastro e análise quanto ao DPA de maneira individual e em cascata. Assim, considerou-se importante propor um modelo de classificação quanto ao DPA para o estado de Roraima, de modo a se obter uma classificação mais adequada à realidade local por meio de critérios objetivos de avaliação, contribuindo inclusive para elaboração do PSB.

Diante disso a pesquisa teve como objetivo geral propor modelo de classificação quanto ao DPA para o estado de Roraima, baseado no estudo de caso de sete barragens situadas na bacia do rio Cauamé, tendo sido atendido efetivamente, uma vez que o presente trabalho conseguiu apresentar uma proposta de classificação que abarca critérios adotados a níveis internacionais e nacionais, aplicados às características das barragens estudadas.

Para tanto, foi analisado, de maneira comparativa, os resultados obtidos por meio da aplicação dos critérios estabelecidos nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016, de modo a constatar quais critérios refletiam melhor o dano causado pelas barragens estudadas. A referida análise possibilitou concluir que havia uma penalização em excesso já que mais de 85,0% das barragens obtiveram classificação de DPA “alto” mesmo que, mais de 70,0 % dos barramentos, fosse classificado como volume “pequeno”.

Tal fato ocorreu em virtude de ambos os critérios adotarem, de modo conservador, penalização máxima quando há existência de uma ou mais vidas humanas na área afetada e por não haver distribuição quantitativa adequada à realidade das barragens do estado quanto ao impacto socioeconômico. Destaca-se que este é relacionado à existência de instalações residenciais, agrícolas, entre outros, ou seja, também envolve existência de vidas humanas. Logo, a classificação presente nas Resoluções CNRH n. 143/2012 e ANA n. 132/2016 culminou penalizando duplamente as barragens em estudo.

Ademais, foi também analisada a aplicação dos critérios estabelecidos na IN Femarh n. 3/2017, associada à metodologia de geração de mancha de inundação amplamente utilizada no país para delimitação da área afetada nos estudos de DPA, e comparado os resultados obtidos com os utilizados pela Femarh. Destaca-se que este último não possui critérios bem definidos para a referida delimitação, o que culminou em divergências relevantes de resultados.

Assim, a comparação entre a classificação das barragens quanto ao DPA, utilizando o método simplificado de geração de mancha da ANA para delimitação da área afetada, e a classificação feita pelo órgão fiscalizador estadual possibilitou concluir que ou a área afetada considerada pela Femarh foi subestimada ou o método simplificado sobrestimou bastante a área. Contudo, de maneira conservadora, foi adotada referida metodologia por possuir respaldos internacionais e nacionais, e por terem sido utilizadas imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite – ALOS* sensor *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar – PALSAR*, cuja resolução espacial é melhor que a do *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* proposta inicialmente no método.

A proposta apresentada neste estudo ponderou os critérios já estabelecidos a nível nacional e internacional, resultando em alteração das faixas de classificação de volume utilizadas pela Femarh, por ser observado que havia penalização em excesso quando associada à metodologia simplificada de geração de manchas. Quanto ao potencial de perdas de vidas humanas, não foi realizada alteração em virtude de ser mantida classificação conservadora adotada em todo o Brasil. No que tange ao impacto ambiental, foi adotada o critério apresentado na Resolução ANA n. 132/2016, uma vez que este apresentou pontuações adequadas às barragens estudadas. Por fim, quanto ao critério socioeconômico, foram inseridos critérios quantitativos, inexistentes na Resolução CNRH n. 143/2012 e IN Femarh n. 3/2017, de modo a reduzir a discricionariedade por parte do órgão fiscalizador.

A classificação obtida quando aplicada a proposta apresentada neste estudo, resultou que aproximadamente 86,0 % das barragens analisadas estão sob a égide da Lei n. 12.334/2010. Isto se deve ao fato de a existência de vidas humanas e o impacto socioeconômico ter ocorrido por meio da identificação de edificações existentes nas imagens de satélites, sem distinção entre uso permanente, sazonal ou ainda se são residências ou áreas de depósito.

A pesquisa partiu da hipótese de que a melhor maneira de propor um modelo de classificação de barragens quanto ao DPA, aplicável à realidade local, era alterar as pontuações de cada faixa de classificação, uma vez que as barragens do estado de Roraima são de pequeno porte não havendo a necessidade de pontuações que culminem no excesso de penalização.

Contudo, durante o trabalho verificou-se que, de acordo com Banco Mundial (2014a), não deveria haver mudanças das pontuações presentes na Resolução CNRH n. 143/2012, já que estas estão em conformidade com as melhores práticas internacionais. Além

disso, para classificação quanto ao DPA, se mostrou necessário a definição de critério de delimitação da área afetada aplicável, para resposta ao problema da pesquisa.

Portanto, identificada a necessidade de delimitar a área afetada com os mesmo critérios para todas as barragens, de modo a subsidiar a classificação quanto ao DPA, foi adotada a metodologia de geração de mancha de inundação, desenvolvida baseada nas experiências nacionais e internacionais, aplicada inclusive às pequenas barragens, a qual envolve um nível razoável de automação de procedimentos, facilitando o manejo e eficiência quanto à classificação para o órgão fiscalizador estadual.

A metodologia adotada nesta pesquisa foi do tipo descritivo e exploratório, uma vez que houve revisão bibliográfica quanto ao tema estudado, destacando a insuficiência de informações a nível estadual. Foi utilizada a abordagem qualitativa dos dados, porquanto ocorreu por meio da análise crítica dos resultados obtidos de diferentes critérios de classificação aplicados que culminaram no modelo de proposta de classificação apresentado neste trabalho. Destaca-se que os procedimentos de pesquisa foram do tipo bibliográfico e documental.

Tendo em vista as restrições orçamentárias, quanto ao recurso de custeio, para se realizar a caracterização física de outras barragens não cadastradas pela Femarh, de modo a aumentar o campo amostral do estudo, consolidando melhor os resultados obtidos, bem como possibilitando análises do efeito cascata, foi apresentada proposta de classificação quanto ao DPA baseado no estudo de caso de sete barragens situadas na bacia do Rio Cauamé, no estado de Roraima.

Além disso, diante da metodologia proposta, percebeu-se que para delimitação da área afetada, havia outros métodos a serem seguidos. Contudo, de acordo com Banco Mundial (2014a), o método simplificado apresentou resultados satisfatórios quando comparado com o modelo *HEC-RAS* (mais complexo). Ressalta-se, este modelo só é útil quando há informação topográfica e rugosidade superficial com algum detalhe, fato este que impossibilitou sua aplicação no presente estudo.

Acresce salientar ainda que foi utilizado, para aplicação da metodologia simplificada, dados do MDE que contemplam cotas, vegetação e edificações presentes no terreno. Contudo, segundo Banco Mundial (2014a), ainda é adequado considerar estes dados digitais de terreno na falta de melhor informação e considerando que tal metodologia é aplicada apenas para permitir a classificação das barragens em termos de DPA. Ademais, foram adotadas correções propostas pela ANA (2017c) para os devidos ajustes, tal como o *buffer* de 150,0 m utilizado.

Visando não haver penalização excessiva de maneira desnecessária, recomenda-se que sejam verificadas *in loco* as edificações inseridas na área afetada, registrando o seu uso e ocupação, descartando-as da lista de ocorrências se não se tratar de fato duma habitação permanente, como por exemplo, em casos de palheiros e armazéns, ou se estiver abandonada ou inabitável (em ruína). Em seguida deverá ser feita a reclassificação quanto ao DPA, a qual poderá conduzir a uma redução da classe de “alto” para “médio” ou mesmo para “baixo”.

Ressalta-se que, ao contrário do que dispõe a IN Femarh n. 3/2017 quanto à definição de DPA “baixo”, recomenda-se que as barragens sejam classificadas quanto ao DPA de acordo com o dano causado na área afetada, obtida por meio da metodologia simplificada, e não apenas em função do volume da barragem ser enquadrado como “pequeno” ou de parâmetros relacionados ao comprimento do reservatório.

Quanto à mancha de inundação obtida, observou-se que na maioria dos casos houve inundação parcial de afluentes próximos ao curso d’água barrado. Assim, sugere-se que sejam realizados estudos futuros quanto ao impacto gerado em termos de erosão, assoreamento, supressão vegetal, qualidade da água, entre outros, de modo a avaliar a referida relevância do impacto ambiental para classificação quanto DPA.

No que se refere ao efeito cascata, não foi possível analisá-lo para eventual reclassificação de barragens quanto ao DPA, tendo sido analisadas e estudadas somente as barragens cadastradas pela Femarh, uma vez que não houve recursos de custeio para fomento da presente pesquisa, impossibilitando coleta de dados das barragens que poderiam resultar no efeito cascata. Contudo, ressalta-se a importância do cadastramento dos barramentos encontrados via imagens de satélite, uma vez que estes poderão necessitar de análise quanto ao referido efeito cascata e posterior reclassificação dos barramentos já classificados individualmente quanto ao DPA.

Por fim, sugere-se que sejam realizados estudos futuros voltados para viabilidade de classificação das barragens com abordagem baseada no risco informado, por esta já ser prática padrão ou em vias de adoção em outros países, a qual analisa a probabilidade de ruptura e suas consequências, ao invés de classificação adotada hoje no Brasil em função do porte, uso e aspectos físicos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Bacias hidrográficas ottocodificadas multiescalas.** 2012. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=47&currTa>>. Acesso em: 20 maio 2019.

_____. **ANA estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela Agência Nacional de Águas – ANA, quanto ao Dano Potencial Associado – DPA.** Resolução n. 132, de 22 de fevereiro de 2016, Brasília, 22 fev. 2016.

_____. **Guia prático de pequenas barragens.** 2016a. Disponível em: <<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/volume-viii-guia-pratico-de-pequenas-barragens/@@download/file/GuiaPraticoDePequenasBarragens.PDF>>. Acesso em: 25 maio 2020.

_____. **ANA estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência.** Resolução n. 236, de 30 de janeiro de 2017, Brasília, 30 jan. 2017.

_____. **Cadastros de barragens realizados no Relatório de Segurança de Barragens.** 2017a. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017/CadastroRSB2017_Portal_SNISB%28v4%29.xlsx>. Acesso em: 5 abr 2019.

_____. **Curso sobre metodologia simplificada para definição da mancha de classificação do Dano Potencial Associado (DPA) da barragem.** 2017b. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/capacitacao/Arquivos_Cursos/treinamento-sobre-metodologia-simplificada-para-definicao-da-mancha-de-classificacao-do-dano-potencial-associado-dpa-da-baragem>. Acesso em: 5 set 2019.

_____. **Geração de manchas para classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado: Passo a passo.** 2017c. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/capacitacao/Arquivos_Cursos/apresentacao-s-do-curso-de-mancha-dpa/geracao-de-manchas-de-dpa-passo-a-passo.pdf>. Acesso em: 5 set 2019.

_____. **Relatório do Programa Nacional de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – Progestão.** 2017d. Disponível em: <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao-1/certificacao/certificacao-2017/certificacao-das-metas-federativas-2017/relatorios-progestao/relatorio_progestao_2017_femarh.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

_____. **Programa Nacional de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – Progestão.** 2020. Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao#>>. Acesso em: 28 maio 2020.

_____. **Codificação de bacias hidrográficas pelo Método de Otto Pfafstetter: Aplicação na ANA.** 2020a. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/104/1/apostila.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2020.

ANDERÁOS, A.; ARAÚJO, L. M. N.; NUNES, C. M. Classificação de barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado - um exercício. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, 2013, Bento Gonçalves/RS. **Resumo**. p. 1-8.

BANCO MUNDIAL. Classificação de barragens: **Avaliação dos critérios gerais atuais, metodologia simplificada para áreas inundadas a jusante e diretrizes para a classificação (Produto 4).** 2014. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-04-classificacao-de-barragens-avaliacao-dos-criterios-gerais-atuais-metodologia-simplificada-para-areas-inundadas-a-jusante-e-diretrizes-para-a-classificacao.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

_____. **Classificação de barragens reguladas pela Agência nacional de águas (Produto 6).** 2014a. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-06-classificacao-de-barragens-reguladas-pela-ana.pdf>. Acesso em: 25 set 2019.

_____. **Resultado da análise de sensibilidade às correções planimétricas no âmbito da definição da área a jusante potencialmente comprometida na classificação de barragens (Produto 6 – Nota Técnica).** 2014b. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-06-nota-tecnica-resultado-da-analise-de-sensibilidade-as-correcoes-planimetricas-no-ambito-da-definicao-da-area-a-jusante-potencialmente-comprometida-na-classificacao-de-barragens.pdf>. Acesso em: 25 set 2019.

_____. **Segurança de barragens: Engenharia a serviço da sociedade.** 2015. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/outros/serie-agua-brasil-do-banco-mundial-11-seguranca-de-barragens/@@download/file/Serie%20Agua%2011_Seguranca%20de%20Barragens.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2020.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** 2002. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaodeBarragens.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2019.

BRASIL. Lei Federal n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **D.O.U**, Brasília, DF, 21 set. 2010.

COLLISCHONN, W. et al. **Manual de discretização de bacias para aplicação do modelo MGB-IPH.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas, ver. 2.0, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **CNRH estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório.** Resolução n. 143, de 10 de julho de 2012, Brasília, 10 jul. 2012.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **DAEE aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, a implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água de domínio do Estado de São Paulo.** Portaria DAEE n. 3907, de 15 de dezembro de 2015, São Paulo, 15 dez. 2015.

FONTENELLE, M. C. et al. Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem malcozinhado no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil – Reec**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.25-42, 28 ago. 2017. Universidade Federal de Goiás.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – Femarh. **Femarh aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do estado de Roraima.** Instrução Normativa n. 3, de 20 de dezembro de 2017, Boa Vista. **D.O.E**, 16 jan. 2018.

GRAHAM, P. E. W. J. **A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure.** 1999. Disponível em: <<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/TechDev/DSOTechDev/DSO-99-06.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Bases cartográficas contínuas.** IBGE, 2011. Site.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – IAP. **IAP estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência.** Portaria n. 46/2018 - Gabinete, de 27 nov. de 2018, Curitiba, 4 dez. 2018. D.I.O.E. ed. 10327, p. 51-57.

_____. **IAP estabelece os procedimentos para fiscalização de segurança de barragens e os critérios para priorizar as ações de fiscalização do Instituto das Águas do Paraná.** Instrução Normativa n. 1, de 12 de novembro de 2019, Curitiba, 12 nov. 2019.

LEMOS, C. E. F.; OAIGEN, E. R.; SOUZA, R. M. S. Estudo sobre a preservação das nascentes da Bacia Hidrográfica do Igarapé Caraná: uma questão de conscientização ambiental no Estado de Roraima. **Revista Acta Scientiae.** Canoas, v. 9, n. 2, p. 108-121, dez. 2007.

LIMA, B. P. et al. **Relatório anual de segurança de barragens: Riscos e inspeções.** 2016. Disponível em:<https://portal.cogerh.com.br/RASB%202016%20NEW_GESIN-jul-FINAL-2018.pdf>. Acesso em: 26 maio 2020.

NEVES, L. P. **Segurança de Barragens:** Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada. 2018. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/e->

book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves> Acesso em: 20 maio 2019.

OLIVEIRA, J. S.; CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.61-80, 1 jun. 2014. Universidade Federal de Roraima.

PEREIRA, T. C. F. K.; COLLARES, E. G.; LORANDI, R. Uma análise de intervenções antrópicas em uma bacia hidrográfica como subsídio ao zoneamento ambiental. **Revista Sociedade & Natureza**, [s.l.], v. 28, n. 2, p.243-255, ago. 2016.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

PORTUGAL. Decreto-Lei n. 344, de 15 de outubro de 2007. Aprova o regulamento de segurança de barragens. **Diário da República**, PT, 1ª série, n. 198, 15 out 2007.

PETRY, A. et al. **Classificação de barragens quanto ao dano potencial associado: a experiência da agência nacional de águas**. 2018. Disponível em: <<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/outros/artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

QUÉBEC. **Dam Safety Regulations**. 2019. Disponível em: <<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-3.1.01,%20r.%201?langCont=en>>. Acesso em: 13 set. 2019.

QUEENSLAND. **Water Supply (Safety and Reliability) Act 2008**. 2019. Disponível em: <<https://www.legislation.qld.gov.au/view/pdf/inforce/current/act-2008-034>>. Acesso em: 13 set. 2019.

REIS NETO, R. A.; COSTA, J. A. V. Mapeamento de unidades geomorfológicas da bacia do Rio Cauamé - RR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.3-10, 24 set. 2010. Revista Brasileira de Geomorfologia.

REPÚBLICA DA ÁFRICA DO SUL. **Dam Safety Regulations n.139**. 2012. Disponível em: <<http://www.dwa.gov.za/DSO/Documents/Dam%20Safety%20Regulations%20Government%20Notice%20R139%20OF%2024022012.pdf>>. Acesso em: 13 set 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – SEDAM. **Sedam dispõe sobre procedimentos gerais e diretrizes para cadastramento e obtenção de registro de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de barramentos já existentes e implantação de novas barragens de usos múltiplos em corpos de água de domínio estadual**. Instrução Normativa n. 3/2018/SEDAM-ASGAB, Porto Velho. **D.I.O.F**, 5 nov. 2018.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ – SRH/CE. **SRH/CE estabelece o cadastro estadual de barragens e a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de segurança da barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da**

revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência. Portaria n. 2747/SRH/CE/2017, de 2017, Fortaleza, 19 dez. 2017. D.O.E. n. 236, p. 61-65.

SILVA, B. F.; SANTOS, K, A. Análise físico-funcional da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia/GO. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.10, n.1, p. 44-55, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2015. 943 p.