



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCA JENIFER DE SOUSA DINIZ

**INQUIRÇÃO DO PROCESSO PERICIAL EM BARRAGENS DE REJEITOS NO
BRASIL**

**FORTALEZA
2022**

FRANCISCA JENIFER DE SOUSA DINIZ

INQUIRÇÃO DO PROCESSO PERICIAL EM BARRAGENS DE REJEITOS NO
BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: MSc. Mariana de Araújo Leite.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D585i Diniz, Francisca Jenifer de Sousa.
 INQUIRIÇÃO DO PROCESSO PERICIAL EM BARRAGENS DE
 REJEITOS NO BRASIL / Francisca Jenifer de Sousa Diniz. - 2022.
 77 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2022.

Orientação: Profa. Ma. Mariana de Araújo Leite.

1. Processo pericial.. 2. Barragens de rejeitos. . 3. Inquirição
pericial. . 4. Obras de grande porte.. 5. Barragem de Mariana e
Brumadinho.. I. Título.

CDD 624

FRANCISCA JENIFER DE SOUSA DINIZ

INQUIRIÇÃO DO PROCESSO PERICIAL EM BARRAGENS DE REJEITOS NO
BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: MSc. Mariana de Araújo
Leite.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a MSc. Ivelise Marconi Strozberg
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof.^a Rafaela Fujita Lima
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof.^a MSc.. Mariana de Araújo Leite.
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais e os meus irmãos, que sempre me incentivaram a seguir os meus sonhos e apoiaram todas as minhas decisões. Assim como aos meus avós, minhas primas e a Maria que acreditam no meu sucesso e na minha capacidade de progresso.

Gostaria de agradecer as professoras Mariana Leite que foi a minha orientadora e a Evelise, as quais me deram todo o embasamento técnico necessário para a elaboração com êxito do presente estudo.

Não deixando de agradecer aos meus colegas de faculdade: Emerson, Victor, Thiago e Túlio que passaram por todas as dificuldades acadêmicas e me auxiliaram na conclusão do curso. Por fim agradeço ao Françoise, por ter me ajudado na escolha do tema, o qual eu tive imenso prazer em realizar.

Por fim, agradeço aos profissionais da PF, os quais tiveram paciência em responder cada questionamento que lhes foi feito, bem como me ajudaram a entender os detalhes das atividades desempenhadas pela Perícia Criminal.

RESUMO

A necessidade da abundância de minérios devido à industrialização, vem fazendo com que as barragens de rejeitos já existentes tenham que ser ampliadas para suprir com essa necessidade repentina, assim como a precisão de novas construções desse modelo de estrutura. Com essas ampliações realizadas, as barragens sofrem grandes níveis de pressão, ocasionando possíveis falhas. Esses sinistros causam malefícios de forma irreversível, tanto a população como para o meio ambiente. O presente trabalho objetiva difundir o processo de perícia em barragens de rejeitos com foco nas causas e origens dos colapsos. Utilizou-se como metodologia a análise dos principais processos de perícia executados em averiguações dos dois maiores rompimentos de barragens ocorridos no Brasil, sendo eles os sinistros de Mariana e Brumadinho. Devido à ocorrência de rompimentos de barragens de rejeitos ocorridos no Brasil nos últimos anos, vê-se necessário verificar os principais motivos de seus rompimentos, mostrando formas de prevenção desses desastres. O processo de análise pericial envolve o planejamento, a vistoria ao local do sinistro, os exames realizados, o estudo documental do caso e a elaboração do laudo a partir das informações coletadas. Com isso é possível avaliar as divergências de complexidade existentes nas causas de rompimentos das barragens, quando comparada os métodos de avaliação contidas no presente trabalho. Concluiu-se pela análise das causas e pelo processo de perícia que falhas e sinistros estão ligados a negligências na etapa de projeto, relacionado às características particulares dos métodos construtivos das barragens, e do processo de manutenção.

Palavras-chave: Processo pericial. Barragens de rejeitos. Inquirição pericial. Obras de grande porte. Barragem de Mariana e Brumadinho.

ABSTRACT

The need for an abundance of ores due to industrialization has meant that existing tailings dams have to be expanded to meet this sudden need, as well as the precision of new constructions of this structure model. With these expansions carried out, the dams suffer high levels of pressure, causing possible failures. These accidents cause irreversible damage to both the population and the environment. The present work aims to disseminate the expertise process in tailings dams with a focus on the causes and origins of collapses. The analysis of the main forensic processes carried out in investigations of the two biggest dam failures that occurred in Brazil was used as a methodology, namely the Mariana and Brumadinho claims. Due to the occurrence of tailings dam failures that have occurred in Brazil in recent years, it is necessary to verify the main reasons for their failures, showing ways to prevent these disasters. The process of expert analysis involves planning, inspection of the accident site, examinations performed, documental study of the case and preparation of the report based on the information collected. With this, it is possible to evaluate the divergences of complexity existing in the causes of dam ruptures, when compared to the evaluation methods contained in the present work. It was concluded by the analysis of the causes and by the process of expertise that failures and accidents are linked to negligence in the design stage, related to the particular characteristics of the construction methods of the dams, and the maintenance process.

Keywords: Expert process. Tailings dams. Expert inquiry. Large works. Mariana and Brumadinho dam.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais características das ferramentas da engenharia diagnóstica	17
Figura 2 – Fluxograma do passo a passo do processo de perícia	24
Figura 3 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de montante	28
Figura 4 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de jusante	29
Figura 5 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de linha de centro	29
Figura 6 – Causas de rupturas de barragens de terra e enrocamento	31
Figura 7 – Barragens cadastradas no SIGBM em 21/10/2021	34
Figura 8 – Barragens cadastradas de acordo com a classificação de CRI	34
Figura 9 – Barragens inseridas na PNSB por estado, segundo CRI	34
Figura 10 – Número de rompimentos de barragens de rejeitos no mundo	36
Figura 11 – Vista geral da área da Barragem de Mariana	38
Figura 12 – Vista geral da área da Barragem de Brumadinho	39
Figura 13 – Fluxograma da metodologia da pesquisa	41
Figura 14 – Fluxograma utilizado para a pesquisa bibliográfica	42
Figura 15 – Localização da barragem de mineração do Fundão	49
Figura 16 – Localização da barragem de mineração “Barragem I”	50
Figura 17 – Passo a passo do início de um planejamento.	54
Figura 18 – Perfil executivo até o último alteamento – Barragem Mariana	60
Figura 19 – Perfil executivo até o último alteamento – Barragem de Brumadinho	60
Figura 20 – Apresenta um fluxograma sobre gestão da segurança de barragens	63
Figura 21 – Fluxograma do planejamento macro de uma perícia	66
Figura 22 – Cálculo do valor de risco em barragens	68
Figura 23 – Linha do tempo de uma obra colapsada	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais diferenças entre perito forense e assistente técnico	19
Quadro 2 – Qualidade da elaboração dos trabalhos periciais	25
Quadro 3 – Requisitos na elaboração de um laudo pericial	26
Quadro 4 – Comparativo entre os métodos construtivos de barragens de rejeitos. .	30
Quadro 5 – Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil (continua)	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa do trabalho	12
1.2	Objetivos	12
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	12
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
1.3	Estrutura do trabalho	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Normas e leis	14
2.2	Engenharia diagnóstica	16
2.3	Engenharia Legal e papel do engenheiro no processo de perícia	17
2.3.1	<i>Engenheiro civil com atuação extrajudicial</i>	18
2.3.2	<i>Engenheiro civil com atuação judicial</i>	18
2.4	Processo de perícia	21
2.4.1	<i>Espécies de perícias</i>	22
2.4.2	<i>Passo a passo do processo de perícia</i>	23
2.4.3	<i>Trabalho pericial</i>	24
2.5	Barragens	26
2.5.1	<i>Legislação de barragens</i>	31
2.5.2	<i>Casos de rompimentos de barragens e desastres ambientais</i>	35
3	METODOLOGIA	40
3.1	Delineamento metodológico	40
3.2	Etapas metodológicas	40
3.2.1	<i>Pesquisa bibliográfica</i>	41
3.2.2	<i>Análise documental</i>	42
3.2.2.1	Análise dos Laudos Técnicos	43
3.2.2.2	Revista da APCF (Associação nacional dos peritos criminais federais)	43
3.2.2.3	Documentos de Auxílio pericial	44
3.2.3	<i>Roteiro da visita técnica</i>	45
3.2.3.1	Realização de visita técnica	46
3.2.4	<i>Análise comparativa de resultados</i>	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	Análise documental	47

4.1.1	<i>Laudos periciais</i>	47
4.1.1.1	Laudo pericial da Barragem do Fundão (Barragem de Mariana)	47
4.1.1.2	Laudo pericial da Barragem de Feijão (Barragem de Brumadinho)	49
4.1.2	<i>Revista da APCF (Associação nacional dos peritos criminais federais)</i>	53
4.1.2.1	Planejamento de uma pericia.....	53
4.1.2.2	Exames	57
4.1.2.3	Análise documental.....	57
4.1.2.4	Elaboração do laudo	58
4.1.3	<i>Documentos de Auxílio pericial</i>	60
4.1.3.1	Manuais de manutenção	60
4.1.3.2	Relatório de segurança	61
4.2	Descrição da visita técnica	63
4.3	Análise comparativa	69
5	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A engenharia visa a aplicação de métodos científicos ou empíricos utilizados em favor dos seres humanos e a partir de recursos da natureza (FERREIRA, 2010). Uma das maiores incidências de aplicação desta área é no ramo da construção civil, o qual é responsável por cerca de 3,7% a 6,5% do PIB Nacional, sendo essa variação a participação condizente ao percentual do Produto Interno Bruto brasileiro na última década, de acordo com DIEESE (2020).

O setor da construção civil é responsável pela concepção logística de transportes, moradias, indústrias, saneamento básico e outros inúmeros monumentos pelo mundo (MICHAELIS, 2021). Por se tratar de um sistema extenso, complexo e de elevada notoriedade nos fatores econômicos e sociais, é de extrema importância o acompanhamento em todas as fases de uma construção, mesmo após a finalização da obra é inevitável a continuidade deste ramo no empreendimento, sendo ele de pequeno ou de grande porte, obras residenciais ou industriais, variando de construções de casas até obras de barragens (GOMIDE et al., 2021).

As barragens são barreiras artificiais criadas para reter grandes quantidades de substâncias líquidas, elas são estruturas com variados níveis de complexidade as quais vêm sofrendo evolução contínua no decorrer dos séculos (FILHO; REIS, 2020). Devido à importância da utilização de recursos hídricos, as principais bacias hidrográficas do Brasil sofreram diversas modificações humanas para dar suporte ao desenvolvimento industrial da sociedade, elas são usadas para variados propósitos: hidroelétricas, agronomia (irrigação), piscicultura, hidrovias, lazer, reserva de água potável e mineração (NASCIMENTO, 2006). Essa última é denominada barragem de rejeitos, a qual existe com o intuito de reter resíduos de mineração, a caracterização dos rejeitos varia conforme a categoria de mineração, sendo eles altamente poluentes (RODRIGUES, 2019).

A mineração é uma das atividades econômicas essenciais do país, equivalente a cerca de 5% do PIB nacional, de acordo com VALE (2021). O minério de ferro é um dos principais produtos exportados pelo Brasil, o potencial de exploração nessa atividade econômica é desenvolvido desde o período do Brasil colonial. Esses e outros fatores explicam a importância econômica da mineração no país, informação difundida de forma acessível por empresas atuantes no ramo, como VALE (2021). Em contrapartida, essa atividade provoca modificações no meio ambiente e gera riscos

socioambientais. Diversos acidentes com rompimento de barragens de rejeito marcam negativamente o país, os quais foram responsáveis por diversos desastres ambientais, causando lhes inestimáveis danos (RODRIGUES, 2019).

Esses rompimentos podem derivar de falhas nos componentes do arranjo, pois toda estrutura tem uma vida útil pré-estabelecida, podendo necessitar de manutenções preventivas. Apesar disso é possível que haja a ineficiência do conjunto, caso o desempenho de um ou mais elementos da estrutura não estejam executando as atividades de forma satisfatória, por isto ele deverá ser analisado caso apresente complicações ou defeitos, sendo eles sistemáticos ou arquitetônicos. Existe uma área especificamente para investigar possíveis problemas nas construções, conhecida como engenharia diagnóstica (GOMIDE et al., 2021).

Engenharia diagnóstica é a responsável por executar as investigações técnicas minuciosamente, conforme as diretrizes normativas nas manifestações patológicas e no desempenho funcional do sistema, com o intuito de determinar os problemas existentes, as causas e os possíveis responsáveis. Esta tem como principais ferramentas de averiguação: vistoria, inspeção, auditoria, perícia e consultoria (GOMIDE et al., 2021).

Perícia é a atividade técnica que envolve a apuração de causas que motivaram uma determinada manifestação patológica (DEUTSCH, 2013). Ela investiga os motivos dessa falha baseado em evidências, cálculos e resultados de testes executados, mostrando a origem, a causa e o mecanismo de ação, chegando a uma inferência e dando um diagnóstico ao problema (GOMIDE et al., 2021).

Devido aos possíveis danos causados ao meio ambiente e as pessoas, os rompimentos de barragens de rejeitos, costumam ser investigados por peritos forenses. Segundo o órgão responsável pelo processo de Perícia Forense do Estado do Ceará (PEFOCE), esses profissionais possuem o conjunto de conhecimentos técnico-científicos que constata a materialidade do fato investigado, auxiliando a desvendar crimes ou atos civis, apontando os esclarecimentos através de vestígios e apresentando o que ocasionou o acidente (SOUSA, 2021).

Diante dos inúmeros casos de rompimentos de barragens ocorridos no Brasil no decorrer das últimas décadas e das suas consequências para as pessoas e o meio ambiente, esta pesquisa faz uma inquirição de perícia forense em barragens de rejeitos no Brasil, assim analisar as possíveis causas de ocorrência desses acidentes na visão da perícia.

1.1 Justificativa do trabalho

Essa pesquisa na área de estudo do presente trabalho faz a inquirição do processo pericial em barragens de rejeitos no Brasil. Esse estudo visa gerar subsídios para auxiliar na identificação de possíveis rompimentos de barragens, as quais causam danos inestimáveis para a sociedade e o meio ambiente, conforme já apresentado anteriormente. Desta forma, devido à ocorrência de rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil nos últimos anos, vê-se necessário verificar os principais motivos de seus rompimentos, mostrando formas de prevenção desses desastres, e, para isso, é necessário fazer a análise do processo de perícia para obter esses dados, justificando a busca deste estudo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Difundir o processo de perícia em barragens de rejeitos com foco nas causas e origens dos colapsos.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar os principais processos executados em uma perícia forense em barragens de rejeitos;
- b) Apresentar análise documental relacionada ao processo de perícia, com foco nas barragens de rejeitos;
- c) Realizar pesquisa bibliográfica sobre casos anteriores de rompimentos de barragens de rejeitos;

1.3 Estrutura do trabalho

No capítulo 01, a introdução apresenta uma visão geral do tema que será objetivo de estudo do projeto com breves abordagens dos principais tópicos a serem estudados ao longo do trabalho. Enquanto no capítulo 02, é realizado estudo bibliográfico, o qual será utilizado como base para melhorar a compreensão de

conceitos acerca do tema da pesquisa, abordando tópicos como: definições de engenharia diagnóstica, distinguir perícia de perícia forense, conceituação e identificação de barragens, desastres ambientais relacionados a rompimentos de estruturas e designação das investigações de construção civil no processo pericial.

Já no capítulo 3, será demonstrada a metodologia do presente trabalho, descrevendo as etapas das atividades desenvolvidas para chegar aos resultados e conclusões. Nessa pesquisa será utilizada como fonte de informação: pesquisas bibliográficas, realização de entrevistas com peritos da área e a utilização de casos anteriores de rompimentos em barragens de rejeitos para fins de análise comparativa.

O capítulo 4 desenvolve os resultados e discussões, a partir dos itens apresentados na metodologia, onde teve embasamento teórico no referencial teórico, porém trazendo resultados conforme os objetivos. Ele está sendo subdividido em cinco tópicos: laudos periciais, manuais de manutenção, relatório de segurança, entrevista e análise comparativa.

A conclusão desta pesquisa se dá no capítulo 5, onde será mostrado se o objetivo do trabalho foi atingido e o que foi possível concluir com os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado todo o referencial que servirá de base para o desenvolvimento do presente estudo. A divisão dos capítulos foi feita partindo-se dos conceitos necessários para diferenciar as áreas na engenharia diagnóstica, como a distinção entre os profissionais que atuam na área da perícia, assim como definição de vistoria, inspeção e auditoria. Em seguida, o passo a passo de um processo de perícia detalhado e o capítulo é finalizado com uma pesquisa acerca das estruturas de barragens de rejeitos.

2.1 Normas e leis

Para falar de perícia forense e todas as áreas correlacionadas a ela, é importante ter conhecimento das normas e leis vigentes sobre o assunto e ter em mente que normas e resoluções não são leis, mas por força da lei são obrigatórias (BATTAGIN, 2014). A responsável pela padronização e criação das principais normas conhecidas é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), sendo definida como uma associação privada e reconhecida pelo governo brasileiro, não se enquadrando como um órgão do mesmo (BATTAGIN, 2014).

A principal Norma regulamentadora utilizada nesta pesquisa é a NBR 13752: Perícias de engenharia na construção civil (ABNT, 1996). Ela fixa o plano de orientação básica, com os conceitos, os critérios e os procedimentos para a execução de perícias de engenharia na construção civil. Dando definições básicas de conceitos, fornecendo classificações quanto a natureza e estabelecendo critérios para a elaboração do laudo. A partir dessa norma são retiradas as exigências mínimas de informações contidas em um laudo para ser considerado legalmente.

Para auxiliar o entendimento de perícia forense, existem as normas jurídicas, também conhecidas como resoluções, elas são destinadas a assuntos de interesse interno do Congresso Nacional. A Resolução nº 345, de 27 de julho de 1990 define perícia e suas principais ferramentas de auxílio, assim como determina a atribuição da função a determinadas profissões (BRASIL, 1990).

Além dessas definições de perícia e os critérios de execução da mesma é necessário um complemento de entendimento para a verificação de como ocorre o processo pericial e as funções de todos os atores dele. O CPP (Código de Processo

Penal) traz dentro de seus artigos as diretrizes a serem seguidas no decorrer dos processos e das investigações criminais. Os Arts. 145 a 147 da Lei nº 3.689, de 03 de outubro de 1941: Código Processual Penal, descrevem as obrigações de ofício do perito com os prazos determinados em lei e apenas escusar-se do cargo por motivo legítimo, assim como mostra as consequências caso o perito preste informações inverídicas, sejam elas por dolo ou culpa (BRASIL, 1941).

Outro artigo de suma importância do CPP o qual apresenta dúvidas e orientações pertinentes em relação ao desenvolvimento de um laudo é o Art. 160 da Lei nº 3.689, de 03 de outubro de 1941: Código Processual Penal, descreve que a elaboração do laudo pericial deve ser realizada de maneira minuciosa e determina o prazo de elaboração do documento (BRASIL, 1941).

Para a elaboração de um laudo eficaz é necessária a obtenção de informações importantes a respeito do processo, também conhecida como provas periciais. Os Arts. 420 a 439 da Lei nº 3.689, de 03 de outubro de 1941: Código Processual Penal, faz a definição de prova pericial e fazendo a sua classificação como sendo de exame, vistoria ou avaliação (BRASIL, 1941).

Para tomar a frente do processo, os juízes e auxiliares de justiça devem obedecer a alguns critérios, respeitando as restrições impostas, esses e outros fatores constam no Novo CPC (O Código de Processo Civil de 2015) o qual é um documento que reúne as leis e regramentos que regulam o processo judicial civil brasileiro. Os Arts. 144 e 148 da Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015: do Novo Código de Processo Civil, descrevem todos os motivos de impedimentos e suspeição para que os peritos forenses (auxiliares de justiça) possam se enquadrar para serem retirados ou orientados a se retiraram do cargo (BRASIL, 2015).

Para tomar a frente da perícia os agentes devem respeitar as regras do processo de triagem. A Lei nº 7.720, de 10 de dezembro de 1984: descreve os critérios para seleção de perito, com exceção de localidades com falta de profissional capacitado (BRASIL, 1984).

De forma geral A Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966: Do Exercício Profissional da Engenharia, da Arquitetura e da Agronomia, determina a atuação dos profissionais de Engenharia, da Arquitetura e da Agronomia. Ela faz a caracterização das relações intersociais e humanas dos empreendimentos, aproveitando do melhor método possível, os recursos naturais, os meios de locomoção, o desenvolvimento industrial e as edificações em geral (BRASIL, 1966).

2.2 Engenharia diagnóstica

Na construção civil, manifestações patológicas estão relacionadas aos diversos problemas no sistema de uma obra, sejam eles decorrentes de falhas no projeto ou na execução, por falta de manutenção, na inadequação da utilização ou por agentes externos. Esta área estuda as partes que compõem o diagnóstico do problema como: sintomas, mecanismos, causas e origens. Para a constatação de uma manifestação patológica, deve-se realizar uma inspeção, a qual é uma importante ferramenta da engenharia diagnóstica (CARRARO, 2010).

De acordo com Gomide (2021) a engenharia diagnóstica em edificações é “o instrumento da ciência da observação, útil na busca da verdade, e, por consequência, para a engenharia legal, uma vez que a Justiça mira a verdade, seja ela técnica ou de comportamento humano”. Reis (2020) complementa esse conceito afirmando que engenharia diagnóstica é área da engenharia na qual se estudam as manifestações patológicas. Ambos os autores mostram como ferramentas da engenharia diagnóstica as seguintes:

- a) vistoria — de acordo com a NBR 13752 (ABNT, 1996) “é a constatação de um fato, mediante exame circunstanciado e descrição minuciosa dos elementos que o constituem”.
- b) inspeção — é uma vistoria mais aprimorada por ser uma análise técnica da construção, apresentando um caráter interpretativo, o que diverge entre àquela e esta é que a primeira é uma constatação e a segunda uma análise do fato (REIS, 2020).
- c) auditoria — é o atestamento técnico da ocorrência do fato e da sua condição (REIS, 2020).
- d) perícia — a NBR 13752 (ABNT, 1996) a define como “a atividade que envolve apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos”.

A Figura 1 representa as principais características das ferramentas da engenharia diagnóstica citadas por Reis (2020) e Gomide (2021), descritas anteriormente. Onde são representadas as ações necessárias para compor cada uma das ferramentas analisadas.

Figura 1 – Principais características das ferramentas da engenharia diagnóstica



Fonte: <http://engenhariadiagnóstica.com.br>

Alguns autores também citam a consultoria como ferramenta da engenharia diagnóstica, sendo essa uma atividade executada por um profissional capacitado com os devidos conhecimentos na área, que prescreve soluções e recomendações para as falhas existentes no sistema (REIS, 2020). Contudo, por ser um processo mais simplificado, nem todos os autores consideram como uma ferramenta, sendo muitas vezes mesclada ao conceito de inspeção.

Reis (2020) mostra que a engenharia diagnóstica é uma parte componente de uma área maior denominada engenharia legal. Por ser uma área distinta e com muitas informações próprias, o assunto de engenharia legal será abordado no tópico seguinte.

2.3 Engenharia Legal e papel do engenheiro no processo de perícia

A engenharia legal é diretamente ligada à área jurídica, por isto o profissional que atua nesse ramo deve ter registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) e conhecimentos na área de engenharia e direito. De acordo com a NBR 13752 (ABNT, 1996), engenharia legal é:

Ramo de especialização da engenharia dos profissionais registrados nos CREA que atuam na interface direito/engenharia, colaborando com juízes, advogados e as partes, para esclarecer aspectos técnico-legais envolvidos em demandas.

Esse profissional pode atuar no ramo judicial ou extrajudicial e tem como função realizar a análise técnica de um fato ou situação na área de atividade da engenharia civil, realizando um exame minucioso apurando as causas e motivações para a obtenção dos resultados, tornando possível a transcrição de tais fatos, com um aspecto claro com o intuito de passar essas informações aos devidos interessados (CAPRARO, 2018).

Porém caso a localidade não dispuser de profissionais qualificados para o preenchimento da vaga de perito, conforme os itens acima, a escolha do perito será de livre escolha do juiz, de acordo com o Art. 1º da Lei nº 7.720, de 10 de dezembro de 1984 (BRASIL, 1984).

2.3.1 Engenheiro civil com atuação extrajudicial

O engenheiro atua na iniciativa privada como consultor extrajudicial, estabelecendo causas e efeitos de um determinado item como a avaliação de bens e imóveis urbanos, esse profissional realiza a inspeção predial com a elaboração de estudo de impacto de vizinhança e executando a análise de viabilidade de contrato, incorporações e permutas (CAPRARO, 2018).

2.3.2 Engenheiro civil com atuação judicial

Na área Judicial o engenheiro civil deve ser um profissional habilitado com registro no CREA e com conhecimento específico em perícia atua no âmbito público e privado, podendo atuar como perito forense ou como assistente técnico. Ele é acionado sempre que for necessário sanar as dúvidas existentes em relação as causas de um fato entre as partes, ou seja para realizar a apuração de um determinado fato (CAPRARO, 2018).

De acordo com a transcrição do Art. 1º da Lei nº 7.720, de 10 de dezembro de 1984 (BRASIL, 1984), os dois primeiros itens abaixo são critérios para a escolha de um perito criminal:

- a) os peritos serão escolhidos entre profissionais de nível universitário, devidamente inscritos no órgão de classe competente;
- b) os peritos comprovarão sua especialidade na matéria sobre que deverão opinar, mediante certidão do órgão profissional em que estiverem inscritos.

No Quadro 1 abaixo segue a apresentação das principais diferenças entre perito forense e assistente técnico.

Quadro 1 — Principais diferenças entre perito forense e assistente técnico

PERITOS DE ATUAÇÃO NO ÂMBITO JUDICIÁRIO	
PERITO FORENSE	ASSISTENTE TÉCNICO
Nomeado pelo Juiz;	Indicado pela parte;
Âmbito privado;	Âmbito público;
Laudo Pericial;	Parecer técnico;
Profissional de confiança do Juiz;	Profissional de confiança da parte;
Sujeita-se as regras de impedimento e suspensão;	Não está sujeito as regras de impedimento e suspensão;
Compromisso com a causa, não se importando a quem assiste a razão.	Compromisso com a causa, mas se reporta diretamente a parte que o contratou.

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os artigos 144 e 148 da Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015: do Novo Código de Processo Civil existem causas para o afastamento do perito forense e de outros agentes do processo, constando no inciso II do Art. 148 do Novo CPC. Caso o profissional se enquadre nas restrições aplicadas ele não pode atuar junto ao processo pericial, sendo assim esse profissional pode ser recusado por impedimento ou suspeição se apresentar um dos motivos transcritos a seguir (BRASIL, 2015):

- a) se o perito faz parte no processo;
- b) se tiver trabalhado no processo com outra função;
- c) se alguma das partes for parente seu, consanguíneo ou afim, em linha reta ou, na colateral, até o terceiro grau;

- d) quando pertencer a órgão que é parte na causa;
- e) não versar sobre a matéria da perícia.

O profissional que atua nessa área da engenharia legal deve ter capacidade de realizar perícias técnicas, que são consideradas como provas junto aos autos processuais. No direito processual existem três tipos de provas aceitas: documental, testemunhal e pericial. (DEUTSCH, 2013) A prova pericial mostra o ponto de vista técnico para colaborar com os juízes, advogados e as partes, visando esclarecer as dúvidas existentes no processo, conforme consta na NBR 13752 (ABNT, 1996).

Para realizar esta explanação os peritos forenses ou criminais devem realizar os exames *in loco* e/ou em laboratórios, para complementar a análise e posteriormente elaborar o laudo pericial, documento mais bem detalhado em subtópico posterior.

Estes profissionais que atuam na área da engenharia civil devem possuir conhecimentos em rupturas de estruturas, desabamentos, incêndio, entre outros acidentes, exames cartográficos, avaliação de bens, análises de contratos públicos, além de averiguação quantitativa e qualitativa das obras, para que o profissional possa fazer o levantamento de dados e a coleta de vestígios de forma coerente para a averiguação do estudo de caso (SOUSA, 2021).

Os peritos criminais engenheiros realizam ocorrências de crimes contra o patrimônio e a vida, como os casos de: desabamentos, acidentes de trabalho e incompatibilidade orçamentaria ou contratual em obras públicas. Nos quais é necessário um extenso conhecimento físico, matemático e normativo das engenharias, com obtenção de respostas para o avanço das investigações (BRASIL, 2012).

Nos crimes contra a vida, o perito deve coletar o máximo de vestígios possíveis para objetivar a materialização do fato investigado. Já nos crimes contra o patrimônio esses profissionais devem esclarecer os acontecimentos referentes a depredação, arrombamento, danos ao imóvel, entre outros, sejam eles de patrimônio público ou privado (BRASIL, 2012).

A contratação e execução de obras e serviços públicos de engenharia, analisam diversos tipos de obras como: edificações, rodovias, ferrovias, barragens, aeroportos e outras. Estas são avaliadas pelos peritos quando necessitam de: exames

cartográficos, exames documentais de engenharia, avaliação de bens, análise de materiais ou análise de sinistros ou desabamentos de obras. Outra importante vertente de atuação destes é a análise de desvio nas verbas públicas (superfaturamento), no qual o perito deve analisar o preço unitário dos serviços, as quantidades, verificar se a qualidade dos serviços está compatível com as solicitadas no edital e no contrato, assim como fazer a averiguação se ocorreu uma concorrência de forma justa na licitação (BRASIL, 2012).

Os profissionais de engenharia no campo criminalístico atuam com a investigação e a prevenção de sinistros, desastres e crimes, através de realização de perícias utilizando como ferramentas pesquisas e estudos de exames de corpo delito para executar a comprovação da materialidade das infrações penais e de sua autoria, de acordo com a Lei nº 14.055, de 07 de janeiro de 2008 (BRASIL, 2008).

2.4 Processo de perícia

A NBR 13752 (ABNT, 1996) divide os tipos de ocorrências de perícias, dentro da engenharia legal, em ações judiciais, ações administrativas e ações extrajudiciais. Deutsch (2013) descreve cada um dos tipos da seguinte forma:

- a) ações judiciais – o processo judicial ocorre quando há conflito de interesses sobre um determinado assunto e entre duas partes diferentes. O conflito pode ocorrer de forma a gerar a vontade de uma das partes de exigir a subordinação do interesse da outra (DEUTSCH, 2013).
- b) ações extrajudiciais e ações administrativas – essa esfera representa todos os pareceres técnico de soluções de conflitos ou assuntos que necessitam de conhecimentos técnico específico sem que chegue à esfera judicial (DEUTSCH, 2013).

Cada um desses tipos de processos de perícia possui particularidades, tanto pela formação da equipe, como pela forma de abordagem do problema.

É de suma importância ressaltar que de acordo com a Lei nº 6496, de 07 de dezembro de 1977 (BRASIL, 1977), todas as atividades de perícias de engenharia na construção civil devem ser acompanhadas da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica). Desta forma tanto o parecer técnico como o laudo pericial devem ser acompanhados de ART.

Outro fato de extrema importância que não deve ser deixado de lado é o de seguir corretamente a realização da perícia, porém para o cumprimento de tal tarefa é necessário saber qual a espécie de perícia será realizada, para a aplicação das provas periciais corretas, conforme representa o próximo subtópico.

2.4.1 *Espécies de perícias*

A NBR 13752 (ABNT, 1996) descreve as espécies de perícias conforme listado abaixo, Deutsch (2012) complementa a conceituação delas como:

a) avaliações — é um procedimento técnico que visa identificar os indicadores de viabilidade econômica para um determinado objeto com uma determinada finalidade e com base em uma data específica. Um bem pode ser considerado como um equipamento ou imóvel, edificado ou não, sendo eles novos ou usados e em qualquer que seja a sua condição de conservação;

b) exames — constatação de fatos ou descrições minuciosas dos fatos ocorridos com embasamento para instaurar um processo investigativo tecnicamente embasado de possíveis nexos causais. Pode-se ter como objeto bens, imóveis ou documentos e pode contatar responsabilidades para uma determinada pessoas ou apontar as devidas consequências;

c) vistorias — é definida como a constatação de fatos ou situações com descrição minuciosa dos elementos que os constituem:

- constatação — caracterizar a tipologia, estado de conservação, padrão construtivo, idade, anomalias e outras possíveis características existentes;
- análise comparativa de conformidade — verificar se os requisitos estão dentro dos padrões e se está sendo atendido corretamente. Os padrões podem ser estabelecidos de várias formas entre eles: em projetos, memoriais descritivos, normas técnicas, legislações específicas, manuais técnicos e outros;
- análise de causalidade — processo técnico investigativo que analisa a existência ou não de possíveis nexos causais. Pode ainda revelar responsabilidades e apontar consequências. O sub tópico

seguinte resume o passo a passo das etapas da atuação pericial judicial.

2.4.2 Passo a passo do processo de perícia

Todo o passo a passo descrito neste tópico foi elaborado de acordo com a Lei nº 3.689, de 03 de outubro de 1941 (BRASIL, 1941), denominado como Código de Processo Penal, juntamente com o auxílio do livro “Perícias de Engenharia, apuração dos fatos” escrito por Deutsch (2013). O livro foi utilizado como apoio auxiliar para a retirada de informações complementares de forma mais clara e detalhada que a Lei.

Ao tomar conhecimento da sua nomeação para uma perícia, de imediato o profissional deve juntar aos autos uma petição na qual aceita a incumbência. A petição é um instrumento onde o Juiz solicita a produção prova pericia já direcionado a um determinado profissional. No decorrer do processo o perito deverá realizar a análise dos autos, conforme a realização da sua convocação. Os autos são a materialidade dos documentos do que estão em discussão no decorrer do processo.

Com a posse dos autos em mão o perito deve fazer um estudo detalhado de todo o processo, dado uma maior ênfase nos pontos de conflitos e no que diz respeito ao seu trabalho técnico. Após averiguar as suas necessidades, o próximo passo a ser seguido é a vistoria, para isso deve-se marcar uma data, avisando com antecedência aos assistentes técnicos e às partes.

Com a análise do caso concluída e a vistoria realizada, o profissional deve reunir todo o material necessário para a elaboração do laudo. No documento deve conter todas as informações necessárias para o esclarecimento do litígio, devendo contar com fotos para auxiliar no entendimento, a escrita deve ser feita de forma clara, para o entendimento dos procedimentos realizados e da conclusão a ao ele chegou embasando esse resultado a análise do caso.

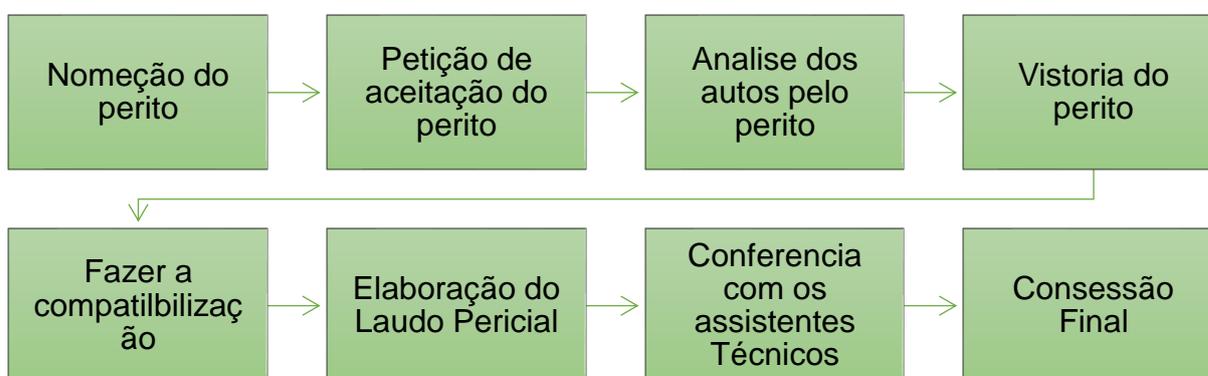
Quando o laudo estiver concluído o perito deverá avisar aos assistentes técnicos e marcar uma data para a realização de uma conferência, onde apresentará de forma breve o seu laudo para que os assistentes possam fazer a realização de suas considerações técnicas antes da entrega definitiva.

A Concessão final do relatório pericial é feita após a entrega em cartório, onde as partes analisam o documento e podem concordar ou discordar sobre as questões levantadas, com a possibilidade de fazer comentários sobre o trabalho

pericial realizado. O profissional responsável poderá ser intimado para responder as dúvidas que ficaram em abertas no relatório, quando o juiz requisitar, devendo comparecer à audiência, ela consegue ser de conciliação ou de julgamento, porém o esclarecimento prestado na audiência pelo engenheiro tem a necessidade de serem solicitados com antecedência e por escrito para que pudesse analisar e responder todas as questões ainda em aberto.

De forma a resumir o processo descrito anteriormente, tem-se o passo a passo do processo de perícia representado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do passo a passo do processo de perícia



Fonte: A autora (2021).

2.4.3 Trabalho pericial

O produto de um processo de perícia é a elaboração de um trabalho pericial, documento que pode ser um parecer técnico ou um laudo pericial dependendo do profissional responsável pelo processo.

A NBR 13752 (ABNT, 1996) define parecer técnico como: “opinião, conselho ou esclarecimento técnico emitido por um profissional legalmente habilitado sobre assunto de sua especialidade”. Segundo a mesma norma, laudo técnico é definido como “peça na qual o perito, profissional habilitado, relata o que observou e dá as suas conclusões ou avalia, fundamentadamente, o valor de coisas ou direitos”.

No item 4.3.3.3 da NBR 13752 (ABNT, 1996), estão relacionados os tópicos em que o profissional deve assegurar qualidade ao elaborar trabalhos periciais, podendo ser eles parecer técnico ou laudo pericial. No Quadro 2 segue a apresentação dos requisitos de qualidade para a elaboração de um trabalho pericial.

Quadro 2 – Qualidade da elaboração dos trabalhos periciais

Requisito	Descrição
Fotografias do local	inclusão de uma grande quantidade e diversidade de fotografias, garantindo maior detalhamento de cada bem periciado, as fotografias devem ser esclarecedoras e estar em tamanho adequando para o seu propósito, podendo ser ele de dar uma visão geral ou mostrar detalhes as mesmas devem ser datadas pelo profissional sempre que possível;
Descrição dos bens	descrição detalhada dos bens com todos os dados visuais, através da exposição nos seus aspectos físicos como: dimensões, áreas, utilidades, materiais construtivos etc.
Plantas	apresentação de plantas dos bens individualmente, que podem ser obtidas sob forma de croqui incluindo detalhamento necessários para a perícia, variando de acordo com a natureza e o objetivo dela;
Caracterização dos Danos	com o auxílio das plantas de articulação, da adequada descrição dos bens e das fotos corretamente numeradas, é possível realizar a indicação e caracterização impecável de eventuais danos e/ou eventos encontrados;
Natureza dos Danos	realizar a análise dos danos e/ou eventos encontrados, com a caracterização dele, apontando as prováveis causas e consequências, para obter essas respostas deve-se caracterizar, quantificar e classificar a extensão dos danos analisados, definindo a natureza das avarias.;
Orçamento	juntada de orçamento detalhado e comprovante de ensaios laboratoriais, quando se fizerem necessários.

Fonte: Adaptado de NBR 13752 (ABNT, 1996).

Os critérios vistos no Quadro 2, referem-se a qualquer tipo de trabalho pericial realizado, porém para a elaboração de laudos periciais existem vários outros critérios, conforme será demonstrado no quadro abaixo. Os pontos apresentados a seguir são vigentes somente para a elaboração de laudo técnico. O profissional deverá, de forma sintética, relacionar todos os fatos e os apresentar nos laudos, pois nele deve constar, obrigatoriamente, os elementos abaixo, de acordo com o item 6.2

da NBR 13752 (ABNT, 1996). No Quadro 3 abaixo segue a apresentação dos requisitos para a elaboração de laudo pericial.

Quadro 3 – Requisitos na elaboração de um laudo pericial

Requisito	Descrição
Identificação do Cliente	indicação da pessoa física ou jurídica que tenha contratado o trabalho e do proprietário do bem objeto da perícia;
Qualidade do Trabalho Pericial	requisitos atendidos na perícia conforme o subtópico acima;
Caracterização do local	relato de data da vistoria, com as informações de características físicas da região, vias de acesso, equipamentos e serviços comunitários e o potencial de aproveitamento de solo de acordo com o uso e ocupação do terreno;
Diagnóstico	diagnóstico da situação encontrada;
Resultado da avaliação	no caso de perícias de cunho avaliatório, pesquisa de valores, definição da metodologia, cálculos e determinação do valor final;
Resultados	memórias de cálculo, resultados de ensaios e outras informações relativas à sequência utilizada no trabalho pericial;
Identificação do Perito	nome, assinatura, número de registro no CREA e credenciais do perito de engenharia.

Fonte: Adaptado de NBR 13752 (ABNT, 1996).

2.5 Barragens

As barragens são estruturas utilizadas como reservatórios, para contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos, elas podem interromper ou diminuir o curso dessas substâncias, sendo o curso de forma permanente ou temporário. Para isso, essas estruturas podem ser feitas de terra ou de concreto, de acordo com o tipo e quantidade de material a ser retido (VALE, 2021). Dessa forma, pode-se dizer que as principais funções das barragens estão relacionadas com:

- a) reserva de água;
- b) geração de energia elétrica;

- c) controle de cheias;
- d) contenção de sedimentos (Erosão);
- e) contenção de rejeitos industriais.

As barragens de contenção de rejeitos industriais, se enquadra como um dos principais tipos de barragens, a composição dos rejeitos contidos nela, são partículas resultantes da técnica de extração dos minérios visando os elementos de interesse econômico. A composição desse resíduo é caracterizada pela existência de porções líquida e sólida, com concentração de 30% a 50% em peso em relação a porção líquida (ARAUJO, 2006).

No processamento de extração são utilizadas as barragens de mineração, para a contenção e acumulação desses resíduos provenientes dos processos para beneficiamento de minérios. Elas normalmente são construídas de aterro ou com os próprios rejeitos produzidos pelas atividades de mineração (ARAUJO, 2006).

Para a construção de uma barragem de rejeitos é necessário fazer uma barreira física para evitar possíveis vazamentos e infiltrações, preservando o solo e as águas subterrâneas. O elemento destinado a fazer essa função é o Dique, ele é construído quando é criada uma barragem de rejeitos de minério, para que seus resíduos sejam contidos (ARAUJO, 2006).

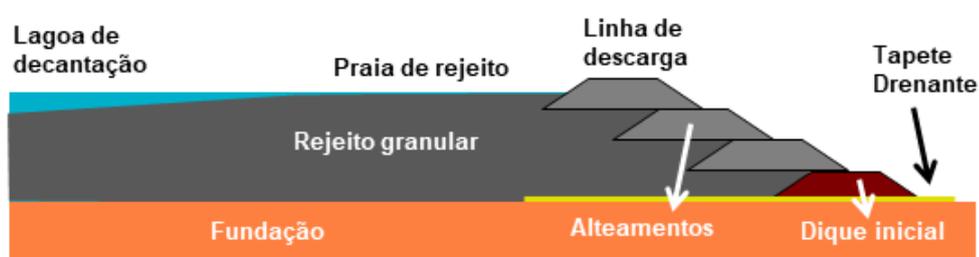
As barragens de rejeitos têm um método construtivo particular que divergem de outros tipos de barragens, pois ela é construída aos poucos, enquanto as tradicionais são construídas em sua altura e dimensões finais. A construção desse tipo de barragem é executada sobre a barragem anterior e a base deve suportar os novos esforços (ARAUJO, 2006).

Após o dique de início ser construído à medida que são feitas novas extrações e a barragem recebe mais rejeitos, novas camadas são formadas e colocadas em cima do dique de partida, essa manobra é conhecida como alteamento, o qual pode ser erguido utilizando os seguintes métodos construtivos (ARAUJO, 2006);

- a) método de montante: a barragem é construída com a utilização de rejeitos, postos sucessivamente um sobre o outro pelo método do alteamento, o qual é realizado no sentido contrário ao fluxo de água (montante). Para esse processo, a construção necessita de rejeito grosso para que o maciço possa ser produzido. Esse é o método mais antigo,

simples e econômico, pois permite obter a menor relação entre volumes de areia/lama. A principal desvantagem desse método é o controle construtivo em relação à segurança, pois os alteamentos são realizados sobre materiais previamente depositados não consolidados, normalmente apresentando baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos. Além disso eles são postos sob condição saturada e estado de compactidade fofo. (ARAUJO, 2006). A Figura 3 exemplifica um perfil de barragem de rejeito construída pelo método de montante.

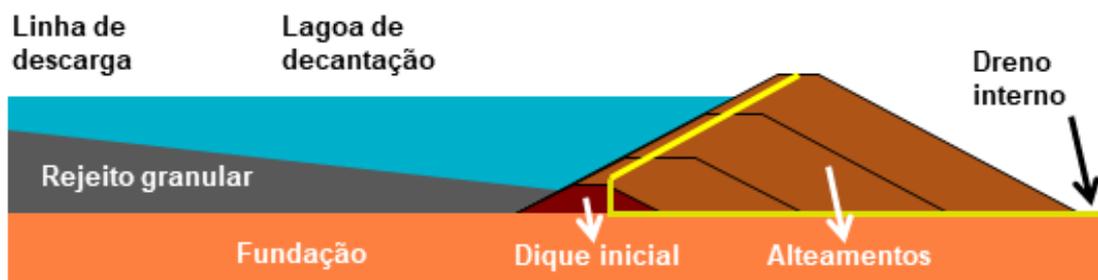
Figura 3 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de montante



Fonte: Maturano (2012).

b) método de jusante: considerado o modelo convencional no cenário brasileiro, proporcionando a construção da barragem, cada alteamento é estruturalmente independente da disposição do rejeito depositado na mesma, eles são realizados no sentido do fluxo de água (jusante). A forma construtiva possui a maior vantagem dessa construção, que é uma maior segurança. O método utilizado permite o controle da linha de saturação no decorrer da estrutura, proporcionando maior estabilidade, além disso a compactação pode ser adequada ao longo que a barragem sofra os sucessivos alteamentos. As principais desvantagens desse método são: que ele necessita de maiores volumes de material, maior relação areia / lama, quando comparado a outras formas de construções de barragens de rejeito, apresentando maiores custos e necessitando de uma área de ocupação pelo sistema de contenção de rejeitos muito maior, devido ao progresso da estrutura para jusante em função do acréscimo da altura (ARAUJO, 2006). A Figura 4 exemplifica um perfil de barragem de rejeito construída pelo método de jusante.

Figura 4 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de jusante



Fonte: Maturano (2012).

c) método de linha de centro: sendo essa uma solução intermediária entre os dois métodos citados anteriormente, ele possui o comportamento geotécnico semelhante as barragens construídas pelo método da jusante, porém se diferindo desse pelo alteamento da crista, o qual é realizado de forma vertical, com eixos coincidentes desde o dique de partida. Esse método mixa os de barragens construídas pelos de montante e jusante, apresentando vantagens dos dois e tentando diminuir suas desvantagens. As principais vantagens dessa forma de construção é que ele faz a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, possibilitando o controle da linha de saturação, porém diferente da jusante, o colocando como uma opção de melhor custo benefício é que ele necessita de volume de material compactado menor para a composição, para essa estrutura, os rejeitos passam a ser usados como principal material de construção (ARAUJO, 2006). A Figura 5 exemplifica um perfil de barragem de rejeito construída pelo método de linha de centro.

Figura 5 – Tipo construtivo de barragens de rejeito: método de linha de centro



Fonte: Maturano (2012).

O Quadro 4 resume as vantagens, desvantagens, características e propriedades dos métodos construtivos de barragens de rejeitos.

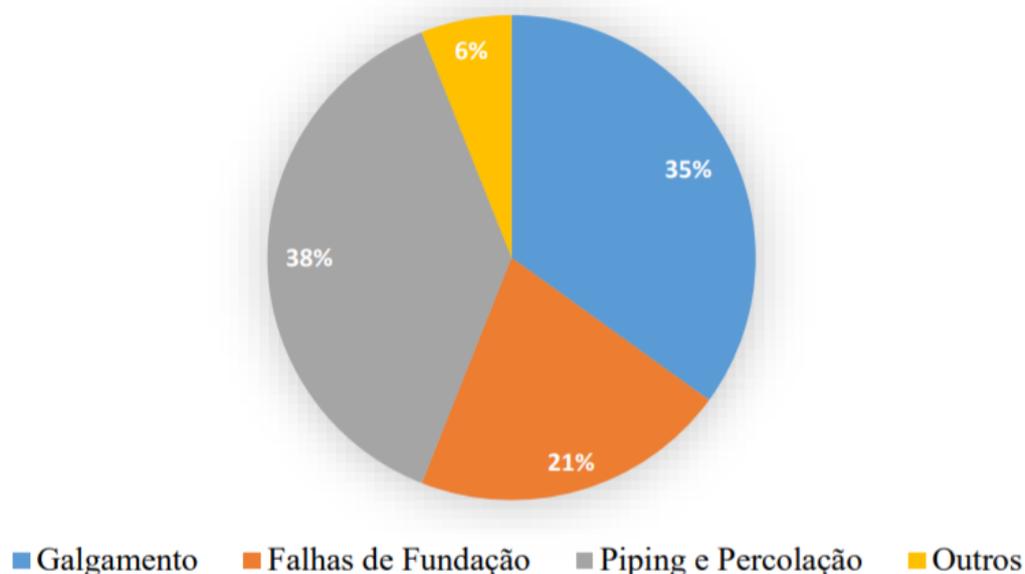
Quadro 4 – Comparativo entre os métodos construtivos de barragens de rejeitos.

Método	Montante	Jusante	Linha de centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para ocorrer segregação.	Qualquer tipo.	Areias de lamas de baixa plasticidade.
Descarga de rejeitos	Periférica.	Independente.	Periférica.
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes.	Bom.	Aceitável.
Resistência a abalos sísmicos	Baixa.	Boa	Aceitável.
Alteamentos	Ideal: menos de 10 m/ano.	Nenhuma restrição.	Pouca restrição.
Vantagens	Menor custo. utilizada no trabalho pericial.	Maior segurança.	Flexibilidade construtiva.
Desvantagens	Baixa segurança, suscetibilidade à liquefação e piping.	Grande quantidade de material requerido, proteção do talude a jusante apenas na configuração final.	Necessidade de eficiente sistema de drenagem.

Fonte: Cardozo, Pimenta e Zingano (2016).

Em resumo, De acordo com Araújo (2006), as barragens de rejeitos podem ser construídas a partir de três métodos diferentes e com isso é possível determinar os principais pontos de falha dessas obras. A partir disso é possível apresentar causas mais frequentes de um rompimento de barragem de rejeitos de acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens (ICOLD, 1973). A Figura 6 Apresenta os percentuais da causa de rupturas de barragens de terra e enrocamento com altura acima de 15 metros.

Figura 6 – Causas de rupturas de barragens de terra e enrocamento.



Fonte: CARVALHO (2018).

De acordo com CARVALHO (2018), as principais causas de ruptura se definem como:

- a) erosão Interna (piping): ruptura provocada pela falha estrutural da barragem, ela é um processo causado pela percolação da água, causando as partículas do solo carregamentos excessivos, formando um tubo de escoamento;
- b) galgamento (overtopping): ruptura que ocorre quando o nível d'água transpassa o coroamento da barragem e se originam das ondas que se desenvolvem no reservatório, por causa das cheias ou eventos de sismos;
- c) falhas de fundações: ocorre quando a fundação não suporta a carga dos alteamentos postos sobre ela, parcialmente ou em sua totalidade;
- d) outros: Percolação, Lixiviação, Fissuras e liquefação.

2.5.1 Legislação de barragens

De forma geral, as barragens são regidas por Leis federais, esse fato se dá principalmente pelos complexos métodos construtivos e graves consequências em caso de falhas dessas estruturas. Dentre várias Leis existentes se destaca a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, a qual alterou a Lei nº 12.334, de 20 de setembro

de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Essa Lei também modifica diversos tópicos de diversas Leis como, a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e do Decreto Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 que relaciona o código de Mineração (BRASIL, 2020).

É de atribuição dos órgãos fiscalizadores, a entidade outorgante dos direitos minerários, no caso das barragens de rejeitos, fazer a fiscalização da segurança das barragens, porém a segurança das barragens é de obrigação do seu proprietário (BRASIL, 2020).

O escopo do Plano de Segurança de Barragem (PSB) é descrito no art. 8º da Lei Federal nº 14.066/2020. Onde é necessário a identificação do empreendedor, os dados técnicos referentes à implantação, a estrutura organizacional e a qualificação técnica da manutenção e operação. Adicionando ainda, os manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções e de monitoramento, os relatórios de segurança da barragem, a indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, o Plano de Ação de Emergência (PAE), os relatórios de inspeções de segurança e revisões periódicas de segurança, identificação e avaliação dos riscos, o mapa de inundação considerando o pior cenário e a identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem (BRASIL, 2020).

A Política Nacional de Segurança de Barragens, determina os principais conceitos, parâmetros e obrigações a serem seguidos pelos donos de barragens e aos órgãos que fiscalizam a gestão de sua segurança. Desta forma, cabe à Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 2020):

- a) cadastrar e classificar as barragens, de acordo com os riscos referentes à sua operação e a sua capacidade de causar danos ambientais e socioeconômicos;
- b) fiscalizar a gestão da segurança das barragens de mineração em todo o país;
- c) elaborar normas relativas à segurança deste tipo de estruturas;

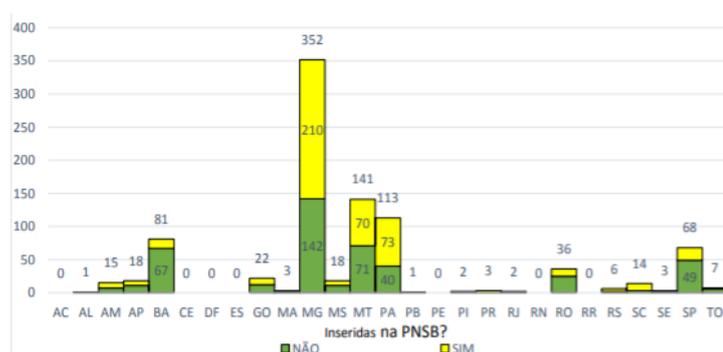
d) assegurar que os empreendedores que possuam barragens de mineração cumpram rigorosamente a legislação federal de segurança e suas normas complementares.

Em endereço eletrônico, a Agência Nacional de Mineração (ANM) apresenta tópicos, onde estão disponíveis para toda a sociedade as leis e normas que regulamentam o assunto. Nele encontra-se séries de relatórios e boletins informativos contendo estatísticas e informações sobre a atuação da Agência nas barragens de mineração do país, além dos links de acesso ao sistema de gestão de segurança de barragens de mineração para empreendedores do setor mineral e ao público em geral (ANM, 2021a). No site é possível encontrar em destaque os tópicos abaixo, com as seguintes informações contidas neles:

- a) boletins: panorama geral das condições das barragens de mineração no Brasil;
- b) legislação: leis e atos que regem a segurança de barragens de mineração;
- c) relatório anual de segurança de barragens de mineração: fiscalização e evolução normativa na segurança de barragens;
- d) sistema integrado de gestão de barragens e mineração (SIGBM): o qual é apresentado em duas versões diferentes. A versão pública das informações técnicas e classificação atualizada de barragens e a versão minerador de acesso exclusivos para empreendedores e técnicos em barragens;
- e) balanço e declaração de condições de estabilidade (DCE): principais informações das campanhas de entrega das DCEs pelos empreendedores de mineração.

De acordo com o *Report Mensal Barragens de mineração*, referente ao mês de outubro de 2021, serão apresentados os mapeamentos de barragens de rejeitos cadastradas no Sistema Integrado de Gestão de Barragens e Mineração -SIGBM. No Brasil existem 906 barragens de mineração cadastradas no SIGBM, das quais 454 estão enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (ANM 2021b). A Figura 7 apresenta o gráfico de barragens cadastradas no SIGBM.

Figura 7 – Barragens cadastradas no SIGBM em 21/10/2021



Fonte: Agência Nacional de Mineração (2021).

De acordo com as barragens cadastradas no NSB é possível averiguar a classificação da estrutura de acordo com os aspectos que possam influenciar de acordo com a categoria de riscos da estrutura. Atualmente, as barragens inseridas na PNSB estão classificadas em relação à Categoria de Risco - CRI (ANM 2021b).

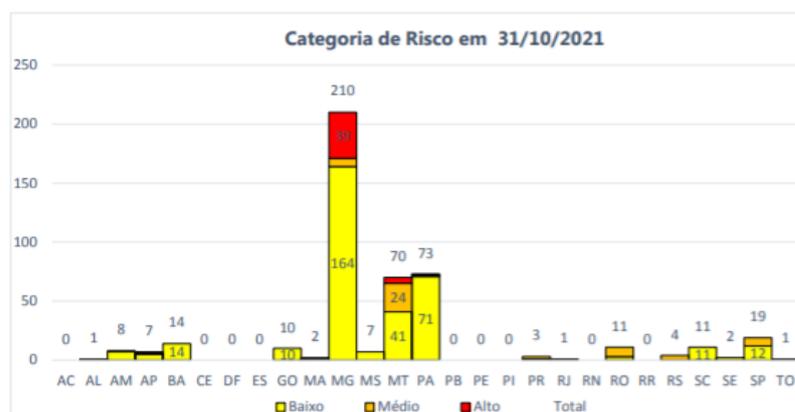
A Categoria de Risco - CRI de uma barragem condiz com os aspectos da barragem que possam influenciar na probabilidade de um acidente: aspectos de projeto, integridade da estrutura, estado de conservação, operação e manutenção e atendimento ao Plano de Segurança. A Figura 8 apresenta as barragens cadastradas de acordo com o CRI e a Figura 9 mostra um gráfico com a distribuídas nacional.

Figura 8 – Barragens cadastradas de acordo com a classificação de CRI

Categoria de Risco			
Baixo	Médio	Alto	Total
352	56	46	454

Fonte: Agência Nacional de Mineração (2021)

Figura 9 – Barragens inseridas na PNSB por estado, segundo CRI



Fonte: Agência Nacional de Mineração (2021)

A Revisão Periódica das barragens, tem o objetivo de verificar continuamente o estado geral de segurança da barragem, nele deve conter as ações a serem tomadas pelo empreendedor, cumprindo as ações previstas para a manutenção e segurança da barragem. O Plano de Segurança da Barragem deverá ser atualizado em decorrência das inspeções regulares e especiais e das Revisões Periódicas de Segurança da Barragem, incorporando suas exigências e recomendações (BRASIL, 2020).

A elaboração do Plano de Ação de Emergência PAE é determinada em função da CRI e do DPA da barragem, devendo ser exigido pelo órgão fiscalizador sempre que o dano potencial é classificado como alto (BRASIL, 2020).

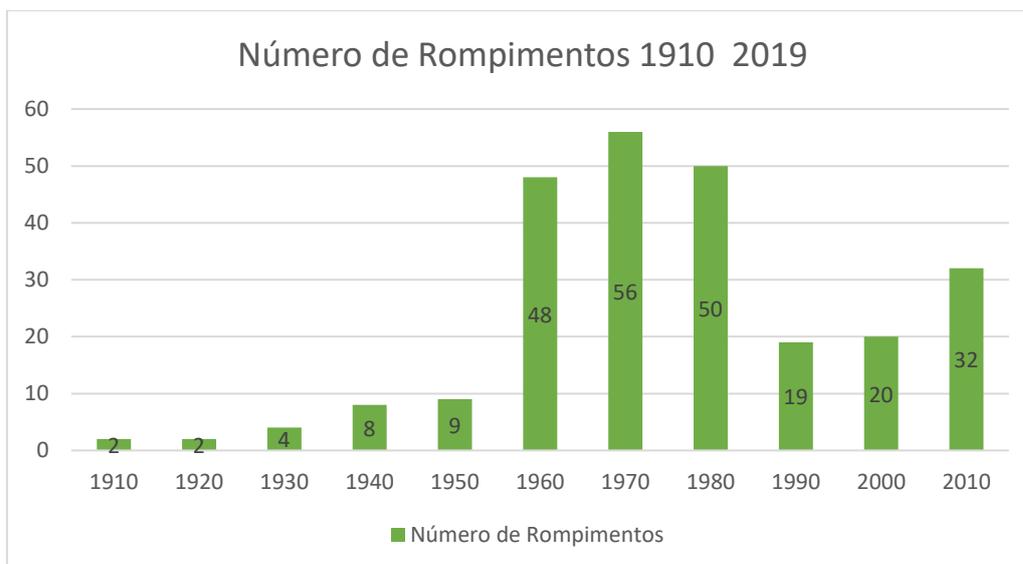
São emitidos de forma periódica um relatório mensal com os gráficos apresentados a cima, porém caso seja necessária uma divisão pelo método construtivo das barragens nas categorias de riscos não será possível fazer essa extração de informações do plano de segurança de barragens mensal. No site onde foi feita a retirada dos relatórios de segurança de barragens consta de forma online todas as barragens inclusas no PSB e seus critérios de riscos, porém não apresenta de forma tão analista como no relatório, pois lá é possível ver apenas as estruturas do Brasil de forma geral ou estado por estado, nunca uma comparação entre as barragens existentes por estado.

Ao fazer um comparativo entre as informações do site e do último relatório postado terá divergência com as informações prestadas, pois os relatórios têm uma defasagem de tempo de cerca de dois meses em relação aos dados que constam no site para a busca de informações.

2.5.2 Casos de rompimentos de barragens e desastres ambientais

De acordo com dados levantados por *WISE Uranium Project* (2019), tem-se na literatura o histórico de 250 casos de desastre em barragens de rejeitos entre os anos de 1910 e 2019 no panorama mundial. A maior parte desses acidentes ocorreram entre os anos de 1960 e 1980 devido aos prejuízos ocorridos na segunda guerra mundial, nesse panorama as nações afetadas precisavam serem reconstruídas e por isso a demanda por metais e minerais aumentou fortemente com essa necessidade pontual (COTA et al., 2021). A Figura 10 apresenta o histórico de rompimentos de barragens em panorama mundial.

Figura 10 – Número de rompimentos de barragens de rejeitos no mundo



Fonte: WISE Uranium Project (2019).

Dentre os 250 casos de rompimentos de barragens, dez deles ocorreram no Brasil, todos nos últimos 40 anos, sendo 90% deles ocorrido a partir dos anos 2000. Dois casos ocorridos nos últimos dez anos que obtiveram grande repercussão nacional foram as barragens dos distritos de Mariana e Brumadinho que romperam respectivamente em 2015 e 2019. O Quadro 5 demonstra um resumo dos rompimentos de algumas das barragens de rejeitos no Brasil, dentre elas as citadas.

Quadro 5 – Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil (continua)

Data	Localização	Incidente	Impactos
maio de 1986	Itabirito, MG/Brasil	explosão da parede da barragem	fluxo de rejeitos 12 km a jusante
22 de junho de 2001	Distrito de Nova Lima, MG/Brasil	falha na barragem de resíduos da mina	onda de rejeitos percorreu pelo menos 6 km, matando pelo menos dois mineiros, mais três trabalhadores estão desaparecidos
10 de janeiro de 2007	Miraí, Minas Gerais, Brasil	ruptura da barragem de rejeitos após chuva forte	o fluxo de lama deixou desabrigados cerca de 4 mil moradores das cidades de Miraí e Muriaé, na Zona da Mata. Lavouras e pastagens foram destruídas e o abastecimento de água comprometido em cidades dos estados de MG e RJ.

Quadro 5 – Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil (final)

27 de abril de 2009	Barcarena, PA/Brasil	transbordamento de canais de drenagem em torno da bacia de lama vermelha após chuva forte	Não consta informações
10 de setembro de 2014	Herculano, Itabirito, MG/Brasil	ruptura da barragem de rejeitos	dois trabalhadores mortos e um desaparecido
5 de novembro de 2015	Mina de Germano, Bento Rodrigues, distrito de Mariana, Região Central, MG/Brasil	ruptura da barragem de rejeitos de Fundão devido à drenagem insuficiente, levando à liquefação das areias de rejeitos logo após um pequeno terremoto	onda de lama inundou a cidade de Bento Rodrigues, destruindo 158 casas, pelo menos 17 pessoas mortas e 2 desaparecidas; a lama polui o Rio Gualaxo Norte, o Rio Carmelo e o Rio Doce ao longo de 663 km, destruindo 15 quilômetros quadrados de terra ao longo dos rios e cortando o abastecimento de água potável aos moradores; o dano é de pelo menos US \$ 6,7 bilhões
17 de fevereiro de 2018	Barcarena, PA/Brasil	transbordamento da bacia de lama vermelha após fortes chuvas	Líquidos altamente alcalinos e carregados de metal inundaram as áreas residenciais vizinhas, tornando o abastecimento de água potável na área inutilizável.
25 de janeiro de 2019	Mina Córrego de Feijão, Brumadinho, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG/Brasil	rompimento da barragem de rejeitos nº 1	a onda de rejeitos devastou a estação de carregamento da mina, sua área administrativa e duas bacias menores de retenção de sedimentos (B4 e B4A); então viajou aprox. 7 km de descida até chegar ao Rio Paraopeba, destruindo uma ponte do ramal ferroviário da mina e se espalhando para trechos da comunidade local Vila Ferteco, próximo ao município de Brumadinho; a lama foi então transportada pelo Rio Paraopeba; 259 pessoas foram mortas e 11 estão desaparecidas
29 de março de 2019	Machadinho d'Oeste, Oriente Novo, RO/Brasil	falha de barragem de rejeitos inativa após chuva forte	o derramamento de rejeitos danificou sete pontes, deixando 100 famílias isoladas; nenhuma morte ou ferimento relatado
1º de outubro de 2019	Nossa Senhor Livramento, MT/Brasil	ruptura da barragem de rejeitos	rejeitos fluíram 1-2 km, interrompendo uma linha de energia

Fonte: WISE Uranium Project (2021).

O caso do rompimento da barragem de Mariana, conhecida como barragem do Fundão, afetou de forma brusca com suas consequências para o país que após esse incidente foi criada a Resolução nº 14, de 11 de dezembro de 2019. Essa resolução dispõe sobre a caracterização de crimes ocorridos em Mariana/MG e na Bacia do Rio Doce, após o rompimento da barragem do Fundão, como violações a direitos humanos de excepcional gravidade, para fins de acompanhamento das providências necessárias à sua apuração, processo e julgamento (BRASIL, 2019). A barragem do Fundão ocasionou a maior tragédia ambiental do Brasil (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2021). A Figura 11 apresenta a vista geral da área da barragem do Fundão antes e depois do rompimento.

Figura 11 – Vista geral da área da Barragem de Mariana



(a) Barragem antes do rompimento

Fonte: Brasil (2018).



(b) Barragem após o rompimento

Três anos após a incidente de Mariana, o Brasil sofreu novamente com um desastre de grandes proporções, ocasionando danos a sociedade e ao meio ambiente, teve como maior consequência o impacto social, devido à perda de vidas de centenas de pessoas. O rompimento da Barragem de Brumadinho possui laudo técnico disponível para acesso ao público, onde contém os motivos e as causas do rompimento da barragem, esses podem ser acessados mais detalhadamente através do LAUDO N° 1070/2019 (BRASIL, 2019). A Figura 12 apresentam a barragem de Mariana antes e depois do rompimento.

Figura 12 – Vista geral da área da Barragem de Brumadinho



(a) Barragem antes do rompimento
Fonte: R7 (2019).



(b) Barragem após o rompimento

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia do trabalho, a qual apresenta o processo organizado, lógico e sistemático de uma pesquisa, mostrando a forma como este trabalho foi desenvolvido. O capítulo está dividido em duas partes, começando pelo delineamento metodológico e, posteriormente, retratando as etapas metodológicas, onde é apresentado o fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.

3.1 Delineamento metodológico

Uma pesquisa científica possui diversas classificações para se adequar como um trabalho científico. Inicialmente, em termos de localização geográfica, essa pesquisa será desenvolvida considerando barragens de rejeitos localizadas em cidades do território nacional brasileiro, porém com foco nos maiores rompimentos do país, os quais obtiveram grandes comoções populares.

Quanto a natureza dessa pesquisa, ela se classifica como aplicada, pois pretende-se gerar um produto com a finalidade de auxiliar em um problema existente, as adversidades geradas pelos rompimentos de barragens de rejeitos (OLIVEIRA, 2011). Quanto a sua divisão em relação aos objetivos, ela é uma pesquisa explicativa, porque ela tem a finalidade de identificar os principais problemas em rompimentos de barragens de rejeitos, para analisar a razão desse fato.

A abordagem do problema é tida como qualitativa porque busca analisar os fenômenos específicos e atribuir os motivos desse acontecimento, apesar de apresentar dados quantitativos descritos em laudos e documentos, os quais serão analisados de maneira somente qualitativa. Já em relação aos procedimentos de coleta de dados, classifica-se como pesquisa bibliográfica. O método científico, estratégia aplicada em um processo investigativo de pesquisa, nesse trabalho é considerado como método comparativo (OLIVEIRA, 2011).

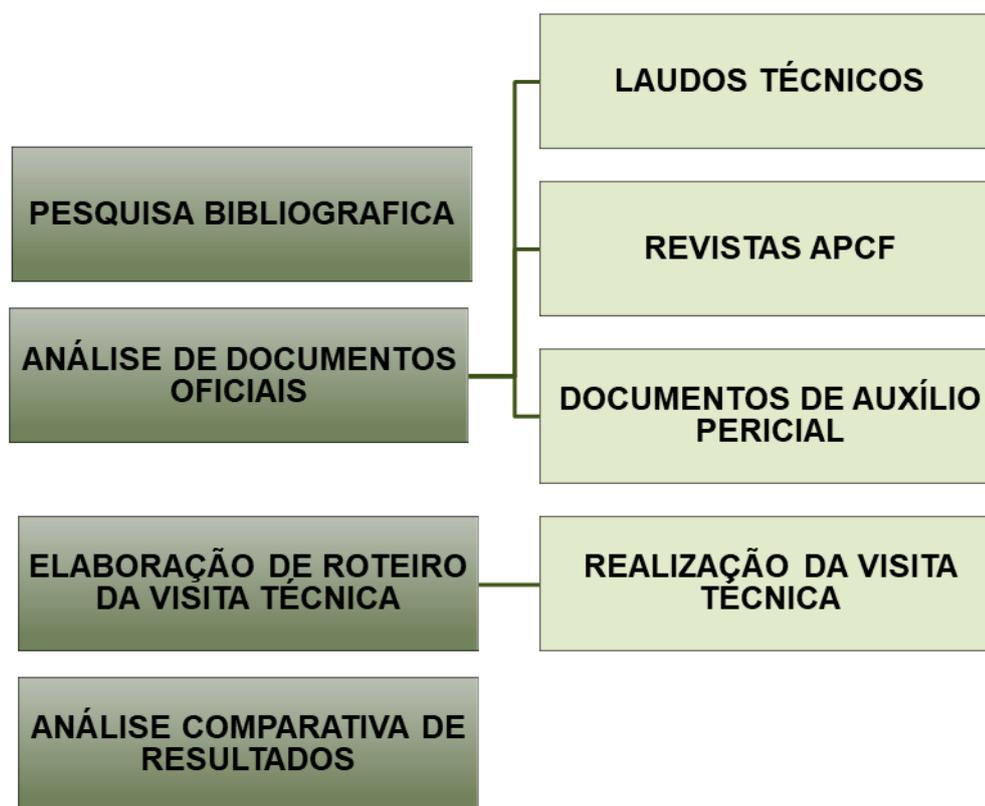
3.2 Etapas metodológicas

A

Figura 13 apresenta esquematicamente a sequência de procedimentos

utilizados para a realização deste estudo.

Figura 13 – Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: A autora (2022)

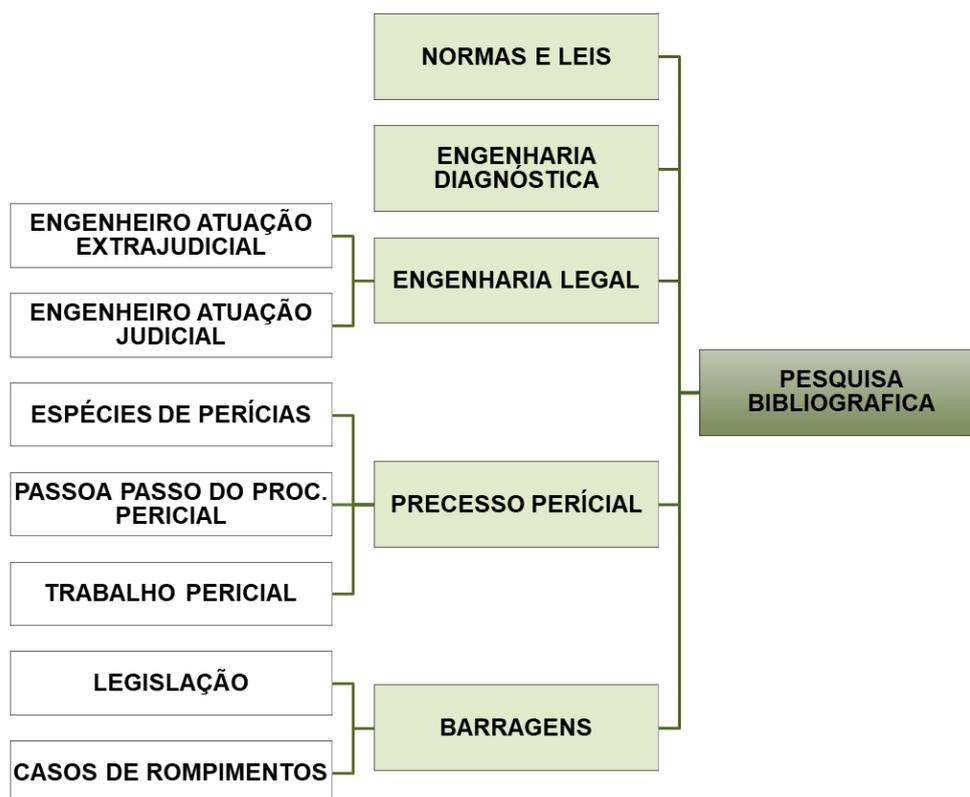
3.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica, etapa essencial em qualquer trabalho científico por permitir um embasamento técnico teórico a respeito dessa pesquisa, está apresentada nesse tópico de forma a caracterizar o processo de busca por informações relevantes e com respaldo. O levantamento bibliográfico foi feito inicialmente através de livros, teses, dissertações, normas e leis para a averiguação da forma de como fazer uma perícia criminal, mostrando como ela se caracteriza e todas as ferramentas necessárias para a sua execução, com o auxílio da engenharia diagnostica dentro da engenharia legal, mostrando como é a atuação do engenheiro civil nesse processo.

Após a conceituação geral de como realizar uma perícia criminal a pesquisa bibliográfica foi voltada para o estudo sobre barragens de rejeitos, apresentando as suas principais características, divisões e legislações, visto que, no caso do presente estudo, o foco da perícia forense são barragens de rejeitos, no qual foram encontrados

a maior parte das informações em sites do governo federal ou institutos renomados, como o ICOLD (Comissão Internacional de Grandes Barragens), ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e ANM (Agência Nacional de Mineração). Um resumo dos principais itens abordados na pesquisa bibliográfica está apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma utilizado para a pesquisa bibliográfica



Fonte: A autora (2022)

3.2.2 Análise documental

Com a pesquisa embasada, fez-se necessária a escolha das barragens para afunilar o objeto de estudo, realizado uma busca bibliográfica sobre os principais casos de rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil dos últimos 35 anos, listando, por ordem cronológica, e identificando os locais dos incidentes, assim como a forma do rompimento e os impactos causados a partir do fato ocorrido. Para uma análise comparativa nos resultados, foram escolhidos dois rompimentos que causaram maiores impactos nacionais dos últimos 10 anos, as barragens antes

localizadas em Brumadinho e Mariana. A partir da escolha dos objetos de estudo foi realizada uma vasta análise documental a respeito dessas barragens.

3.2.2.1 Análise dos Laudos Técnicos

Para obtenção das informações auxiliares dos objetos de estudo, foram selecionados os laudos técnicos confeccionados pela PF – Polícia Federal e pelo IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e das Energias Naturais Renováveis, das barragens escolhidas para análise, Brumadinho e Mariana, conforme explicado em no item de análise documental, foram levantados os principais tópicos contidos em cada um dos laudos, demonstrando suas semelhanças, tanto entre os laudos, como entre os laudos e os dados coletados no referencial teórico e na visita técnica. As comparações levam em consideração os principais problemas encontrados nas estruturas das barragens, nas quais poderiam ocasionar em possíveis rompimentos futuros.

3.2.2.2 Revista da APCF (Associação nacional dos peritos criminais federais)

Foi realizada a análise das informações contidas nas revistas da APCF, essas revistas contêm informações detalhadas sobre os casos de rompimentos de barragens dos dois objetos de estudos escolhidos, estando cada um deles especificado em uma edição diferente.

A edição de número 37, publicada em julho de 2016, com título de tragédia anunciada: laudos da perícia federal apontam causas e consequências da maior tragédia ambiental do país, contém detalhes do rompimento da barragem de Mariana. Já a edição de número 43, publicada em junho de 2019, com o título de a gigante operação em brumadinho: o trabalho diurno da perícia criminal federa em um cenário de crimes complexo, cercado de lama e lágrimas, onde retrará a perícia acerca do rompimento da barragem de brumadinho.

Uma das principais informações contidas nessas revistas é o passo a passo de um processo pericial, apresentando as características exigidas para o planejamento e a elaboração de todas etapas da investigação, chegando até a confecção do laudo pericial. Alguns requisitos das etapas do processo pericial tiveram partes dos seus tópicos transcritos, isso se deu pois os requisitos foram elaborados pela Polícia Federal e os mesmos já se encontram de forma objetivos e detalhados.

3.2.2.3 Documentos de Auxílio pericial

Para a elaboração de um laudo pericial é necessário a análise de vários documentos entre eles existe os manuais de manutenções do objeto de estudo analisado e os relatórios de segurança do mesmo, abaixo segue a descrição de o que são os dois principais documentos analisados para o auxílio no processo pericial.

a) Manuais de manutenção.

Com o propósito de apresentar a forma correta de realizar a manutenção periódica, que pode funcionar como preventiva ou corretiva nas barragens de rejeitos, foi elaborada uma pesquisa contendo manuais de controle e gestão das barragens de rejeitos. Após as obras finalizadas as barragens devem se enquadrar em diversos aspectos de monitoramento para garantir a estabilidade da estrutura e a segurança da sociedade e do meio ambiente no seu entorno.

Foi necessário executar a apresentação do controle e gestão das barragens de rejeitos que devem ser realizadas pelo empreendedor, para que se torna visível a forma correta de funcionamento de uma barragem de rejeitos, para que possa ser comparada a forma de funcionamento dos objetos de estudos antes de seus rompimentos. O controle e a gestão de uma barragem devem ser executados juntamente com as orientações de manutenções preventivas por parte do empreendedor, e isso se dá durante a fase de operação da barragem de rejeito, a qual deve se enquadrar na Lei nº 14.066/2020, onde é necessário seguir todas as diretrizes contidas no Art. 17 para a realização de monitoramento correta.

Foi necessário a execução da apresentação do organograma, contendo a equipe essencial para a manutenção correta e preventiva dos objetos de estudo. Desmembrando todo o processo de manutenção, apresentando o passo a passo necessário para a visualização de forma simples e coerente.

b) Relatórios de segurança e monitoramento.

Essa pesquisa expôs a forma de abordar a segurança das barragens de rejeitos, apresentando os Relatório de Segurança de Barragens (RSB), o qual é um dos instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB),

estabelecida pela Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, nele é consolidada as informações dos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens no país, apresentando a situação da segurança das barragens brasileiras.

O RSB tem como objetivo apresentar uma visão da evolução da segurança das barragens brasileiras e da implementação da PNSB, mostrando diretrizes para a execução de fiscalizadores e empreendedores de barragem, destacando os principais acontecimentos no ano.

3.2.3 *Roteiro da visita técnica*

Segundo Godoi e Mattos (2006), há três modalidades principais de entrevista qualitativa, sendo uma delas a entrevista conversacional livre em torno de um tema. Nessa modalidade, a entrevista é caracterizada pela não preparação de um guia, definida pelo surgimento das perguntas nos contextos e nos cursos naturais à interação, sem que haja uma previsão de perguntas, nem de reações a elas, e por dar ao entrevistado flexibilidade para ordenar a conversação conforme os tópicos que considera mais importantes sobre o assunto.

Com esse intuito, foi realizada uma visita técnica no centro de Perícia da Polícia Federal da União, no polo do estado do Ceará para a realização da conversação livre em torno do tema. Ela foi realizada com o direcionamento voltado para averiguar a forma de execução da perícia pelo governo federal em casos de rompimentos de barragens de rejeitos e perícias. Para esse caso, não foi possível a realização de entrevista, sendo necessário substituir essa metodologia de obtenção de dados por uma visita técnica, pois as entrevistas com os integrantes da polícia federal só podem ocorrer oficialmente pela união, desta maneira está estritamente proibido a realização de uma entrevista com os peritos, conforme a orientação dada pelo coordenador do setor, sendo realizado uma forma de conversação sobre o funcionamento de uma perícia em barragens de rejeitos.

Não é permitido tentar coletar informações sobre um caso específico, seja um caso que já tenha sido realizado ou que ainda esteja em processo de realização de perícia. Desta forma a visita técnica visa ser uma atividade genérica em relação à busca por informações, de acesso público, sobre como é realizado o processo pericial.

3.2.3.1 Realização de visita técnica

A visita técnica foi realizada no centro de Perícia da Polícia Federal da União, onde foi conversado com o grupo de peritos que integram a equipe de especialistas do Estado do Ceará. Ela foi realizada no dia 8 de março de 2022. As diretrizes da visita técnica abordaram a forma de realizar a confecção de um laudo pericial, voltado para rompimentos de barragens de rejeitos, com informações dadas por um especialista que já atuou na elaboração de laudos periciais oficiais de rompimentos de barragens de rejeitos, que constam como objetos de estudos dessa pesquisa, porém pôr termo de confidencialidade, o perito em questão não pode dar informações sobre o caso especificamente.

3.2.4 *Análise comparativa de resultados*

Foram analisados e comparados os dados coletados da visita técnica, dos relatórios de segurança e manutenção e dos laudos oficiais averiguados. Dessa forma, foi possível fazer um compilado comparativo entre essas informações, confeccionando uma tabela com os tópicos mais relevantes entre os assuntos para serem posteriormente discriminados individualmente. Será apresentado um esquema com os principais motivos de rompimentos das barragens de rejeitos contidos em trabalhos de perícia de acordo com essa análise comparativa com o referencial bibliográfico, a qual apresenta as divergências e semelhanças entre a visão do de um perito especialista em rompimentos de barragens e suas recomendações acerca dos principais cuidados a serem tomados sobre possíveis problemas de ruptura e os dados encontrados na literatura e nos sites oficiais do governo federal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo 4 desenvolve os resultados e discussões, a partir dos itens apresentados na metodologia, onde teve embasamento técnico no referencial teórico, porém trazendo resultados de acordo com os objetivos. Ele está sendo subdividido em três principais tópicos: análise documental, descrição da visita técnica e análise comparativa.

4.1 Análise documental

A análise documental é um subtópico onde trás documentos oficiais referentes aos objetos de estudo escolhidos, ele está dividido em quatro vertentes de pesquisas principais, a primeira trás os laudos oficiais, disponibilizados para o público, logo em seguida são apresentadas as edições da revista APCF (Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais), onde descreve sobre os rompimentos das duas barragens estudadas, assim como posteriormente está sendo apresentado informações sobre manuais de manutenção e os relatórios de segurança.

4.1.1 *Laudos periciais*

4.1.1.1 Laudo pericial da Barragem do Fundão (Barragem de Mariana)

Seguindo a ordem cronológica de incidentes ocorridos, o primeiro laudo a ser analisado é o da Barragem de Mariana, no qual será apresentado as características físicas de cada uma das barragens e os pontos aos quais foram apontados como pivôs do rompimento da barragem.

No dia 05/11/2015 ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, pertencente ao complexo minerário de Germano, no município de Mariana/MG. A barragem continha 50 milhões de m³ rejeitos de mineração de ferro. Trata-se de resíduo classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês conforme NBR 10.004. Porém devido aos rejeitos terem atingido mais de um estado, este possível crime foi intitulado como de reponsabilidade investigativa da Polícia federal, a qual a instaurou o Inquérito N° 1843/2015 SR/PF/MG.

Após o rompimento da barragem de Mariana, a mesma teve ação dos promotores, para rastrear os possíveis motivos do ocorrido, o qual teve o trabalho desenvolvido por quatro núcleos técnicos, que produziram sessenta laudos, perícias, vistorias e relatórios de fiscalização. Porém o que consta nos laudos periciais de engenharia é que pela dimensão dos estragos e pelo lapso temporal entre o rompimento e o efetivo acionamento da perícia criminal federal, não foi possível fazer a análise do local logo após o evento.

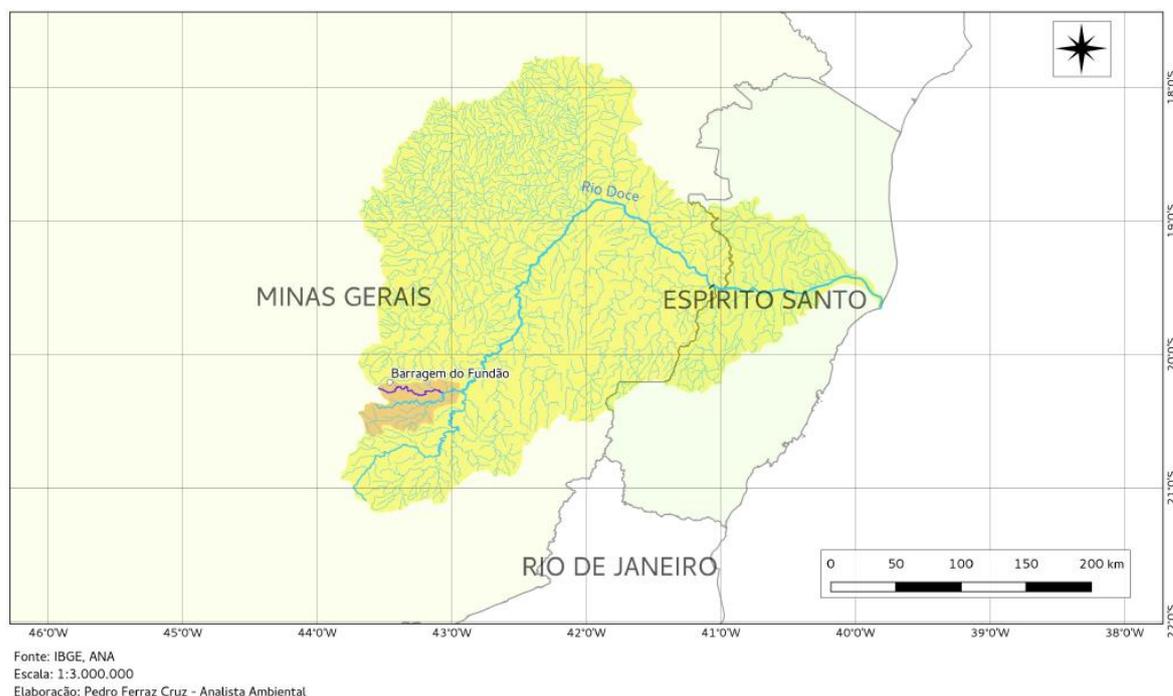
A perícia criminal federal só foi acionada cerca de 15 dias após o rompimento da barragem, esse fato ocorreu, pois até então o crime não se caracterizava como Federal, tal fato só ocorreu após a onda de lama atravessar a divisa do estado do Espírito Santo, à partir desse momento a ocorrência foi caracterizada como dano interestadual e a atribuição da investigação foi dada a Polícia Federal.

Desta forma o laudo da perícia de engenharia, foi focado principalmente em exames documentais apreendidos em uma operação da Polícia Federal no Servidor da Samarco, com uma base de dados com mais de 60mil arquivos, embora não tenha sido deixado de lado a realização de vários exames em campo, a principal fonte de dados do Laudo foram documentos. A partir dessas informações foi confeccionado o laudo nº 994/2016-SETEC/SR/PF/MG, entregue no dia 24 de maio de 2016.

A partir da dificuldade de disponibilização ao público, referente a esses 70 laudos periciais confeccionado pela Policia Federal, desta foi analisado e tomado como base as informações contidas também no laudo pericial elaborado pelo IBAMA, por isso os dados analisados entre ambas as barragens em seus laudos divergiram em alguns aspectos.

A Figura 15 demonstra onde está localizada a barragem de rejeito do Fundão, Localizada no município de Mariana/ MG locada no ponto de coordenadas 20°12'23,4"S 43°28'01,6"W.

Figura 15 – Localização da barragem de mineração do Fundão



Fonte: IBGE, ANA (2016).

O objeto pericial do Laudo do Ibama analisado descreve quais são os impactos ambientais avaliados, sendo eles: às áreas de preservação permanente, à ictiofauna, à fauna, socioeconômicos e à qualidade da água.

De acordo com o laudo da polícia federal, um processo de liquefação, foi o que provocou o rompimento da barragem. Esse processo se dá quando um material sólido se comporta como líquido, quando uma barragem recebe uma grande quantidade de rejeitos de forma repentina, a pressão sobre a estrutura cresce, o que pode provocar a liquefação. Porém o rompimento dessa barragem resultou de uma série de problemas acumulados.

4.1.1.2 Laudo pericial da Barragem de Feijão (Barragem de Brumadinho)

O próximo fato a ser destrinchado é o laudo pericial da barragem de Brumadinho, Laudo N° 1070/2019 – SETEC/SR/PF/MG, nele é apresentado os principais aspectos físicos da barragem e os motivos e forma de seu rompimento.

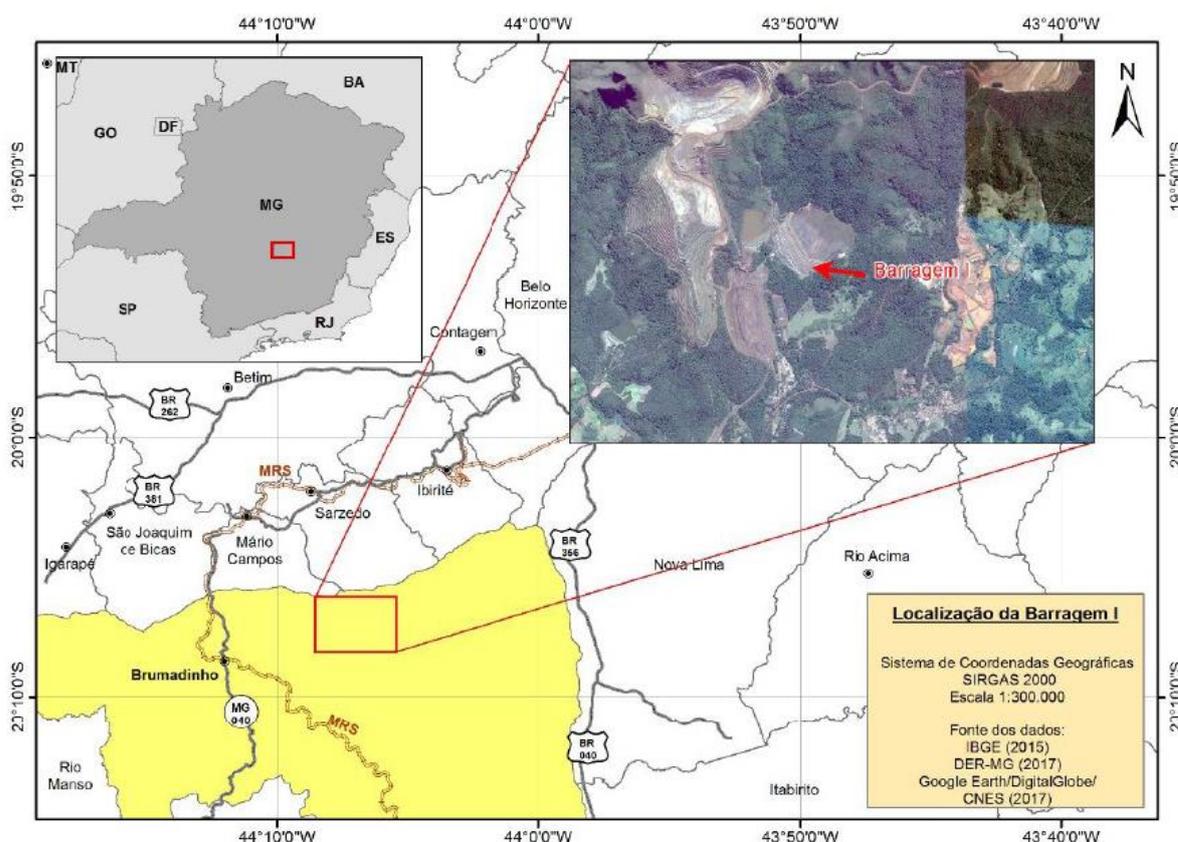
No dia 25/01/2019 ocorreu o rompimento da Barragem I de rejeitos de minério de ferro da Mina do Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho/MG. Devido as suas graves consequências e pelo fato de os danos

ocorrido terem ocasionado grande repercussão nacional, este possível crime foi intitulado como de reponsabilidade investigativa da Polícia federal, a qual a instaurou o Inquérito Policial nº 062/2019-SR/PF/MG.

Desta forma, foi se necessário selecionar recursos humanos em escala nacional para compor a equipe de peritos, de forma que se pode atender a necessidade de apuração de provas materiais, fornecendo todos os esclarecimentos técnico necessários para o caso. A perícia criminal federal entrou no caso logo no dia seguinte ao rompimento da barragem.

A Barragem I fazia parte do Complexo Paraopeba, mais especificamente como sistema de rejeitos da Mina Córrego do Feijão. A Figura 16 apresenta a localização da barragem localizada no município de Brumadinho/MG, locada no ponto de coordenadas 20°07'11"S 44°07'17"W.

Figura 16 – Localização da barragem de mineração “Barragem I”



Fonte: Revisão Periódica TÜV SÜD junho/2018.

O objeto pericial do Laudo analisado tem como propriedades características ser uma barragem de rejeitos com alteamentos construídos para

montante, no sentido da nascente, após a mineração esse material era transportado por meio de bombeamento do rejeito, com o lançamento na barragem ocorrendo por meio de *spray bars* posicionadas ao longo da crista da estrutura. Após o rompimento da barragem de Mariana, em julho de 2016, foi modificada a forma de lançamento de rejeitos, a qual foi interrompida na Barragem I, tendo em vista que a operação de beneficiamento do minério passou a ser realizada a seco.

De acordo com a concepção de barragens construídas por alteamento de montante, após a execução do dique inicial, em solo compactado, na medida em que os rejeitos são depositados, estes passam a servir como terreno de fundação para novos alteamentos, que serão executados avançando-se sobre o reservatório para montante (no sentido da nascente), a partir do dique de partida.

Devido à complexidade e multidisciplinaridade dos exames para a apuração dos fatos, é necessário a utilização da engenharia legal, através de exames que iram esclarecer a conformidade da documentação técnica produzida a partir do gerenciamento da estrutura da Barragem de Brumadinho que sofreu rompimento. Desta forma, este Laudo tem por objetivo examinar a conformidade da documentação técnica, que culminou na emissão das últimas Declarações de Condição de Estabilidade (RC-SP-141/18 e RC-SP-104/18), assinadas em setembro de 2018 pela empresa TÜV SÜD, contratada pela VALE S.A.

De acordo com as informações contidas no LAUDO N° 1070/2019 – SETEC/SR/PF/MG, emitido pela Polícia Federal (2019), possui como objetivo responder as seguintes perguntas:

- Descrever a Barragem I da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG, de propriedade da empresa VALE S.A., informando resumidamente suas principais características.
- Detalhar, resumidamente, as vantagens e desvantagens técnicas do método construtivo de alteamento à montante, empregado na Barragem I.
- Quais os relatórios técnicos mais relevantes, que analisaram os riscos de ruptura da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG, de propriedade da empresa VALE S.A., e que foram emitidos pela empresa TÜV SÜD? Descrever em síntese, seu objeto, demandantes/contratantes, responsáveis técnicos e período das análises.
- Descrever e conceituar o que é condição não drenada.
- Descrever e conceituar o fenômeno da liquefação.

- ❑ Esclarecer qual a relação entre o fenômeno da liquefação e a condição não drenada.
- ❑ É possível afirmar que os normativos técnicos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), atualmente Agência Nacional de Mineração (ANM) eram silentes quanto ao estabelecimento do valor de limite mínimo ou de aceitação para o parâmetro de Fator de Segurança (FS), recomendado em condições de carregamento não drenado para Barragens de contenção de rejeitos? Em caso negativo, qual seria a recomendação desses órgãos (ABNT e DNPM)? Foram identificados normativos ou literatura técnica especializada estrangeira que abordam esse aspecto?
- ❑ Com base na documentação examinada, é possível afirmar qual o valor de limite mínimo ou de aceitação para o Fator de Segurança (FS), para a condição de carregamento não drenado de uma barragem de rejeitos, que a empresa VALE S. A. normalmente tinha como objetivo atingir em seus projetos, incluindo a Barragem I?
- ❑ A empresa TÜV SÜD fundamentou adequadamente os Fatores Segurança mínimos encontrados, por ocasião dos cálculos de estabilidade da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, nos documentos técnicos, por ela elaborados, que resultaram na última Declaração de Condição de Estabilidade (DCE) de setembro de 2018?
- ❑ Com base nas informações disponíveis nos documentos técnicos, tais como: resultados dos cálculos de estabilidade e dos cálculos de probabilidade para diferentes modos de falha; parâmetros de resistência do material depositado no reservatório; referências legais e normativas; literatura técnica especializada nacional e estrangeira; boas práticas de engenharia; todos relativos ao mesmo tipo de barragem em questão, era possível à empresa TÜV SÜD ter emitido a última Declaração de Condição de Estabilidade (DCE) de setembro de 2018, para a Barragem I da Mina Córrego do Feijão?
- ❑ A empresa VALE S.A. dispunha de estudos elaborados por especialistas contratados, que mostrassem que, em caso de ruptura da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, havia a probabilidade de perdas de vidas humanas em quantidade significativa? Em caso positivo, especificar quais foram

esses estudos e seus autores, a quantidade de vítimas fatais previstas e qual a probabilidade associada ao evento e se essa probabilidade era aceitável para os padrões de segurança vigentes à época.

Em sua conclusão o laudo informou que uma empresa foi contratada pela Vale e começou a perfurar a barragem, essa ação induziu uma pressão d'água de forma pontual em um ponto da barragem que era muito sensível, o que dobrou a pressão naquele ponto. Esse ponto sensível se rompeu por liquefação, que se propagou por toda a barragem, assim ocasionando em seu rompimento.

4.1.2 Revista da APCF (*Associação nacional dos peritos criminais federais*)

A revista além de trazer os dados sobre os casos analisados em laudos periciais, onde divergem dos laudos pois estão compilados o passo a passo em ordem cronológica de toda a operação policial dos peritos federais resumidamente. É necessário salientar que as informações contidas nas revistas não são verdades absolutas e sim métodos executados para a realização das etapas necessárias para a confecção dos laudos, essas informações são prestadas pelos peritos responsáveis pelo desenvolvimento das duas edições das revistas analisados.

Os itens analisados das revistas foram o passo a passo de como realizar uma perícia criminal, indo desde o seu planejamento, até a confecção do laudo, levando em consideração compilados de processo pericial existente nas duas edições.

4.1.2.1 Planejamento de uma perícia

Imediatamente após a solicitação da perícia, inicia-se a fase do planejamento. Essa solicitação costuma ocorrer de forma inesperada, pois devido a possibilidade da perda dos vestígios com o decorrer do tempo, é necessário agilizar essa etapa, pois devidos aos intemperes ou novos desmoronamentos, pode ocorrer a perda de provas. Dificilmente é realizada apenas uma única vistoria, pois não seriam coletadas informações necessárias para confecção do laudo, devido à complexidade do sinistro ocorrida, a vantagem de se realizar mais de uma vistoria *in loco* é que se economiza tempo no planejamento da vistoria inicial que deve ser realizada o mais

rápido possível para evitar a perda de vestígios. É necessário salientar que conhecimento prévio a respeito de barragens auxilia da agilidade para o planejamento da vistoria.

É importante considerar todas as possíveis hipóteses, pois todas devem ser analisadas e revisadas, formulando o máximo de hipóteses possíveis da causa do rompimento da barragem, a fim de se construir o histórico de ocorrência dos eventos e considerando o seguinte:

- ❑ pode ter múltiplas causas de importâncias comparáveis, não necessariamente existindo apenas uma causa central;
- ❑ atuação das causas em paralelo, somando e ampliando suas contribuições;
- ❑ a ocorrência das causas em sequência.

Para realizar um planejamento é necessário uma série de ações a serem executadas, a Figura 17 representa tudo a ser feito ao iniciar um planejamento de perícia de barragens de rejeitos.

Figura 17 – Passo a passo do início de um planejamento.



Fonte: Autora, 2022

De acordo com o passo a passo para efetuar um bom planejamento, está sendo descrito nos subtópicos todas as informações necessárias para serem avaliadas dentro de cada etapa do planejamento, iniciando-se pelos itens básicos a serem em um projeto de barragens, seguindo para os requisitos de administração de operação de

uma barragem, passando a apresentar as principais causas de sinistros e todo o planejamento da visita ao local do sinistro, com organização de equipe, transporte e alimentação, considerando todos os possíveis perigos existentes para a equipe.

As barragens podem ser construídas de terra ou de concreto, no caso das barragens de rejeitos, elas se enquadram na primeira hipótese porém cada tipo construtivo deve seguir características básicas construtivas de acordo com as normas vigentes, assim, os requisitos técnicos básicos para construção de barragens de terra de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016), são:

- a estabilidade da fundação, do aterro e das ombreiras em todo o período de execução e operação do reservatório;
- o controle do escoamento de água por meio da fundação, do aterro e das ombreiras;
- a altura suficiente de borda livre para impedir o traspasse da barragem pelas ondas;
- a capacidade do sangradouro deve ser suficiente para impedir o transbordamento da água por sobre a crista da barragem.

Assim como tem exigências construtivas para barragens, há também requisitos para a operação durante a utilização desse tipo de estrutura. Sendo assim os requisitos administrativos básicos para a operação de barragem, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016) são:

- responsabilidade ambiental;
- manual de operação e manutenção;
- plano de monitoração e vigilância;
- documentação e registros de todos os desenhos e projetos de construção e operação;
- plano de Ação de Emergência (PAE), compreendendo a identificação, notificação e plano de resposta;
- calendário de inspeções periódicas, revisões, avaliações e modificações adequadas.

Existem seis fatores considerados como principais quando se trata de casos de sinistros em obras de engenharia, essas fatores não são normalmente não se deve atribuir a uma única causa a exclusividade da ocorrência de um sinistro, pois

normalmente ela é uma associação de valores interrelacionados, abaixo está apresentado os principais fatores de problemas em barragens de rejeitos, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016):

- falha de projeto;
- execução em desacordo com o projeto;
- utilização/operação em desacordo com o projeto e/ou normas de segurança;
- ausência de manutenção;
- atuação de terceiros; e
- desastre natural.

Para realizar a vistoria é necessário fazer um estudo prévio tanto do local a ser visitado como do sinistro ocorrido para que seja possível juntar o máximo de informações preliminares necessárias para a primeira vistoria, assim como os exames a serem realizados, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016) são:

- solicitar às autoridades competentes os projetos e suas alterações, memoriais, especificações, fotografias e relatórios de operação, manutenção, inspeções e vistorias técnicas;
- coletar informações sobre o sinistro da barragem na internet, procurando coletar fotografias do momento, vídeos de populares, declarações de testemunhas etc.;
- necessidade e custo de exames laboratoriais;
- elaboração de plano de amostragem do local;
- determinação do tamanho das amostras e tipo;
- necessidade de modelagem computacional do local;
- considerações sobre as medidas de segurança a serem adotadas;
- considerações sobre outras investigações a serem realizadas por outras equipes;
- considerações sobre as alterações ao local que sua vistoria irá ocasionar;
- considerações sobre a restrição de acesso ao local;
- considerações sobre o atraso que a perícia irá ocasionar a recuperação da obra.

Após o planejamento da vistoria é necessário averiguar possíveis problemas de segurança existente ao chegar ao local, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016):

- analisar os seguintes aspectos:
- a organização aparente do local;
- a presença ou ausência de pessoas autorizadas e não autorizadas no local;
- na avaliação dos riscos à sua pessoa e aos demais.

4.1.2.2 Exames

Os exames a serem executados são análises das ocorrências do sinistro, também conhecidos na engenharia como ensaios. Os exames podem ocorrer de três formas, que são elas:

- processamento do local, o que consta como a identificação dos pontos chaves, a partir do local inicial do colapso;
- coleta de vestígios de materiais, é a retirada de solo para a análise geotécnica, e é também o item onde se realiza o levantamento topográfico;
- coleta de dados e evidências fora do local do sinistro, é define nas entrevistas em geral, assim como na análise fotos e vídeos já existentes.

4.1.2.3 Análise documental

Os documentos iniciais necessários para identificação do histórico de construção da obra e de seus responsáveis, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016), são:

- legislação sobre a responsabilidade de manutenção e operação da barragem sinistrada;
- convênio para construção da barragem (no caso de barragem pública);
- contrato para elaboração do projeto executivo da barragem, incluindo-se os projetos acessórios;
- contrato para fiscalização das obras de construção da barragem;
- contratos de execução das obras de construção da barragem;
- projetos executivos da barragem principal e das obras auxiliares, incluindo estudos geotécnicos, hidrológicos e demais estudos realizados,

memorial descritivo, especificações, alterações de projeto durante a execução, projetos de intervenção realizados após a entrega da obra, e o *as built*,

- relatórios técnicos de vistoria, de histórico de problemas anteriores, de análise de segurança da obra, de operação e manutenção da obra, de plano de contingência e segurança da obra;
- licenciamento nos diversos órgãos governamentais;
- memórias de cálculo de projeto;
- laudos de sondagens geotécnicas;
- diários de obra;
- relatórios das leituras da instrumentação de monitoramento da barragem (medidores de níveis d'água, piezômetros, medidores de vazão, células de carga, inclinômetros, marcos topográficos superficiais etc.);
- delimitação da bacia hidrográfica de contribuição da barragem;
- listagem com postos pluviométricos da bacia hidrográfica;
- hidrograma da região no período imediatamente anterior ao sinistro;
- histórico do enchimento da barragem;
- estudos sobre a geologia local;
- fotografias ou filmagens da execução da obra, e antes e após o acidente, tendo por fontes oficiais os órgãos do governo ou as empresas contratadas (executora e supervisora da obra), e de forma complementar as fornecidas pelos meios de imprensa (jornais, revistas, internet etc.) e pela população;
- imagens históricas de satélite.

4.1.2.4 Elaboração do laudo

Nesse subtópico é apresentado todos as informações que devem ser levadas em consideração, após o planejamento da visita, a vistoria ao local do sinistro e a análise documental.

Na elaboração do laudo deve ser verificado inicialmente se o dimensionamento do projeto está compatível com as informações hidrológicas e geotécnicas da região, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016):

- verificar se as condições meteorológicas do momento do sinistro estavam compreendidas nos parâmetros de operação da barragem;

- verificar se a construção da barragem foi realizada de acordo com o projeto;
- verificar se ocorreram alterações nas características físicas da barragem, após o início da operação que tenham modificado sua capacidade inicial;
- verificar se providências de manutenção foram realizadas a contento;
- verificar se ocorreram fenômenos naturais que pudessem ensejar o “gatilho” do sinistro: chuvas extraordinárias não previstas em projeto, terremotos etc.

Após a realização dos exames é possível ir afunilando as teorias formuladas anteriormente quando a causa do sinistro, sendo assim pode-se chegar as seguintes conclusões, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016):

- identificação de uma única causa;
- identificação de múltiplas causas;
- eliminação de uma causa ou de um conjunto de causas; e
- conclusão pela insuficiência de vestígios que corroborassem a identificação de uma causa ou distinção entre duas possíveis causas.

Depois de todas as informações necessárias já encontradas, é necessário fazer a confecção do Laudo, porém para isso deve-se seguir algumas exigências, essas são as Informações que devem constar no laudo, de acordo com a Edição de nº 37 da revista APCF (2016):

- descrição do objetivo do laudo;
- informações acessórias utilizadas para elaboração do laudo;
- detalhes das observações relacionadas ao sinistro;
- descrição detalhada dos ensaios realizados;
- descrição detalhada das pesquisas realizadas;
- descrição detalhada dos métodos de análise realizados;
- descrição detalhada das opiniões expressadas;
- base científica ou referências das opiniões formuladas;
- explicação da confiabilidade da opinião expressada, se possível;
- explicação de qualquer procedimento não usual.

4.1.3 Documentos de Auxílio pericial

Conforme já visto neste trabalho de pesquisa, uma das principais etapas do processo pericial é a análise de documentos para que sirva de embasamento para entender a obra e o seu funcionamento, de forma que seja possível elaborar a vida da obra, analisando à partir dos manuais de manutenções se a empresa estava seguindo as normas, conforme o indicado e a conferência dos relatórios de segurança, para verificar o andamento da barragem.

4.1.3.1 Manuais de manutenção

Manual de operação da estrutura deve ser elaborado ainda na fase de projetos da barragem, pois ele é um documento complementar para que possa ser realizada a implantação da estrutura, porém não deve-se apenas criar e utilizar o mesmo até o fim da vida útil da barragem, pois ele é um item que deve ser atualizado sempre que a barragem modificar suas características ou condições operacionais ou a cada 2 anos, o manual deve ser revisado buscando sempre a melhoria contínua do funcionamento da barragem. Nesse documento deve incluindo procedimentos de inspeção de campo e monitoramento e atendimento para situações de emergência.

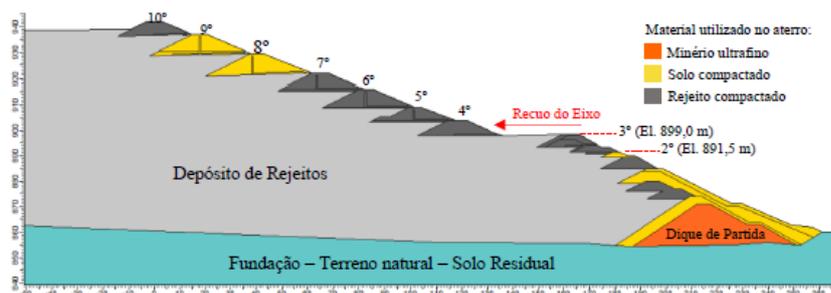
Um item contido nos relatórios de manutenção é o estado da barragem, ou seja nele consta todas as alterações estruturais existentes no projetos, desde a sua construção, passando por todas as reformas, mostrando os alteamentos já realizados, até o último alteamento executado antes do rompimento da barragem, A Figura 18 apresenta o perfil construtivo da barragem de Mariana, já a Figura 19 apresenta o perfil construtivo da Barragem de Brumadinho.

Figura 18 – Perfil executivo até o último alteamento – Barragem Mariana



Fonte: Polícia Federal (2016).

Figura 19 – Perfil executivo até o último alteamento – Barragem de Brumadinho



Fonte: Revisão Periódica TUV SUD, Junho/2018, modificado.

A manutenção dos equipamentos pode ser do tipo preventivo, englobando as vistorias e operações de rotina, ou em intervenções após diagnóstico, do tipo melhorativo ou do tipo corretivo, na sequência de anomalias.

Para a manutenção dos equipamentos é necessário realizar planos de Manutenção, porém para sua confecção deve-se incluir alguns itens obrigatoriamente, entre outros elementos:

- procedimentos e requisitos de manutenção das diversas estruturas, incluindo a barragem, órgãos extravasares e de operação, casa de força e outras estruturas, inclusive em madeira e condutos;
- procedimentos de manutenção dos equipamentos, incluindo a respectiva instrumentação;
- regras de manutenção das estruturas e dos equipamentos.

Após realizar os procedimentos de manutenção, é necessário oficializar esse fato, registrando as manutenções das estruturas e dos equipamentos, as quais incluem:

- relatórios das ações de manutenção das estruturas;
- relatórios sucintos das modificações efetuadas no âmbito de ações de manutenção;
- relatórios de comportamento dos equipamentos, incluindo relato de avarias;
- relatórios de alterações e modernização de equipamentos;
- registros dos testes de equipamentos.

4.1.3.2 Relatório de segurança

O monitoramento de barragens é um assunto de imensa importância, pois é a partir dos dados extraídos deles que se pode concluir como estão os possíveis riscos dessa estrutura. O monitoramento e segurança da barragem é dever dos seus proprietários, porém a ANA tem a centralização de todas as informações para realizar a elaboração dos Relatórios de segurança. O monitoramento de barragens de rejeitos pode ser executado de variadas formas, porém destaca-se aqui as tecnologias de monitoramento de barragens mais utilizadas pela VALE:

- monitoramento por vídeo 24 horas;
- acompanhamento do nível de água em diferentes pontos da barragem com instrumentos específicos;
- medição da resposta da barragem à atividade sísmica com instrumentos específicos;
- monitoramento por radar;
- uso de imagens satélites e drones para acompanhar estados de conservação e deslocamento do solo;
- implantação de sirenes.

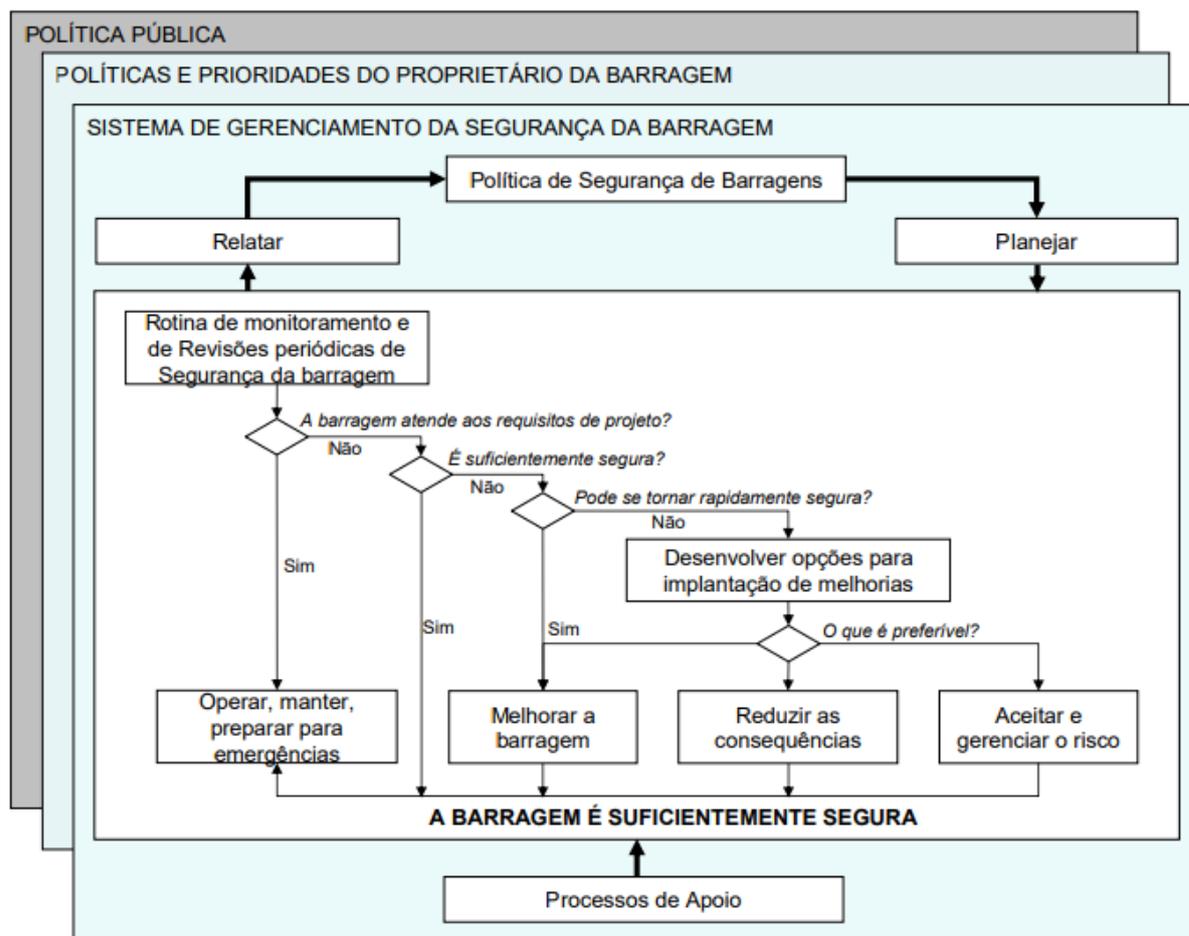
O Relatório de Segurança de Barragens é um documento emitido anualmente, nele é contemplado: o que são barragens e como funcionam; do que trata a segurança de barragens; a estrutura de gestão para a segurança de barragens; principais ações realizadas pelos órgãos fiscalizadores e os próprios empreendedores de barragens; acidentes e incidentes que ocorreram no ano anterior da publicação da edição; as barragens que demandam mais atenção por parte dos órgãos fiscalizadores; e os recursos públicos aplicados na segurança das barragens.

O Relatório de Segurança de Barragens - RSB apresenta à sociedade um panorama da evolução da segurança das barragens brasileiras e da implementação da PNSB, incluindo a melhoria da gestão da segurança.

A importância desse relatório para a análise documental é que a partir dele os peritos podem analisar se a barragem colapsada está seguindo todos os itens listados no relatório e caso itens façam divergência, analisar o motivo e responsabilidade desse fato ocorrer. Deve-se analisar os ensaios realizados para acompanhamento das barragens, assim como os equipamentos utilizados em casos de emergência.

A Figura 20 apresenta todo o processo a ser realizado para fazer o gerenciamento da gestão de segurança de uma barragem de rejeitos, onde inicia-se com o planejamento.

Figura 20 – Apresenta um fluxograma sobre gestão da segurança de barragens



Fonte: CDA (2007).

4.2 Descrição da visita técnica

No dia 08 de março de 2022, foi realizada a visita técnica a Superintendência Regional no Ceara, onde fica localizado o centro de Perícia da Polícia Federal da União, no endereço: Av. Borges de Melo, 820 – Fátima – CEP 60415-510 – Fortaleza – CE. No primeiro andar do complexo encontram-se diversas salas de perícia criminal, na qual uma delas é destinada a Engenharia Civil, onde existe um grupo de peritos que integram a equipe de especialistas locados no Estado do Ceará.

A visita técnica foi direcionada para uma conversa com apenas um dos integrantes da equipe, essa atitude foi tomada para orientar a conversa com a intenção de cumprir com os objetivos contidos nesse trabalho de pesquisa que é voltado para sinistros de barragens de rejeitos.

O responsável por proporcionar informações relevantes acerca do assunto de perícia criminal em barragens de rejeitos atua como Perito criminal Federal, especificamente na área 07, a qual refere-se ao engenheiro civil, ele é Graduado em Engenharia de Fortificação e Construção pelo Instituto Militar de Engenharia – IME e possui Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia pela IBAPE e UFCE. Ele foi Engenheiro Projetista e Fiscal de Obras do Exército Brasileiro entre os anos 2000 e 2005 e atualmente é Perito Criminal Federal, cargo que ocupa desde o ano de 2005.

Foi possível fazer uma linha do tempo onde contém todos os rompimentos de barragens que o perito responsável pelo guiamento da visita técnica participou. Sua atuação em sinistros iniciou-se em 2009 nas barragens de Algodões em Cocal/PI, armazenamento de água, já em 2015 atuou na perícia da barragem do Fundão em Mariana/MG, responsável por armazenagem de rejeitos de mineração, em 2019 fez a perícia da Barragem I em Brumadinho/MG, responsável por armazenamento de rejeitos e em 2021 atuou na perícia da Barragem do Atalho em Brejo Santo/CE, que armazena água.

O primeiro sinistro investigado pelo perito, foi o rompimento da barragem de algodão que faz divisa entre Ceará e Piauí, o ocorrido deu origem a PNSB a partir da LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010, que 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.

Após a ocorrência de cada um dos sinistros das barragens de Fundão e de Feijão, ocorreram atualizações da Lei inicial sobre segurança de barragens, para que pudessem ser tomadas atitudes com maiores precauções para que fatos como esse não se voltassem a se repetir. A Lei de Segurança de barragens está passando por uma nova revisão após o rompimento da Barragem do Atalho em Brejo Santo/CE.

Para realizar a seleção dos peritos de investigação de sinistros em âmbito que compete a justiça federal, que ganham grande comoção popular e com forte pressão da imprensa, é necessária uma análise nacional com todos os peritos

cadastrados na determinada área de atuação necessária, não importando o estado no qual o profissional esteja locado. Para realizar esta escolha entre os candidatos é necessário levar em consideração a experiência dos peritos em sinistros com barragens, sendo elas de rejeitos ou de água, pois é necessário demonstrar vasta experiência em rompimento compatíveis ao ocorrido, principalmente quando trata-se de ocorrências que tiraram diversas vidas e degradou a natureza de forma irreparável. A decisão final do perito escolhido é feita na central dos recursos humanos da superintendência regional de Brasília.

Nem todo sinistro que ocorre em território nacional pode ser investigado pela Polícia Federal, para se enquadrar como crime federal o sinistro deve apresentar ao menos uma das seguintes características: envolver uma empresa federal, atingir mais de um estado brasileiro, quando atinge o oceano (o oceano é considerado território nacional, não pertencendo a nenhum estado brasileiro, até uma determinada distância do litoral) ou caso tenha comoção popular.

O caso da Barragem do Fundão localizada em Mariana enquadrou-se como crime federal pois os rejeitos oriundos do seu rompimento atingiram mais de um estado, sendo eles Espírito Santo e Minas Gerais. Já o rompimento da Barragem do Feijão localizada em Brumadinho caracterizou-se como crime federal, pois houve uma grande comoção popular devido aos grandes estragos ao meio ambiente e as inúmeras vidas perdidas.

O início das atividades de investigação dos peritos criminais se dá após a abertura de denúncia, quando chega a sua mesa uma denúncia feita pelo delegado responsável pelo caso solicitado uma perícia para constatação de Fatos, essa denúncia chega de modo formal em um relatório que pode ser apenas a solicitação ou pode ser um relatório completo já com diversas informações para auxiliar o profissional. O perito após a leitura de todo o processo que lhe foi encaminhado deve colher o máximo de informações preciso e de forma ágil para que possa planejar a visita ao local do sinistro o mais rápido possível, porém com informações pertinentes do que ele deve procurar. Esse estudo do caso pode ser feito através das informações contidas no processo, informações de jornais, sites confiáveis e outros. A análise prévia feita pelo delegado pode ir junto com a solicitação de perícia ou pode não ir.

Para a realização da visita o profissional já deve ter ciência dos equipamentos e itens necessários para a realização, tanto de itens específicos para a perícia, como meios de locomoção para chegar até o local, que muitas vezes talvez

não passe carro e precise de helicópteros ou carros 4x4 devido a complicação do trajeto após o rompimento.

A necessidade de realizar a visita ao local do acidente o mais rápido possível deriva da Teoria dos vestígios, que classifica esses indícios como efêmero, pois ele somem com o tempo e quanto mais se demora a fazer essa análise menos resquícios de provas iram existir e a perícia ira cada vez mais se equiparar a uma missão de arqueologia.

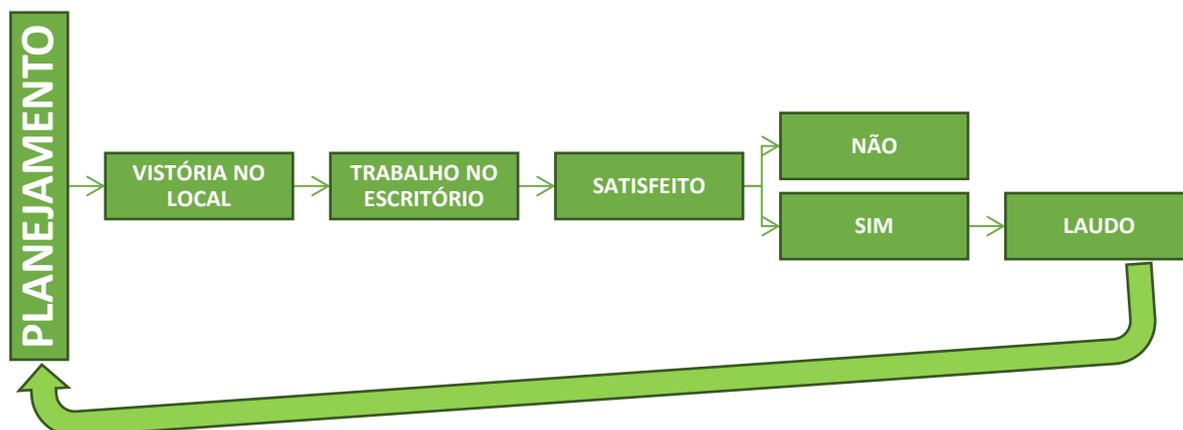
Após a chegada ao local é necessário realizar a análise para responder a três perguntas imprescindível. As perguntas abaixo serão respondidas com o compilados de informações colhidas na visita ao local e as informações adquiridas nos documentos analisados.

- ❖ Qual a causa determinante?
- ❖ Por qual motivo ocorreu naquele determinado local?
- ❖ Qual o motivo de ser naquele momento?

Caso após a primeira visitação ao local a perícia não seja concluída e as perguntas acima não sejam respondidas, deve-se voltar ao escritório e fazer um novo planejamento, coletando mais informações nos documentos e executar uma nova visita, esse processo deve ser refeito até que a Perícia seja concluída.

A Figura 21 apresenta esquematicamente a sequência de procedimentos, de forma macro, utilizados para a realização de uma Perícia Criminal, representando que esse processo é um ciclo contínuo até que o resultado obtido seja relevante e a partir dessas informações possa ser realizado o Laudo Pericial do Sinistro.

Figura 21 – Fluxograma do planejamento macro de uma perícia



Fonte: A autora (2022).

Para auxiliar no processo de análise dos dados é necessário basear-se em algumas teorias existente para que se possa a partir daí verificar semelhanças com casos de mesma natureza já ocorridos e verificar similaridades.

A Teoria da casualidade de David Hume demonstra que toda causa possui um efeito. Ela é aplicada na área da construção civil e conhecida como hábito à deriva, a qual representa as consequências ocorridas a partir da omissão de atitudes do profissional, que deveriam ser tomadas a cerca de um determinado problema existente na construção, ou seja, caso o problema seja ignorado ou tratado como se não tivesse importância, isso acaba ocasionando patologias.

Outra importante teoria é a da equivalência dos antecedentes ou das condições, ela mostra a importância de saber os antecedentes do empreendimento, tanto os ocorridos no período de utilização como os ocorridos na construção. Ou seja, é necessário saber todo o histórico de ocorrências envolvendo a construção para que não haja problemas ocorridos de surpresa e possa ser dada a solução correta partindo da origem do problema e não apenas verificando ocorridos superficiais.

De acordo com o especialista na área que já atuou em diversas perícias de barragens, constatou que o principal problema é a falha humana, por isso seguir essas teorias tem devida importância para que, a primeira para que os problema não seja vistos e ignorados e a segunda para que os problemas sejam estudados, sendo importante o estudo dos problemas ocorridos.

Enquanto no avião o fator de segurança é elevado criando-se uma nova lei sempre que ocorre algum tipo de falha na aeronave, ou seja em um suposto gráfico de segurança comparando riscos aéreos e de construção, enquanto no primeiro a linha sempre cresce para cima, no segundo se as teorias indicadas não forem aplicadas, cada falha que ocorre será ignorada e a cada nova gestão não for averiguado os problemas existente, as falhas na barragem fará com que a linha caia gradativamente a cada falha, fazendo com que fique abaixo do fator de segurança calculado.

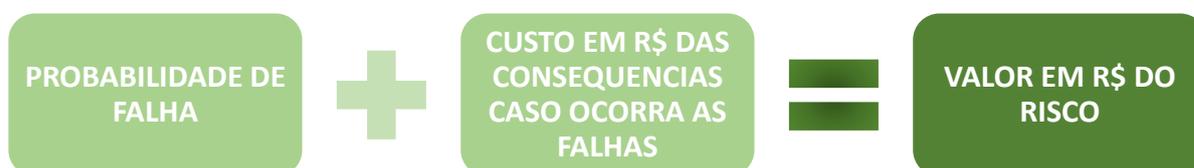
Os fatores de segurança mais utilizados na construção civil, dividem-se em dois, sendo eles probabilístico e determinístico. O Fator de segurança (FS) determinístico não fornece nada além de um FS para garantir a segurança, assim não sendo levado em consideração incertezas, como baixa quantidade de amostras ou possíveis erros nos ensaios, esse método considera as melhores quantificações dos parâmetros de entrada. Já o Fator de segurança probabilístico se assemelha bastante

com FS determinístico, porém leva em consideração incertezas inerentes, as quantificando, fornecendo informações sobre os parâmetros que influenciam de forma mais significativa o problema, sendo integradas na análise da estabilidade para estimar a distribuição probabilística do FS.

Para verificar a segurança de uma barragem é costumeiro realizar o *Downbreak* que é o estudo que avalia os potenciais impactos do rompimento de uma barragem, o qual trata-se de uma modelagem matemática a partir de determinadas pressuposições. Ele parte do princípio de mapear manchas de inundações e formular os planos de ações emergenciais, quantificação de danos e riscos, classificação do dano potencial associado e requisito legal e responsabilidade social, caso ocorra a ruptura de uma barragem.

A Figura 22 representa a forma de calcular os riscos, demonstrando quanto vale caso haja falha da barragem calculando a probabilidade da falha ocorrer, assim como os limites que possa atingir, normalmente esse limite é verificado através do *Downbreak*, onde a barragem para em caso de rompimento, demonstrando uma linha imaginária representando o limite que os rejeitos possam atingir. Essa probabilidade de falha deve ser somada ao custo de cada uma das possíveis consequências, dando um determinado valor a elas, sendo vidas humanas, vidas de animais, poluição de rios e oceanos, ou destruição ecológica do local.

Figura 22 – Cálculo do valor de risco em barragens



Fonte: A autora (2022).

Um grande problema encontrado no decorrer da perícia foi a demonstração de como as manutenções não eram feitas de forma corretas, pois os auditores externos eram contratados diretamente pelos proprietários das barragens e isso dava um vínculo de servidão a esse profissional, fazendo com que ele deixasse passar

algumas falhas existentes, outro grande problema na auditoria era a falta de análise dos relatórios anteriores pelo profissional fazendo com que não fosse verificado se problemas anteriores foram ou não resolvidos e podendo passar despercebidos, caso tenha havido alguma correção, como no caso de uma trinca, ela pode ser corrigida e voltada a aparecer, porém o auditor não tem conhecimento do ocorrido e acredita ser apenas uma trinca passiva e não algo que está trabalhando. Devido a esse tipo de problema que havia sendo ocorrido com frequência, agora haverá um distanciamento moral de quem dá o aval das barragens, o auditor externo, e o proprietário, pois tal atividade será executada pelo estado, tendo o dono da barragem que pagar uma taxa específica e diretamente ao governo, para a ocorrência dessa atividade.

A Figura 23 representa a linha do tempo de uma obra colapsada de uma obra, indo de sua concepção até o colapso, passando por uma construção e manutenção durante a sua utilização.

Figura 23 – Linha do tempo de uma obra colapsada



Fonte: A autora (2022).

4.3 Análise comparativa

A fim de mostrar a relação entre o processo pericial e a inquirição dos laudos é importante fazer uma análise comparativa dos principais resultados obtidos nos tópicos anteriores. De forma geral, com a investigação das principais causas de rompimentos de barragens é possível relacionar as principais atividades do processo de perícia com o histórico de sinistros ocorridos no país.

A partir das análises feitas foi-se observado que conforme as pessoas ignoram algumas manifestações patológicas da estrutura, isso vai gerando diversos problemas, o que acaba acumulando e formando um dos principais problemas em barragens de rejeitos. A partir desse descaso acumulado é possível encontrar nos laudos que nenhum sinistro é ocasionado apenas por um problema e sim por um

conjuntos deles, porém ao analisar os laudos, foi-se possível verificar que esses problemas ignorados acabam derivando a uma patologia em comum encontrados em laudos periciais e visto também quando averiguados e literatura, que é a liquefação em barragens de rejeitos.

A liquefação foi um dos principais motivos para os rompimentos dos dois maiores casos de sinistros no Brasil, sendo eles os da Barragem de Mariana e Brumadinho, enquanto o primeiro se deu devido a uma série de erros de projeto e remendos, pois a estrutura já anunciava falhas, ocorrendo uma sequência de problemas de operação, estruturais e de gerenciamento, assim contribuindo para a ocorrência do sinistro de Mariana. Já o segundo desastre ocorreu devido à falta de planejamento e análise ao realizar modificações que geraram grande pressões na estrutura, ocasionando instabilidade na estrutura.

Para evitar futuros colapsos de barragens de rejeitos do Brasil, é necessário analisar os relatórios de manutenções já realizados e sempre verificando se o mesmo está seguindo os relatórios de segurança de barragens para que não haja divergências, assim não deixando passar itens relevantes e evitando que diversos problemas se acumulem até que resultem em um possível colapso.

O tipo de barragem estudada influencia diretamente nos possíveis problemas existentes, sendo que ambos os objetos de estudos seja construídos por alteamento de montante, o qual já foi proibido a construção, devido a sua instabilidade estrutural, mesmo não possuindo novas construções com esse tipo de alteamento ainda existem diversas estruturas em funcionamento no país.

Ao analisar os principais problemas de rompimentos de barragens de acordo com a literatura, conforme consta no referencial teórico dessa pesquisa, encontram-se falhas funcionais como principais empecilhos, como no caso das barragens que sofrem com percolação e piping, que são responsáveis por 38% das falhas ocorridas, já o galdeamento corresponde a 35% dos problemas encontrados nessas estruturas, enquanto as fundações equivale a 21% dos motivos de rompimentos de barragens. Essas três falhas que equivalem a 94% dos rompimentos de barragens tem em comum que esses problemas ocorrem a partir de elementos críticos para a segurança das barragens, partindo de um mal dimensionamento ou incapacidade de funcionamento conforme o esperado de acordo com o projeto, influenciando diretamente na capacidade de vazão insuficiente.

Uma segunda vertente analisada em relação aos rompimentos de barragens são os laudos periciais, a partir dos quais, é possível verificar que não pode-se culpar apenas uma falha existente ao motivo do desabamento, embora ambos os casos analisados se enquadrem como liquefação, neles haviam indícios de diversos outros motivos existente, pois um único ponto específico não ocasionaria o rompimento da barragem naquele momento, mas a junção de diversas falhas unidas ocasionavam um problema em comum, assim justificando o agravamento das falhas e a definindo como o principal motivo.

Quando é levado em consideração os principais motivos de desabamento de acordo com as informações prestadas pelo Perito Federal que orientou a visita técnica, nota-se que de acordo com sua vasta experiência o mesmo culpa esses desabamentos, a falhas cumulativas que foram sendo desconsideradas pelos serem humanos, sendo essas falhas originalmente irrisórias, porém com o desenvolver de suas problemáticas e a junção com outras, ela vai acumulando problemas até originalizar um problema central, no qual é encaixado quando se analisa o rompimento de uma barragem de forma superficial, porém de acordo com o mesmo o real problema principal encontrado nas pericias em desmoronamento de sinistros é a falha humana, o qual utiliza a teoria do acaso.

Sendo assim ao avaliar e contrapor as três visões existentes no presente trabalho sobre os principais motivos de sinistros em barragens de rejeitos, é possível ver que elas são complementares, porém na visita técnica foi possível pegar a partir da experiência do perito o motivo de um problema nunca ser algo isolado.

5 CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu analisar o processo pericial em barragens de rejeitos, sendo feito esse desmembramento de todas as suas etapas. Na pesquisa foram relatados alguns dos trabalhos e procedimentos até então utilizados pela perícia criminal em sinistros de obras de engenharia, voltadas para barragens de rejeitos, com a intenção de difundir para o público em geral o entendimento de um processo pericial, apresentando entrevista, exemplos de documentos oficiais, utilizando como modelos os laudos utilizados nos objetos de estudo e apresentando o que a literatura traz a respeito de um processo pericial.

As barragens de rejeitos utilizadas como objetos de estudo apresentaram uma mesma causa final, porém ambas sofreram causas externas, as quais foram responsáveis por intensificar essa causa final. As barragens foram utilizadas com a intenção de apresentar as causas e origens dos sinistros ocorridos.

O objetivo desse trabalho foi realizado, visto que o proposto era difundir o processo de perícia em barragens de rejeitos com foco nas causas e origens dos colapsos, desta forma foi apresentado o processo pericial visto de várias percepções divergentes, onde cada uma delas apresentavam as causas dos colapsos, sendo algumas de forma superficial e outras aprofundado.

A pesquisa realizada caracterizou-se principalmente a partir da visita técnica realizada, comparando-a com os documentos oficiais analisados, avaliando a forma de diagnóstico de ambos. Com isso foi possível chegar a uma conclusão procedimental de um conjunto de diretrizes propostos para fazer a análise comparativa entre todos os métodos apresentados nesse trabalho.

Por fim, conclui-se que o principal problema ao analisar um lado pericial é a falta de informações complementares, sendo de difícil acesso itens que foram identificados apenas na visita técnica. Essas atividades foram realizadas para o entendimento de um processo pericial, com a intenção de iniciar o debate e as discussões para que surjam críticas e contribuições, de forma que, possa-se expandir, fortalecer os conhecimentos e procedimentos para a atuação pericial em casos tão impactantes para a sociedade.

Para futuros trabalhos recomenda-se que sejam analisados o históricos dos manuais de manutenção dos objetos de estudo, para que seja possível averiguar de forma técnica os motivos que ocasionaram os rompimentos das barragens, assim

como verificar os sinais dados pela estrutura e documentados, antes dos sinistro ocorrer, para que possa ser possível fazer uma metodologia que auxilie na previsão de possíveis rompimentos de barragens de rejeitos.

Como completo do trabalho futuro indicado anteriormente, recomenda-se que seja desenvolvido uma metodologia de análise de dados dos critérios de riscos de barragens demonstrando a importância de todos os elementos de monitoramento necessário para verificar a estabilidade continua de uma barragem, descrevendo os custos de instalações e manutenções de cada um e explicando suas vantagens e desvantagens e as modificações de monitoramento de acordo com método construtivo da barragem.

REFERÊNCIAS

ANM [Agência Nacional de Mineração]. Disponível em:<<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens>>. Acesso em: 26 outubro 2021a.

ANM [Agência Nacional de Mineração] Report Mensal Barragens de mineração. Outubro/2021. Disponível em:<<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-de-barragens-de-mineracao/arquivos/report-mensal-outubro-1.pdf>>. Acesso em: 26 outubro 2021b.

ARAUJO, Cecília Bhering. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13752:1996 – **Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro. 1996.

BATATAGIN, Inês Laranjeira da Silva. Norma não é lei, mas por força da lei é obrigatória. 2014. Disponível em:<<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=3077#.YXipEZ7MJPY>>. Acesso em: 26 outubro 2021.

BRASIL, **Código de Processo Penal**. 19. Ed. São Paulo: 2004.

BRASIL. LAUDO DE PERICIA CRIMINAL N° 1070/2019 – SETEC/SR/PF/MG. 2019. Disponível em:<https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/wp-content/uploads/sites/41/2019/11/laudo_1070_2019_setec_sr_pf_mg_assinado-2.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2021.

BRASIL. Lei nº 3.689, de 03 de outubro de 1941. Cria, o Processo penal. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL. Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966. Regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL. Lei nº 6496, de 07 de dezembro de 1977. Institui a " Anotação de Responsabilidade Técnica " na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia; autoriza a criação, pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA, de uma Mútua de Assistência Profissional; e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL. Lei nº 7.270, de 10 de dezembro de 1984. Acrescenta Parágrafos ao art. 145, da Lei nº 5.869, de 11 de janeiro de 1973. Institui o Código de Processo Civil. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL. Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015. Altera o Código de Processo Civil. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL. Lei nº 14.055, de 07 de janeiro de 2008 (BRASIL, 2008). Cria, no Sistema de Segurança Pública Estadual, a Perícia Forense do Estado do Ceará - PEFOCE, e dá outras providências. *Diário Oficial do Ceara, Fortaleza*.

BRASIL. **Manual de orientação de quesitos da perícia criminal**. 1ª Ed. Brasília. 2012. Disponível em:<<http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2016/03/Manual-de-orienta%C3%A7%C3%A3o-de-quesitos-da-per%C3%ADcia-criminal.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2021.

BRASIL. Resolução nº 14, de 11 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a caracterização de crimes ocorridos em Mariana/MG e na Bacia do Rio Doce. *Diário Oficial da União, Brasília*.

BRASIL Resolução nº 345, de 27 de julho de 199. Dispõe quanto ao exercício por profissional de Nível Superior das atividades de Engenharia de Avaliações e Perícias de Engenharia. *Diário Oficial da União, Brasília*.

CAPRARO, Luiz. **Por que se tornar um Perito em Engenharia?**, 2018. Disponível em:< <https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/por-que-se-tornar-um-perito-em-engenharia/>>. Acesso em: 20 setembro 2021.

CARRARO, Carolina Lemos. **Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências**. 2010.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração—uma revisão**. HoloS, v. 8, p. 77-85, 2016.

CARVALHO, Géssica Borges. **Incidências de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito**. 2018.

CBDB. Ação de esclarecimento do CBDB junto à imprensa - **Quem é o COMITÉ BRASILEIRO DE BARRAGENS – CBDB**. Disponível em:<<http://cbdb.rarolabs.com.br/acao-de-esclarecimento-do-cbdb-junto-a-imprensa-quem-e-o-comite-brasileiro-de-barragens-cbdb>>. Acesso em: 26 outubro 2021.

COTA, Guilherme Eduardo Macedo; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães. **Panorama das barragens de rejeito de minério no Quadrilátero Ferrífero (MG) e suas implicações para a segurança hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG**. GeoTextos, 2021.

DE OLIVEIRA REIS, Matheus et al. **Panorama dos rompimentos de barragens de rejeitos de minério no mundo**. 2020.

DE OLIVEIRA, Maxwell Ferreira. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. **Universidade Federal de Goiás. Catalão—GO**, 2011.

DEUTSCH, Simone Feigelson. **Perícias de engenharia: a apuração dos fatos**. EDITORA LEUD, 2014.

DEUTSCH, Simone Feigleson. **Perícias de engenharia**: Apuração dos fatos. 2ª ed. 2013.

DIESSEE. **A Construção Civil e os Trabalhadores**: panorama dos anos recentes. São Paulo, 2020. Disponível em: < <https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2020/estPesq95trabconstrucaocivil/index.html?page=1>>. Acesso em: 31 agosto 2021.

ELALI, Bárbara Nóbrega. **O perito judicial de engenharia no novo Código de Processo Civil**, 2017. Disponível em:< <https://qbb.adv.br/artigos/artigo-o-perito-judicial-de-engenharia-no-novo-codigo-de-processo-civil/>>. Acesso em: 20 setembro 2021.

FERREIRA, Aurelio Buarque de Holanda. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5.ed. Curitiba: Positivo, 2010.

GODOI, Christiane K. MATTOS, Pedro Lincoln. Entrevista qualitativa: instrumento de pesquisa e evento dialógico. In: **Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais**. Saraiva, 2006, p. 301-322

GOMIDE, Tito. Et al. **Manual De Engenharia Diagnóstica** - 2a. Edição. São Paulo: Leud, 2021.

GOMIDE, Tito; NETO, Jerônimo; GULLO, Marco. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**. São Paulo: Editora PINI, 2006.

GOMIDE, Tito; PUJADAS, Flávia; NETO, Jerônimo. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção X valorização patrimonial, análise de risco. São Paulo: Editora PINI, 2006.

IBRAOP. 2021. Disponível em:< <http://www.ibraop.org.br/sinaop18/P2ApresentaCasoSamarcoSidneyThalles.pdf>.2018>. Acesso em: 02 setembro 2021.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS. **Lessons from Dam Incidents**. Paris: ICOLD, Reduced Edition, 1973.

LEITE, Sérgio Ribeiro. Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy. 2019.

MATURANO. 2012. Informação e diálogo: Vale apresenta estrutura de barragens no Pará. Disponível em:< <https://correiodecarajas.com.br/informacao-e-dialogo-vale-apresenta-estrutura-de-barragens-no-para/>>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa online**. Disponível em: < <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 31 agosto 2021.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. 2021. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/o-desastre>

NASCIMENTO, Isa Rosete Mendes Araujo. **Estudo sócio-ambiental dos efeitos de barragens na área de proteção ambiental da baixada maranhense: o caso do lago cajari**, Penalva-MA, 2006.

POLÍCIA FEDERAL – **Laudo 994/2016-SETEC/SR/PF/MG**. Perícia Criminal. 2016. 538 páginas (sobre Fundão).

POLÍCIA FEDERAL – **Laudo 1070/2019-SETEC/SR/PF/MG**. Perícia Criminal. 2019. 207 páginas (sobre Feijão).

R7. **Imagens aéreas mostram antes e depois da tragédia de Brumadinho**. 2019. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/minas-gerais/fotos/imagens-aereas-mostram-antes-e-depois-da-tragedia-de-brumadinho-28012019#/foto/6>>. Acesso em: 17 novembro 2021.

REIS, Lucas Vinícius Nogueira. **Contribuição metodológica à engenharia diagnóstica para aplicação à conservação da infraestrutura rodoviária: estudo de caso da sinalização da sp 310 – rodovia washington luís**. 2020.

REIS, MÔNICA SILVA DOS et al. **A importância do monitoramento e controle de barragens em mineradoras**. 2020.

RODRIGUES, Luíz Gustavo Miguel. **Estudos das causas, impactos e legislação relacionadas ao rompimento de barragens de rejeitos no Brasil**. 2019.

SOUSA, Sara. **Perito criminal: aplicação das engenharias para elucidação de diversos tipos de ocorrência**, 2021. Disponível em:<<https://www.pefoce.ce.gov.br/2021/06/22/perito-criminal-aplicacao-das-engenharias-para-elucidacao-de-diversos-tipos-de-ocorrencias-criminais/>>. Acesso em: 31 agosto 2021.

TESTA, Davi Desimon. **O que é a Engenharia Forense?**, 2018. Disponível em:<<https://www.engenheirodavidtesta.com.br/engenharia-forense>>. Acesso em: 31 agosto 2021.

VALE **Qual a importância da mineração para a economia do país?**. 2017. <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/qual-a-importancia-da-mineracao-para-a-economia-do-pais.aspx>>. Acesso em: 26 outubro 2021.

WISE. Uranium Project 2021. Disponível em:< <https://www.wise-uranium.org/mdafu.html>>. Acesso em: 02 setembro 2021.