

# Guia de boas práticas IO/PAE

---

guia de boas práticas de  
implementação e operacionalização  
de plano de ação de emergência de  
barragens



# **GUIA DE BOAS PRÁTICAS**

implementação e operacionalização  
de plano de ação de emergência de  
barragens

---

1ª Edição

Novembro  
2023

## HIDROBR

A HIDROBR é uma empresa focada em soluções de engenharia e nasceu com o objetivo de fornecer a seus clientes projetos integrados, inovadores e sustentáveis, por meio da geração de valor e da promoção do desenvolvimento do negócio.

Desde 2013 a empresa atua nos setores de Mineração, Saneamento, Energia e Infraestrutura, oferecendo capacidade técnica, inovação, colaboração, comprometimento e sustentabilidade em todos os seus projetos.

Nosso quadro técnico conta com uma equipe experiente, com atuação na iniciativa privada, setor público e acadêmico, nacional e internacional. Possui sólida base técnica e de gestão, além de formação diversificada, compreendendo mais de 150 profissionais.

Atualmente, a empresa desenvolve trabalhos em cinco temáticas principais, Recursos Hídricos, Saneamento, Geotecnia, Meio Ambiente/Sustentabilidade e Tecnologia, as quais se complementam para desenvolvimento dos produtos gerados pela HIDROBR.

Para mais informações sobre a HIDROBR,  
visite o site [www.hidrobr.com](http://www.hidrobr.com)



### Diretoria

Vítor Lages do Vale

Vitor Carvalho Queiroz

João Paulo Costa Andrade

## Créditos

Esta publicação é resultado da consolidação da experiência do time da HIDROBR na elaboração, Implementação e Operacionalização de Plano do Ação de Emergência (IO/PAE) ao longo dos últimos anos, e das contribuições dos participantes do Workshop organizado pela HIDROBR em 16 de maio de 2023 sobre o tema.

## Coordenação Geral

Vítor Lages do Vale

## Organização

Andreia Schypula e Vítor Lages do Vale

## Autores

Andreia Schypula

Anna Marina do Couto Santos

Artur Cerveira Bertone

Breno Aguiar Rimulo

Bruno Freire Maia Rodrigues Costa

Camila Ebbers Fabiani Giantomaso

Clara Demattos Nogueira

Frederico Campos Viana

Giovanna Oliveira Carvalho

Henrique Pereira Barcelos

Lucas Martins Machado

Matheus Pascoal de Freitas

Paula Ferreira Castro

Stella Braga de Andrade

## Arte e diagramação

Alessandra Gava

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guia de boas práticas de implementação e  
operacionalização de plano de ação  
de emergência de barragens [livro eletrônico] /  
organização Andreia Schypula, Vítor Lages do  
Vale. -- Belo Horizonte, MG : HIDROBR -  
Soluções Integradas, 2023.  
PDF

Vários autores.  
ISBN 978-65-981841-0-0

1. Barragens 2. Desastres ambientais 3. Emergência  
4. Medidas de segurança I. Schypula, Andreia.  
II. Vale, Vítor Lages do.

23-179837

CDD-627.8

### Índices para catálogo sistemático:

1. Barragens : Acidentes : Prevenção : Engenharia  
civil 627.8

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

# SUMÁRIO

---

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>07</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>10</b>
<b>1 O GUIA DE BOAS PRÁTICAS</b>	<b>11</b>
1.1 O que é a Implementação e Operacionalização do Plano de Ação de Emergência (IO/PAE)	12
1.2 Metodologia de construção do Guia	13
<b>2 PERSPECTIVA LEGAL DO PAE</b>	<b>15</b>
2.1 Breve histórico legal da implementação e operacionalização do PAE	16
2.2 Avaliação de Conformidade e Operacionalidade – ACO	18
<b>3 PERSPECTIVA AMBIENTAL DO PAE</b>	<b>20</b>
3.1 Rompimento da Barragem de Fundão – Um desastre ambiental	21
3.2 O desafio da linha de base	22
3.3 A resposta legal	23
3.4 A componente ambiental do PAE em Minas Gerais – Seção 3	24
3.5 O impacto da prevenção de impacto	25
3.6 Um caminho	26
<b>4 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGENS</b>	<b>28</b>
4.1 A importância do Estudo de ruptura hipotética de barragens para o PAE	29
4.2 Como deve ser realizado	30
4.2.1 Limitações Técnicas	30
4.2.2 Contexto histórico e legislação de estudos de ruptura hipotética	30
4.2.3 Desenvolvimento dos estudos de ruptura hipotética	32

## **5 IMPLEMENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO - IO/PAE** ..... **42**

5.1 Rotas de fuga e Pontos de encontro.....	43
5.2 Cadastro populacional.....	44
5.3 Treinamentos <i>tabletop</i> .....	47
5.3.1 O que é um exercício <i>tabletop</i> .....	47
5.4 Seminários Orientativos.....	50
5.4.1 O que é um seminário.....	50
5.5 Exercícios simulados.....	51
5.5.1 O que é um simulado.....	51

## **6 BOAS PRÁTICAS TECNOLÓGICAS** ..... **54**

6.1 Dispositivos de Notificação.....	55
6.1.1 Dispositivo de Notificação Individual (DIN).....	55
6.1.2 Sinore.....	56
6.2 Dispositivos de Gestão de Risco.....	56
6.2.1 PROX.....	57
6.2.2 Alerta de Barragem.....	58



# APRESENTAÇÃO

O Guia de Boas Práticas da Implementação e Operacionalização do Plano de Ação de Emergência (IO/PAE) surgiu da necessidade de se aprofundar os conhecimentos sobre o tema, ampliando a discussão para todos os atores dos setores de segurança de barragens.

Tendo em vista a recente discussão sobre a implementação e operacionalização dos PAEs, tomando por base as normativas legais que tratam sobre o assunto, sobretudo para o setor da mineração, a HIDROBR realizou um evento com a participação de atores com interface com o tema.

Desde o início do planejamento do evento, o objetivo foi a construção deste Guia de Boas Práticas, não como um documento estanque e conclusivo sobre o tema, mas a ser construído e complementado de forma conjunta.

---

## O evento

O “Workshop Plano de Ação de Emergência de Barragens – Desafios para a Implementação e operacionalização do PAE” foi realizado no dia 16 de maio de 2023 em Belo Horizonte/MG. O evento contou com a participação de mais de 60 profissionais dos setores de mineração, energia, consultores e advogados envolvidos com PAE em diferentes instituições, sendo elas: Alcoa, CBA, Cemig, Chesf, CSN, ERO BRAZIL, Jaguar Mining, J.Mendes, Kinross, Mosaic, NEC/BEI, Taboca, Usiminas, Vale e Vallourec, além da participação do Luiz Paniago Neves, Superintendente em Segurança de Barragens de Mineração da ANM.

Foram cinco apresentações temáticas de curta duração, nas quais os temas foram inseridos com o levantamento de alguns tópicos para discussões. Após as apresentações, os participantes se reuniram em grupos.

Os temas discutidos e seus devidos apresentadores foram os seguintes:

**Perspectiva Legal do PAE**

Giovanna Carvalho e Bruno Costa  
(William Freire Advogados Associados)

**Perspectiva Ambiental do PAE**

Frederico Campos Viana (HIDROBR)

**Estudos de Ruptura Hipotética de Barragens**

Stella Braga de Andrade (HIDROBR) e  
Anna Marina do Couto Santos (HIDROBR)

**Desenvolvimento e Operacionalização do PAE**

Maria Lúcia Furtado Coelho Campos (Mosaic Fertilizantes),  
Caroline Fávoro Oliveira Valera (Mosaic Fertilizantes) e Nilson  
Bigogno (Companhia Brasileira de Alumínio)

**PAE e Tecnologia**

Priscila Ferracini (Companhia Brasileira  
de Alumínio) e Bruno Kaoru Onohara Neto  
(Companhia Energética de Minas Gerais);

**Apresentação ANM**

Luiz Paniago Neves - Superintendente de Segurança de  
Barragens de Mineração na Agência Nacional de  
Mineração (ANM)

Todas as discussões foram registradas pela HIDROBR em anotações durante as temáticas. Essas anotações foram agregadas, organizadas e separadas por temas. Os principais tópicos, discussões, dúvidas, reflexões e apontamentos foram organizados e fomentaram as pesquisas realizadas pelo time da HIDROBR. Os resultados deste trabalho formam este Guia de Boas Práticas.

Foram utilizadas metodologias consolidadas para a classificação das informações e embasamento das boas práticas, conforme é apresentado no primeiro capítulo deste guia.

Assim como o evento, o Guia está dividido pelas temáticas e apresenta as boas práticas de Implementação e Operacionalização do Plano de Ação de Emergência (IO/PAE). As abordagens são a perspectiva legal, ambiental, os estudos de ruptura hipotética, a implementação e operacionalização em si, além do uso da tecnologia. Em cada capítulo estão apresentadas as Boas Práticas identificadas.

## Colaboradores

Este Guia de Boas Práticas contou com a colaboração dos participantes do Workshop, que contribuíram com suas experiências nas discussões que convergiram neste documento:

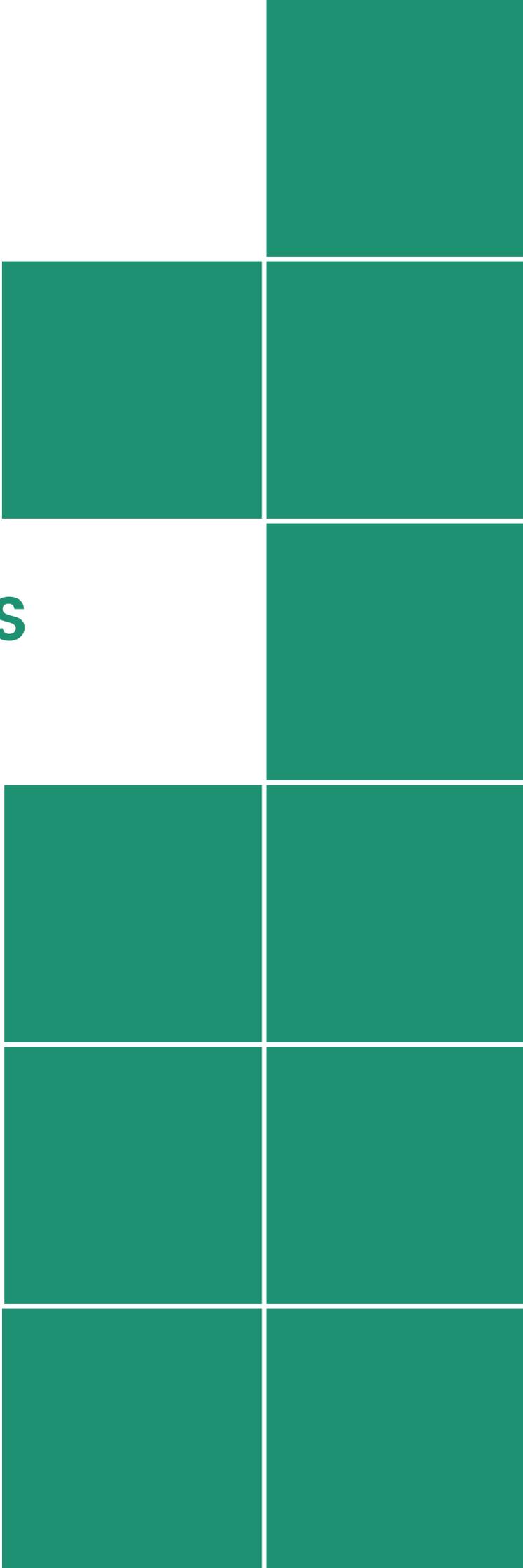
- Adrielly Ferreira (CSN)
- Aline Maria Guimarães Gonzaga (Jaguar Mining)
- Anderson Sandro Vicente (Usiminas)
- Bruno Kaoru (Cemig)
- Caroline Favaro Oliveira (Mosaic)
- Cynthia Aguiar (CBA)
- Daniel Rocha (Kincross)
- Dirley Rodriguez (CSN)
- Eduardo Galliac (Taboca)
- Elaine Yumi Notoya (ERO BRAZIL)
- Fabio Leonelo (ERO BRAZIL)
- Fernanda Vieira da Silva (ERO BRAZIL)
- Fernando Sousa de Almada (ERO BRAZIL)
- Fillipy Xavier (NEC/BEI)
- Flávio Amorim (Mosaic)
- Gilberto Xavier Junior (ERO BRAZIL)
- Henrique Sene (CBA)
- Ian Henrique Pires (Usiminas)
- Iuri Pinto Mascarenhas (Jaguar Mining)
- Jacileia Aparecida (CSN)
- Jaqueline Fernandes (CSN)
- Joice Milonas (Vale)
- Jonathan Gurgel (J.Mendes)
- Juliana Pena (NEC/BEI)
- Karina Amaral (Kincross)
- Larissa Macedo (Kincross)
- Luiz Sergio Sieber Padiha (Chesf)
- Marailza Gomes Félix Almeida (ERO BRAZIL)
- Márcio Melo (J.Mendes)
- Maria Lucia Campos (Mosaic)
- Mariana Pessoa Mendes (Chesf)
- Monique Gonçalves (Alcoa)
- Mylena Tormam (CBA)
- Natalia Selvatti (CBA)
- Nilson Bigogno (CBA)
- Noemi Costa (NEC/BEI)
- Patricia Neves (Chesf)
- Patrícia Teixeira (Vallourec)
- Priscila Ferracini (CBA)
- Rayssa Garcia (Jaguar Mining)
- Renato Constancio (Cemig)
- Renato Silva (Jaguar Mining)
- Rodrigo Campos Ludges (NEC/BEI)
- Rogerio Santana da Cruz (Jaguar Mining)
- Romeu Castro (Mosaic)
- Saulo Guimarães (J.Mendes)
- Simone Coelho (Vale)
- Thais Laguardia (ERO BRAZIL)
- Thiago Vieira de Aragão (Chesf)
- Túlio Almeida Lage (NEC/BEI)
- Tutimés Tavares (Taboca)
- Vanúbia Fialho (Vale )
- Wagdo Braga Gomes (CBA)

## Agradecimentos

A HIDROBR agradece a todos os colaboradores acima citados por suas contribuições nas discussões das temáticas. Um agradecimento especial à equipe do escritório William Freire Advogados Associados: Giovanna Carvalho e Bruno Costa, pelo interesse em fazer parte deste projeto e por todas as importantes contribuições antes e durante o Workshop, assim como na elaboração da parte legal deste Guia.

Agradecemos também a todos os colaboradores da HIDROBR que estiveram no Workshop, se engajaram na elaboração deste Guia, e aos demais colaboradores por sua participação indireta, o que viabilizou a concretização destes eventos.

À ANM, um agradecimento pela disponibilidade em participar de maneira ativa, sanando dúvidas e apresentando as expectativas da agência. A responsabilidade institucional e transparência do órgão contribuem também para fomentar boas práticas no setor.



# 1 O GUIA DE BOAS PRÁTICAS

---

*Autora: Andreia Schypula*

## 1.1 O que é a Implementação e Operacionalização do Plano de Ação de Emergência (IO/PAE)

A palavra implementação remete à execução, colocar em prática, tornar funcional. Já a operacionalização, apesar de soar muito semelhante, traz outra face da ação, pois se refere ao ato de tornar algo possível de ser implementado, ou tornar alguém apto a implementar. Em suma, operacionalizar e implementar são ações complementares.

Dito isso, entendemos que as ações de Implementação e Operacionalização do Plano de Ação de Emergência (IO/PAE) têm por objetivo tornar o plano prático e funcional, ou seja, tirar as ideias do papel para que de fato sejam executadas, efetivando as ações propostas.

Não são só os PAEs que carecem de implementação, sendo tal necessidade comum aos instrumentos de planejamento quando há falta de diretrizes claras que subsidiem o caminho da ação. Isso ocorre porque a implementação e a operacionalização podem divergir de acordo com a interpretação, se as premissas não estão claras.

O livro [Governança de Recursos Hídricos no Brasil \(2015\)](https://doi.org/10.1787/9789264238169-pt), publicado pela OCDE, aborda esta dificuldade em se implementar instrumentos de planejamento, sobretudo em relação aos Planos de Bacia Hidrográfica, pois avalia que estes planos carecem de coordenação na tomada de decisões. Este é um exemplo de como planos podem se tornar documentos curriculares, se não forem desenvolvidos voltados à sua implementação.

*OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Governança dos Recursos Hídricos no Brasil. <<https://doi.org/10.1787/9789264238169-pt>>. Paris, 2015. 307 p.*

No caso dos PAEs, desenvolvidos para a segurança das barragens, houve uma série de acontecimentos que contribuíram para o aprimoramento desta ferramenta, como abordado no próximo item. As lições aprendidas subsidiaram os órgãos públicos a acurarem suas normativas, bem como a desenvolverem e consolidarem seus papéis dentro da Política Nacional de Segurança de Barragens, que completa no ano de 2023 seus 13 anos de vigência, ou seja, uma legislação relativamente recente.

Para que um plano seja implementado, o documento precisa ser elaborado com informações claras e objetivas, com ações e metas bem descritas, ponderadas no tempo, e apontar os recursos humanos, físicos e financeiros necessários para a sua eficácia.

O grande desafio do PAE consiste em estabelecer ações para situações pré-definidas, isso porque o plano é o documento base para caso a barragem venha a sofrer alguma emergência. A legislação determina que o PAE seja configurado para o cenário de maior dano em caso de ruptura da barragem, ou seja, o pior cenário levantado pelo estudo de ruptura hipotética.

Contudo, na prática, a estrutura pode passar por anomalias com impactos de menores proporções ou mesmo modos de falha diferentes daquele que foi considerado como pior cenário. São

inúmeras possibilidades e é impossível construir um documento que contemple todas as situações possíveis. Sendo assim, o PAE busca ser um documento que compila ações necessárias que possam se encaixar para o pior cenário, sempre considerando como população atingida aquela presente na maior mancha de inundação, independente da anomalia detectada.

Assim, a implementação do PAE se refere à elaboração de um documento construído de maneira estruturada e coerente com o contexto da barragem, com informações claras, contatos atualizados, responsabilidades bem estabelecidas para cada ação, recursos físicos mapeados e respostas para todas as exigências legais. Enquanto a operacionalização do PAE se refere aos treinamentos internos e externos, com comunicação efetiva com moradores da mancha de inundação, realização simulados de emergência, treinamento de funcionários e terceirizados.

## 1.2 Metodologia de construção do Guia

O início deste Guia de Boas Práticas se deu pela realização de um evento específico para discussão do tema, que reuniu diversos atores envolvidos com PAE dos setores de mineração, energia, consultoria e advogados.

O *workshop* foi realizado durante o dia 16 de maio de 2023 em Belo Horizonte. Foram mais de 60 participantes ao total e cinco rodadas de apresentações temáticas: perspectiva legal, ambiental, estudo de ruptura hipotética, uso de tecnologia (estudos de caso) e desenvolvimento e operacionalização (estudos de caso). Ao final, o Superintendente de Segurança de Barragens de Mineração da ANM, o Sr. Luiz Paniago Neves, realizou uma apresentação da instituição e respondeu aos questionamentos dos participantes.

Após cada uma das apresentações, os participantes foram divididos em 18 mesas de discussões com representantes de diferentes empresas em cada grupo, sendo rotacionados a cada par de ciclo de apresentações, ampliando assim a diversificação dos grupos ao longo do dia. Os participantes discutiram livremente sobre as temáticas, mediados por representantes da HIDROBR que anotavam os resultados das discussões. Ao final, estas notas foram compiladas e organizadas para servirem de subsídio para elaboração deste documento.

*Strengths*  
(Forças),  
*Weaknesses*  
(Fraquezas),  
*Opportunities*  
(Oportunidades)  
e *Threats*  
(Ameaças)

A HIDROBR utilizou da metodologia de matriz **SWOT** como ferramenta de análise para classificar os comentários das discussões. A classificação se deu em relação às fraquezas e ameaças da IO/PAE, ou seja, quais são as **vulnerabilidades**, principais dúvidas ou problemas que podem comprometer a implementação de um PAE; e quais são as oportunidades e forças, que podem significar **boas práticas** já utilizadas ou potenciais.

As vulnerabilidades foram assim classificadas por se tratarem de incertezas, enquanto as boas práticas foram embasadas conforme o conceito de Governança.

A Governança é um conjunto de processos e práticas com o objetivo de tornar a gestão mais efetiva. Seus quatro princípios são:



Os princípios de governança nortearam a seleção das Boas Práticas indicadas neste Guia. Cada boa prática aqui descrita contribui com no mínimo um dos princípios do processo de gestão do PAE, facilitando a efetivação de sua implementação e operacionalização.

Nos capítulos a seguir estão apresentadas as perspectivas de um Plano de Ação de Emergência (PAE) e, em cada uma delas, estão descritas as dificuldades percebidas por seus agentes, as boas práticas já implantadas ou as que podem ser praticadas.

# 2 PERSPECTIVA LEGAL DO PAE

---

*Autores: Andreia Schypula, Bruno Costa e  
Giovanna Carvalho*

## 2.1 Breve histórico legal da implementação e operacionalização do PAE

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi instituída em 2010 por meio da Lei 12.334, que também criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Antes da criação desta norma, a gestão da segurança de barragens não dispunha de uma normativa nacional específica, ficando a cargo da Política Nacional de Recursos Hídricos. A Lei 12.334/2010 alterou a Lei 9.433/1997 para incluir à competência do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) as diretrizes para implementação da PNSB. Assim, a temática de segurança de barragens passou a dispor de uma normativa clara e específica.

A partir da criação da PNSB, se estabeleceu o documento do Plano de Ação de Emergência para barragens. Em um primeiro momento, a exigência do PAE era estabelecida apenas para os casos de barragens classificadas como de **DPA** alto.

Visando regulamentar as disposições da PNSB, o então Departamento Nacional de Produção Mineral (**DNPM**) publicou a Portaria DNPM 416/2012, que criou o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispôs sobre o Plano de Segurança de Barragens, e a Portaria DNPM 526/2013, que estabeleceu a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do **PAEBM**.

Após o acidente na Barragem de Fundão (2015), em Mariana/MG, e observando as questões relacionados ao PAE que poderiam ser melhoradas, algumas medidas legais foram tomadas. A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil estabeleceu, por exemplo, o “Caderno de orientações para apoio à elaboração de Planos de Contingência Municipais para barragens” na Portaria 187/2016, com o objetivo de dar subsídio aos estados e municípios para a elaboração de planos de contingência que contem com rotas de fuga para as localidades atingidas a jusante das barragens, pontos de encontro em local seguro, sistemas de alerta e monitoramento etc.

Já o DNPM publicou a Portaria DNPM 14/2016, estabelecendo prazo para comprovante de entrega das cópias físicas do PAEBM para as prefeituras e defesas civis municipais e estaduais, e a Portaria DNPM 70.389/2017, modificando os critérios de conteúdo mínimo para o PAEBM, estabelecendo novas obrigações relacionadas ao documento e criando o Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por sua vez, publicou a Resolução Normativa 696/2015, que estabeleceu para as barragens fiscalizadas pelo órgão que o PAE deveria ser parte integrante do Plano de Segurança de Barragens (PSB) quando a estrutura fosse classificada como A ou B, de acordo com os critérios definido no Anexo I da norma – em síntese, barragens com DPA ou **CRI** altos.

*DPA – Dano Potencial Associado: dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas, impactos sociais, econômicos e ambientais (Resolução ANM 95/2022).*

*O departamento foi substituído pela ANM por meio do Decreto 9.587, de 2018*

*Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração*

*CRI – Categoria de Risco: classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre, levando-se em conta as características técnicas, o método construtivo, o estado de conservação, a idade do empreendimento e atendimento ao Plano de Segurança da Barragem (Resolução ANM 95/2022).*

Em 2019, ocorreu o acidente na Barragem BI da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG, atraindo algumas modificações normativas no âmbito da ANM, que publicou ainda no mesmo ano as Resoluções ANM 04/2019 e 13/2019, as quais versaram, principalmente, sobre medidas regulatórias para barragens alteadas pelo método a montante e com DPA alto.

Em 2020, a PNSB também foi alterada pela Lei 14.066/2020, que passou a exigir a “implementação” e “operacionalização” do PAE antes do primeiro enchimento do reservatório, além da realização de *“reuniões com as comunidades para a apresentação do plano e a execução das medidas preventivas nele previstas, em trabalho conjunto com as prefeituras municipais e os órgãos de proteção e defesa civil.”*

A PNSB também determinou que o empreendedor e os órgãos de defesa civil devem se articular para promover e operacionalizar os procedimentos emergenciais previstos no PAE, sendo que tais órgãos devem ser ouvidos para a elaboração do Plano de Ação de Emergência quanto às medidas de segurança e aos procedimentos de evacuação.

Além disso, a Lei 14.066/2020 complementou o conteúdo mínimo do PAE, passando a constar, entre outras coisas, itens como o levantamento cadastral e mapeamento da população existente na Zona de Autossalvamento (ZAS), a instalação de sistema sonoro de alerta e as medidas específicas para resgate de pessoas e animais, mitigação de impactos ambientais, garantia de abastecimento de água potável e resgate/salv guarda do patrimônio cultural. Ademais, com a revisão periódica do PAE sendo expressamente exigida pela Lei 14.066/2020, foram adicionadas hipóteses de revisão do documento às já previstas pela Portaria DNPM 70.389/2017.

Outra normativa relevante e aplicável ao PAE foi a Resolução ANM 51/2020, que passou a exigir a Avaliação de Conformidade e Operacionalidade (ACO) por meio da elaboração de um Relatório de Conformidade e Operacionalidade (RCO) e de uma Declaração de Conformidade e Operacionalidade (DCO).

Ao consolidar seus atos normativos relacionados à segurança de barragens de mineração na Resolução ANM 95/2022, a ANM manteve as previsões legais existentes até então e criou obrigações adicionais, expandido o conteúdo mínimo do PAEBM e aumentando o detalhamento do mapa de inundação. Em 2023, a Resolução ANM 130/2023 fez algumas alterações pontuais, inclusive em relação ao mapa de inundação exigível para barragens com DPA baixo ou médio (sem pontuação 10 nos itens “população a jusante” ou “impacto ambiental”).

A ANEEL, também visando adaptar suas normas às novas previsões da PNSB, publicou a Resolução Normativa 1.064/2023, incorporando as obrigações criadas pela Lei 14.066/2020 e revogando a Resolução Normativa 696/2015.

*Da PNSB, ZAS:  
Trecho do vale  
a jusante da  
barragem em  
que não haja  
tempo suficiente  
para intervenção  
da autoridade  
competente  
em situação  
de emergência,  
conforme mapa  
de inundação.  
Sendo assim, os  
moradores devem  
se deslocar a um  
local seguro ao  
serem alertados da  
emergência, onde  
serão resgatados.*

Em linha similar, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) editou a Resolução ANA 121/2022, em complemento à Resolução ANM 236/2017, para contemplar as modificações da Política Nacional de Segurança de Barragens para as barragens de água localizadas em rios de domínio da União (não utilizadas para geração de energia hidrelétrica).

## 2.2 Avaliação de Conformidade e Operacionalidade - ACO

A normativa legal mais significativa em termos de Implementação e Operacionalização de PAE é a Resolução ANM 95/2022, complementada e alterada pela Resolução ANM 130/2023.

Nessa norma, há os conceitos legais de *(i) conformidade*, a qual deverá ser atestada pela conferência dos PAEs em relação ao conteúdo mínimo exigido na lei, e *(ii) operacionalidade*, em que se avalia se o plano é efetivo em situação de emergência. Tais conceitos são avaliados anualmente por equipe externa multidisciplinar, com o objetivo de ser confirmado se o PAE atende aos itens formais e se é eficaz nas medidas que propõe – sendo feita, assim, a Avaliação de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM (ACO).

A ACO é composta pelo Relatório de Conformidade e Operacionalidade (RCO) e pela Declaração de Conformidade e Operacionalidade (DCO), cujos conteúdos mínimos também são delineados pela Resolução ANM 95/2022.



A conformidade e a operacionalidade são avaliadas no RCO e atestadas pela DCO. A conformidade é verificada por meio da análise se o PAEBM atende ao conteúdo mínimo demandado pela legislação, assim como o mapa de inundação e estudo de ruptura hipotética (*dam break*). Já a operacionalidade é certificada por meio de treinamentos, existência de rotas de fuga adequadas, planos de encontro em locais apropriados etc., pelos quais é avaliado se o PAE está efetivamente operacionalizado para as pessoas envolvidas (funcionários da empresa, órgãos de proteção e defesa civil, comunidade existente na ZAS, entre outros).

A Resolução ANM 95/2022 prevê treinamentos internos e externos. Os treinamentos externos são formados por *(i)* seminários orientativo com a população existente na Zona de Autossalvamento e órgãos públicos, e *(ii)* simulados de emergência, realizados com o apoio da Defesa Civil, nos quais a população potencialmente atingida percorre as rotas de fuga e toma familiaridade com o ponto de

encontro seguro, a ser alcançado em caso de acionamento das sirenes. Já os treinamentos internos previstos são: (i) exercício expositivo, (ii) exercício de fluxo de notificações, (iii) simulado interno hipotético e (iv) simulado interno prático.



Com o resultado do RCO é emitida a DCO, que deve ser inserida no SIGBM e no PSB. A não apresentação da DCO, ou a apresentação de uma DCO negativa (ou seja, que não atesta a conformidade e operacionalidade do PAE), implica o embargo imediato da barragem de mineração e coloca a estrutura automaticamente em situação de alerta.

A Resolução ANM 130/2023 permitiu que os empreendedores de barragens com DPA baixo ou médio (desde que pontuação seja inferior a 10 no item “existência de população a jusante”) possam simplificar o PAEBM, o mapa de inundação e a ACO, ficando dispensados de realizar, por exemplo, o seminário orientativo anual com a comunidade.

## BOAS PRÁTICAS

- Usar como referência normativas mais restritivas.

Devido às lições aprendidas pelo setor de mineração, as normativas da ANM e do estado de Minas Gerais (legislação ambiental, termos de referência e normativas da Defesa Civil estadual) acabam sendo uma referência de boas práticas para os demais setores e estados. Ressalta-se, no entanto, que para o setor de mineração e outras barragens do estado de MG estas são obrigações legais.



# 3 PERSPECTIVA AMBIENTAL DO PAE

---

*Autores: Frederico Campos Viana  
e Henrique Pereira Barcelos*

Como visto, a legislação tem evoluído de forma significativa nos últimos anos, especialmente após os dois últimos rompimentos de barragem que ocorreram no estado de Minas Gerais. Nesse ponto é interessante refletir que os dois rompimentos ressoaram de forma diferente, e produziram mudanças diferentes também.

Para isso é preciso entender que os eventos foram distintos em suas dinâmicas e nos seus impactos ambientais.

### 3.1 Rompimento da Barragem de Fundão – Um desastre ambiental

Em 05 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da Barragem de Fundão, um evento trágico que ocasionou em 19 perdas de vidas humanas e o maior desastre ambiental em extensão até então já registrado. A principal característica do desastre se dá pelo comportamento da onda de rejeitos, que inicialmente de forma abrupta, caminhou da saída da barragem até a usina de Candonga destruindo margens, estruturas, e tudo que se encontrava no trajeto da onda.

No entanto, no caminho da lama, como ficou conhecido o trajeto percorrido pelo rejeito, tinha a usina hidrelétrica Risoleta Neves, popularmente chamada de Candonga, a qual proporcionou o amortecimento da onda de rejeitos, sedimentando parte significativa em seu reservatório e acalmando a onda para dentro da calha do rio, até que chegasse ao mar.

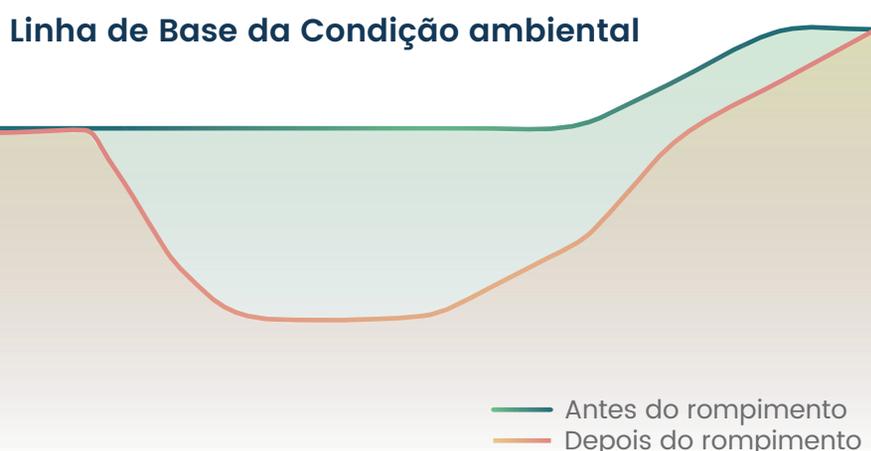
Diversos impactos ambientais foram gerados, em suas diversas complexidades, basta lembrarmos que o rio Doce abrange em sua bacia, povos indígenas, quilombos, comunidades tradicionais caiçaras, indústrias, minerações, cidades e mais uma diversidade de atores que faz com que qualquer tipo de avaliação de impacto se torne altamente complexa.

Com o intuito de se reparar os impactos foi criada a Fundação Renova, uma organização *multistakeholder* que conduziria e centralizaria os esforços do processo de reparação, definido previamente pelo TTAC, um instrumento jurídico firmado entre as empresas sócias da Samarco e instituições do governo federal e estadual.

Terço de  
Transação e  
Ajustamento de  
Conduta, assinado  
em 2016.

## 3.2 O desafio da linha de base

A partir da experiência da Renova, percebeu-se que o desafio da reparação envolveria uma camada de complexidade ainda não explorada ou antecipada pelos atores que elaboraram os instrumentos jurídicos. Até então, os processos de avaliação de impacto eram todos baseados na ideia da linha de base, ou seja, quais eram as condições ambientais antes do rompimento e como elas ficaram após o rompimento, a diferença seria justamente a lacuna a ser trabalhada pela reparação.



Entretanto, com o avançar dos processos e estudos ficou claro que traçar a linha de base se mostrava muito mais um artifício teórico do que prático. Em alguns casos era possível encontrar alguns lampejos de dados, como no caso da qualidade de água do rio Doce, que tinha alguns pontos de monitoramento realizados pelo **IGAM**, contemplando alguns parâmetros básicos para definição do Índice de Qualidade de Água. Também graças a ação rápida e efetiva do **CPRM** foi possível ter dados de curva chave e seção transversal do rio, uma vez que, logo em seguida ao rompimento as equipes passaram na frente da onda e conseguiram coletar dados e informações que posteriormente foram fundamentais na compreensão dos impactos físicos e morfológicos do corpo hídrico.

Instituto Mineiro  
de Gestão  
das Águas

Serviço  
Geológico  
do Brasil

Porém, como determinar qual era a condição de linha de base dos povos Krenak e Tupiniquim que tem seus modos de vida e territorialidade atrelados ao rio?

Como definir qual o impacto econômico na economia informal? Qual o impacto social da interrupção da pesca para comunidades que tinham na pesca a sua ancestralidade? Quais impactos foram sentidos pela fauna silvestre, sem que existam estudos prévios para análise comparativa?

Todas essas questões foram sempre centrais na execução dos trabalhos da reparação, podendo ser simplificadas pela analogia: o processo de reparação é como um acidente de carro, não tem como identificar qual amassado já existia ou qual foi gerado após a batida.

### 3.3 A resposta legal

Em meio a complexidade da reparação do rompimento da barragem da Samarco, ocorre um novo rompimento, da Barragem B1 de propriedade da Vale. Um evento igualmente trágico, contudo, com um número de perdas de vidas humanas significativamente maior, mas com uma área impactada menor.

Diferente do rompimento da Samarco, na qual as discussões se centralizaram no formato do processo de reparação, o rompimento da Vale gerou discussões mais acaloradas acerca da necessidade de revisão dos instrumentos legais sobre a gestão de barragens. Haja visto que o rompimento ocorreu em 2019 e os principais marcos legais vigentes foram promulgados posteriormente.



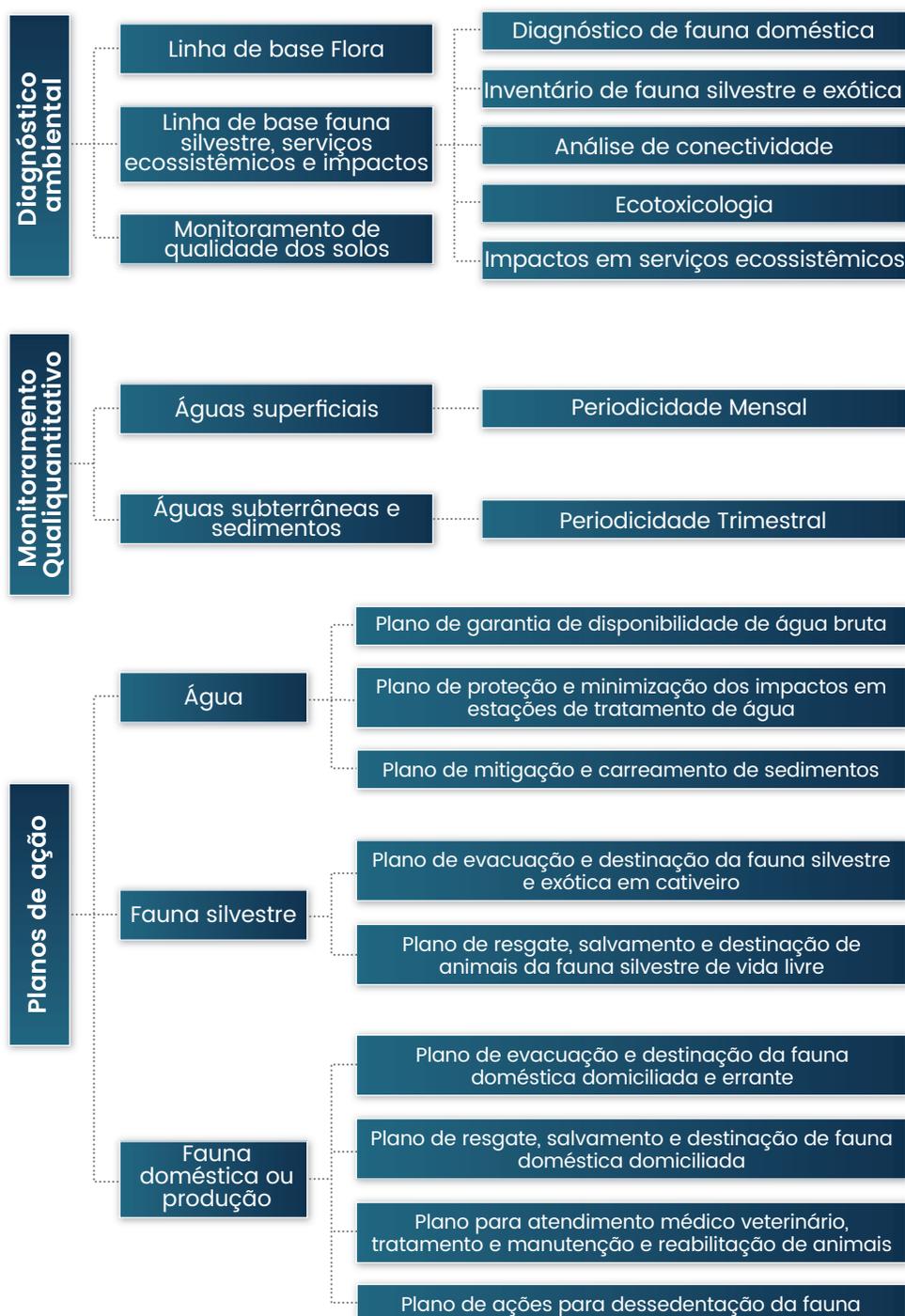
Dessa forma, mudou a perspectiva ambiental do plano de ação emergência que, anteriormente era visto como instrumento que assegurasse a comunicação de estabilidade da barragem e a evacuação da população, e passou a ganhar novo sentido.

Se antes os planos eram compostos basicamente por estudos de ruptura hipotética, rotas de fuga, planos de comunicação, definição e cadastro de zonas de auto salvamento e planos de evacuação, atualmente, e mais especificamente no estado de Minas Gerais, os PAEs são vistos como instrumentos para desenvolvimento de resiliência nas bacias hidrográficas.

### 3.4 A componente ambiental do PAE em Minas Gerais – Seção 3

No estado de Minas Gerais a perspectiva ambiental do PAE ganhou maior robustez no que se refere aos estudos e planos que devem ser elaborados.

Atualmente o processo pode ser dividido em três grandes etapas, diagnóstico ambiental, planos de ação e monitoramento.



Dentre todas as exigências da lei mineira, a que chamou mais atenção até o momento foi a etapa de diagnóstico ambiental. Os estudos de linha de base têm sua origem justamente nos desafios da reparação, quando se argumentava a dificuldade em estabelecer nexos de causalidade entre os impactos observados após o rompimento, com uma linha de base inexistente e para a qual não existiam dados ou informações.

Suprindo essa lacuna o legislador mineiro trouxe um conjunto de instrumentos baseados em normas técnicas internacionais de referência, para serem cumpridas pelas empresas detentoras de barragens. A profundidade e a complexidade dos estudos foi um grande paradigma e trouxe profunda apreensão para o setor como um todo.

Para se ter uma ideia da complexidade, os Estudos de Impacto Ambiental para licenciamento, conhecidos pela sigla EIA, eram até então os estudos ambientais mais complexos, visto a exigência de coleta de dados primários em no mínimo duas campanhas de campo, na estação seca e na chuvosa.

Nos estudos de linha de base é necessário, além do inventariamento da fauna e da flora, realizar análises de ecotoxicologia, que vão desde a coleta de folha, raiz e tronco na flora, até tecido muscular e histopatologia para os diferentes grupos da fauna terrestre.

O intuito era de esgotar ao máximo as possibilidades de descrição das condições ambientais, de modo que, em caso de um rompimento, seja possível atuar com mais assertividade e menos subjetividade.

### **3.5 O impacto da prevenção de impacto**

Porém outro aprendizado dos processos reparatórios é que a prevenção de impacto também gera impacto, e, portanto, o balanço dessa equação precisa ser bem equilibrado, para que não ocorra mais impacto na prevenção de um impacto hipotético do que em caso de rompimento.

Atualmente os estudos de linha de base são elaborados pelas empresas proprietárias de barragem, considerando a abrangência das manchas de inundação decorrentes do estudo de ruptura hipotética. A partir das manchas se estabelece a metodologia de coleta, inventariamento da fauna e a quantidade de indivíduos que serão coletados e eutanasiados para a análise de ecotoxicologia.

A crítica mais contundente aos estudos ambientais de PAEBM em Minas Gerais, decorre justamente do fato de que a quantidade de animais a serem coletados e analisados não é tão explícito no termo de referência, e quando isso ocorre, o risco de se pecar pelo excesso é maior, resultando em uma grande mortandade de animais para a avaliação do estudo.

Soma-se a isso o fato de que não é incomum a existência de vários empreendedores com barragens na mesma bacia hidrográfica, resultando em várias campanhas de coleta e amostragem no mesmo local, por empreendedores diferentes. Atualmente não existe uma diretriz ou recomendação para que os estudos sejam integrados quando estiverem no mesmo vale ou na mesma bacia.

### 3.6 Um caminho

Os desastres ocorridos e seus respectivos processos de reparação mostraram a complexidade que existe nas relações que ocorrem nos territórios. De fato, um dos grandes aprendizados de todos esses processos foi a reafirmação do que já era postulado anos atrás por pesquisadores como Milton Santos. Para o geógrafo, o território pode ser entendido como um espaço habitado, construído e reconstruído pelos homens por meio de suas ações e relações.

Essas relações compreende-se a inserção dos empreendimentos, como minerações, hidrelétricas, indústrias, pescadores, produtores rurais, cidades e toda uma diversa camada de modos de vida que se agrega ao território uma complexidade única.

Dessa forma, percebe-se que é muito difícil recortar as influências e impactos dos empreendimentos no território, como se fossem isolados ou individuais. Considerando que todos atuam no mesmo território, é muito mais eficaz buscar avaliar e planejar as ações de forma integrada, e não cada um em seu vale de jusante.

Sendo assim, um caminho possível para que os PAEs se tornem efetivamente instrumentos que possam garantir segurança para a sociedade e ao mesmo tempo reforçar e desenvolver a resiliência do território, passa necessariamente pela integração dos esforços dos diferentes empreendedores da mesma bacia hidrográfica.

Esse caminho não é fácil, visto que, demandaria coordenação e articulação entre os diversos atores, desde empresas, até a sociedade civil organizada, passando por entes governamentais etc. No entanto, no Brasil os comitês de bacias hidrográficas já exercem esse papel, ainda que de forma tímida e talvez sem a estrutura e recursos necessários, porém institucionalmente já existem e possuem a legitimidade exigida para que possam atuar.

Os CBHs poderiam articular de forma integrada os estudos a serem realizados, reduzindo o impacto das coletas, aumentando a abrangência dos estudos e garantindo que os monitoramentos sejam representativos para toda a condição ambiental da bacia hidrográfica. Uma atuação integrada permitiria inclusive maior capacidade de ação na prevenção, analisando cenários e consolidando as informações oriundas das estruturas, em conjunto com os dados climáticos e ambientais, garantindo assim maior assertividade e capacidade de reação.

Comitês de Bacia  
Hidrográfica

Ainda em cenários de crise, os comitês teriam condições melhores para articular e coordenar a resposta e a gestão da crise em conjunto com os demais órgãos envolvidos, como defesa civil, corpo de bombeiros.

Um velho ditado diz que não existem respostas simples para problemas complexos, considerando que entramos de vez no antropoceno, em que a previsibilidade climática já não mais existe, e que eventos extremos serão cada vez mais frequentes, abraçar a complexidade e buscar integrar os processos no território talvez seja a abordagem mais sensata em meio a tantas incertezas e dúvidas.

## BOAS PRÁTICAS

- Avaliar as informações ambientais disponíveis antes da coleta para amostragem ecotoxicológica, com vistas a aumentar a assertividade e minimizar o impacto das coletas.
- Usar metodologia de amostragem baseada em espécies sentinelas e/ou considerando a dispersão e migração dos indivíduos no ambiente.
- Buscar sempre aproximar os pontos de amostragem dos diversos meios de estudo e realizá-los sempre que possível no mesmo período para garantir maior representatividade dos dados.
- Engajar com entidades e atores da sociedade civil que tenham interesse nas ações do PAE, como os grupos de resgate de animais em desastres.
- Engajar com outras instituições e empresas que também estejam no mesmo vale de jusante, com o intuito de integrar as avaliações.



# 4 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGENS

---

*Autores: Anna Marina do Couto Santos,  
Clara Demattos Nogueira e Stella Braga  
de Andrade*

## 4.1 A importância do Estudo de ruptura hipotética de barragens para o PAE

O estudo de ruptura hipotética de barragens é fundamental para o PAE, uma vez que resulta no mapeamento da inundação sobre determinada região, indicando potencial atingimento, além de gerar resultados de profundidade, elevação, velocidade, risco hidrodinâmico e tempo de chegada da onda.

Os resultados gerados são utilizados no PAE, no processo de planejamento e gestão do risco, incluindo evacuação e resgate da população, resgate da fauna, além de ações de minimização dos impactos ao meio ambiente e patrimônio cultural.

Dessa forma, o estudo de ruptura hipotética tem impacto social, ao subsidiar a definição da área de evacuação, traçado das rotas de fuga e localização dos Pontos de Encontro (PE); além de impacto econômico e ambiental, sendo o impacto ambiental discutido no capítulo 3.

Figura 1 | Impacto do Estudo de ruptura hipotética de barragens no PAE



Frente ao impacto da mancha de inundação no planejamento de ações do PAE e em relação à população potencialmente afetada, este estudo precisa ser desenvolvido com rigor técnico, discussão de critérios e análises de sensibilidade. É necessário que o entendimento das limitações técnicas, que serão discutidas no próximo item, e de modelagem para definição da mancha de inundação sejam incluídas na definição da área de evacuação, tornando assim um estudo que é extremamente técnico, prático do ponto de vista de implementação do PAE.

Gabinete Militar  
do Governador -  
Coordenadoria  
Estadual de  
Defesa Civil

Em termos de área evacuada, tem-se, na Instrução Técnica [GMG/Cedec 01/2021](#), a definição de que *“a rota deve ser traçada da casa mais distante da área segura até 10 metros após a envoltória da mancha de inundação”*. Nesse ponto, podemos citar a primeira vulnerabilidade, em relação a incerteza de qual área deve ser evacuada, sendo importante destacar a diferença entre área de inundação e área de evacuação. Ainda que a IT citada apresente o valor de 10m, não é especificado se esse valor deve ser usado na horizontal ou na vertical, além de que essa legislação se aplica apenas ao estado de Minas Gerais. O subcapítulo 5.1 irá aprofundar na discussão referente às rotas de fuga.

Ressalta-se também o impacto de outro resultado do estudo de ruptura hipotética no PAE, sendo este o tempo de chegada. A Instrução Técnica [GMG/Cedec 01/2021](#) apresenta que *“sendo o tempo de evacuação igual ou superior a chegada da onda de*

*inundação, o PAE somente poderá ser aprovado para acionamento no nível de emergência 2". Além disso, estabelece que, na contabilização do tempo de chegada, é ainda acrescido um tempo de 10 minutos, referente ao pré-movimento, que "compreende o tempo necessário para identificação do alarme, interpretação e organização inicial dentro da residência para saída".*

Dessa forma, fica evidente a importância do estudo de ruptura hipotética para a operacionalização do PAE. Por isso, o próximo capítulo irá apresentar boas práticas e pontos de atenção para o desenvolvimento desses estudos.

## 4.2 Como deve ser realizado

### 4.2.1 Limitações Técnicas

Os estudos de ruptura hipotética de barragem são uma ciência relativamente recente, sendo que não existe para todos os itens que compõe este estudo um consenso nas metodologias a serem adotadas. Nesse contexto, serão apresentadas as etapas da realização de um estudo de ruptura hipotética, principalmente aquelas com maior impacto na mancha de inundação e, conseqüentemente, no PAE, contemplando boas práticas e pontos de atenção.

Entretanto, **ressalta-se que este não se trata de um manual para elaboração de um estudo de ruptura hipotética**, mas sim discussão de aspectos importantes e pertinentes que impactam no Plano de Ação de Emergência. Além disso, é uma ciência em constante desenvolvimento, e as práticas devem ser sempre atualizadas frente à novas conclusões obtidas principalmente de retro análises. Destaca-se ainda que cada caso deve ser avaliado conforme suas particularidades pela empresa projetista responsável pelo estudo e empreendedor responsável pela barragem.

Observamos como vulnerabilidade, em meio à falta de metodologia consolidada e às especificidades de cada estrutura, a adoção de distintas metodologias entre as consultorias, com argumentações técnicas divergentes, o que pode impactar o processo de ACO.

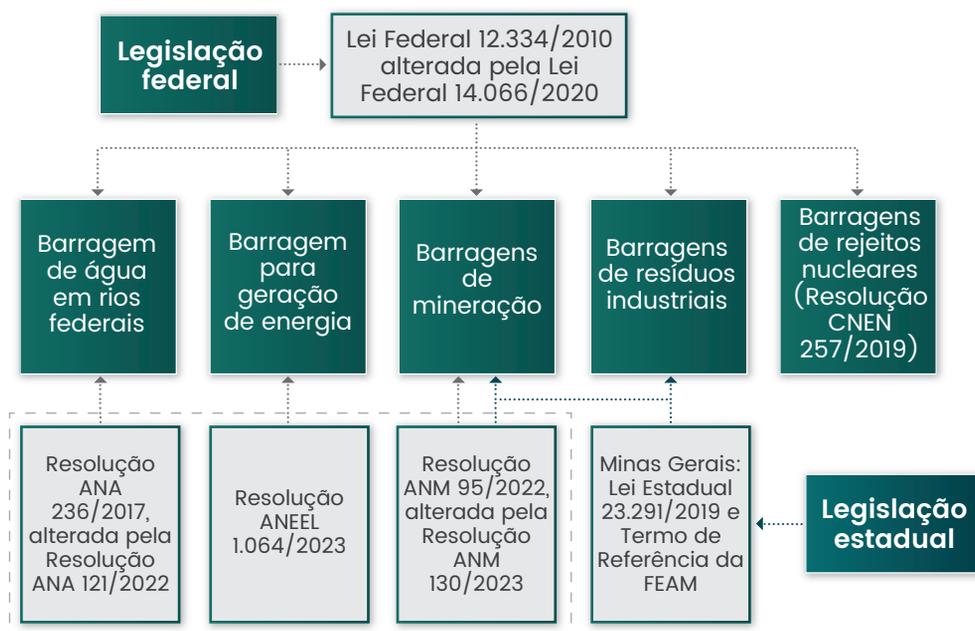
Outro problema enfrentado são as alterações na mancha de inundação ao longo do tempo, sobretudo causadas por alterações na legislação, o que pode gerar problemas de confiança da comunidade em relação ao estudo apresentado.

### 4.2.2 Contexto histórico e legislação de estudos de ruptura hipotética

Após as rupturas da Barragem do Fundão em 2015, e da Barragem B1 da Mina Córrego do Feijão em 2019, novas normas foram publicadas, com conteúdo mais restritivo.

A Lei Federal 12.334/2010, alterada pela Lei Federal 14.066/2020, apresenta o conceito de órgão fiscalizador como “*autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência*”. Dessa forma, além da legislação federal, as normas trazidas por cada órgão fiscalizador estabelecem determinações sobre o estudo de ruptura hipotética de barragens, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 | Legislação referente ao PAE que impacta na elaboração dos estudos de ruptura hipotética de barragens



Além das legislações federais, é importante citar a existência legislações estaduais que regulamentam barragens de acumulação de água em rios estaduais e barragens de disposição de rejeitos e resíduo industrial.

Enfoque especial deve ser dado à Lei Estadual 23.291/2019, de Minas Gerais, palco das duas rupturas de barragens citadas, além de diversas outras. A lei 23.291/2019, conhecida como “Mar de Lama Nunca Mais”, foi publicada exatamente um mês após a ruptura da Barragem B1, em Brumadinho/MG. A lei instituiu a Política Estadual de Segurança de Barragens, e estabeleceu que, posteriormente, decretos e termos de referência deveriam trazer mais detalhes quanto à elaboração dos estudos.

No dia 11 de março de 2021, a Feam/MG publicou o “Termo de referência para a entrega de estudos de ruptura hipotética de barragens”, com o estabelecimento de requisitos, premissas e conteúdo mínimo para o desenvolvimento do estudo. Esse termo apresentou mais detalhamento da metodologia a ser adotada nos estudos, sendo utilizado como referência também para o desenvolvimento de estudos em outros estados.

### 4.2.3 Desenvolvimento dos estudos de ruptura hipotética

O atendimento às legislações vigentes é uma obrigação na elaboração dos estudos de ruptura hipotética. Porém, considerando que estas muitas vezes não são muito descritivas em termos de metodologia a ser empregada, tem-se como boa prática guiar-se por referências nacionais e internacionais na elaboração de estudos. Algumas a serem citadas são:

ICOLD (1998), CDA (2007), CDA (2021), COLORADO (2010), FEMA (2013), USACE (2014), USBR (1982), WASHINGTON STATE (1992), Manual do Empreendedor de Segurança de Barragens (ANA, 2016).

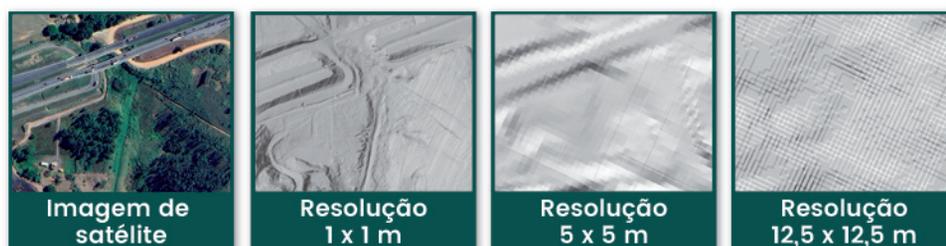
Ademais, é essencial ter em mente que se trata de uma ciência recente, com incertezas associadas. Dessa forma, os responsáveis e a equipe presente na elaboração dos estudos devem ter uma busca constante por novas metodologias, incluindo novos materiais divulgados em congressos e artigos. Por fim, é imprescindível considerar as especificidades de cada caso e manter visão crítica na análise dos resultados, com preocupação para a população afetada e o meio ambiente.

Algumas das principais etapas que compõe o estudo e impactam na envoltória de inundação, serão apresentados e discutidos a seguir:

#### Levantamento topográfico

A Figura 3 apresenta o mesmo local, representado por três Modelos Digitais de Terreno (MDT) com resoluções diferentes. Ao analisar a figura, fica evidente o ganho obtido ao utilizar MDT com resolução mais refinada.

Figura 3 | Comparação entre MDTs com diferentes resoluções



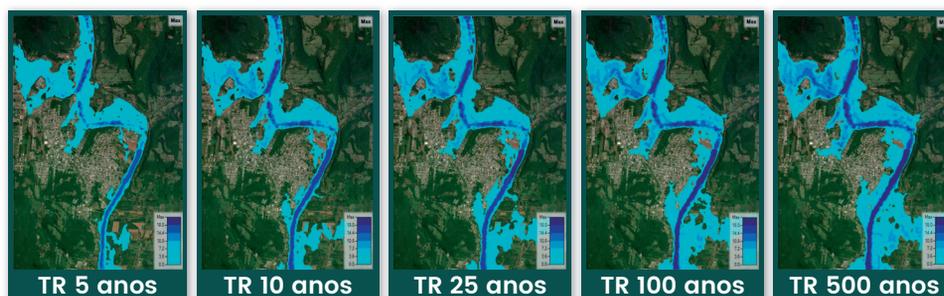
Conforme apresentado pelo Termo de referência da Feam/MG, “como requisito obrigatório, o MDT deve ser obtido e apresentar resolução espacial compatível com a realização de estudos hidráulicos, a complexidade morfológica do terreno e a identificação de alto detalhamento em áreas ocupadas potencialmente atingidas, prioritariamente igual ou melhor que 1m x 1m para a extensão da simulação hidráulica até o limite do critério de parada da simulação.”

Além disso, ressalta-se a importância do levantamento de seções topobatemétricas para caracterização da calha fluvial, além do cadastro de estruturas hidráulicas a jusante, como pontes, bueiros, travessias, entre outros que podem ter impacto na mancha de inundação.

### Estudo hidrológico: definição da vazão no vale a jusante

A Figura 4 ilustra o impacto da consideração de diferentes tempos de retorno na mancha de inundação.

Figura 4 | Comparação de vazão natural para diferentes tempos de retorno



Referência: SILVA, Rolnei Rosa da. Modelagem hidrodinâmica do rio Taquari no município de Encantado/RS. 2020.

Torna-se evidente que a definição do cenário hidrológico a jusante tem grande influência na envoltória de inundação, entretanto há muita incerteza na sua definição.

O Termo de referência da Feam/MG apresenta que, para o cenário de ruptura extrema, deve-se considerar “as piores condições possíveis de ocorrência de cheia a jusante, de forma a obter uma envoltória máxima para as respectivas áreas de risco.” Indica ainda que “as autoridades de Defesa Civil responsáveis poderão adotar esse cenário para a elaboração de planos de emergência mais conservadores e prudentes, norteados por uma necessidade de segurança mais abrangente.”

Entretanto, não há consenso para a definição da “pior cheia possível”. É importante considerar um cenário fisicamente crível, logo, recomenda-se a consideração do caráter espacial e temporal da formação de uma cheia, o que implica que uma grande bacia não possui ao mesmo tempo uma cheia de alto tempo de retorno.

Neste sentido se torna importante a consideração da gênese de cheias, que considera as áreas incrementais de menor área de drenagem com cheias de maior Tempo de Retorno (TR); enquanto as de maior área de drenagem, cheias com menor de retorno. Assim, é possível ocorrer uma precipitação extrema (TR 10.000 anos ou PMP) no reservatório, enquanto tem-se vazões ordinárias no vale a jusante, caso a área de drenagem a jusante seja muito extensa. Por outro lado, para áreas de drenagem reduzidas, recomenda-se a utilização de vazões com TRs mais elevados no vale a jusante. Esta é uma metodologia difundida na área de estudos de ruptura hipotética, embora não tenha uma referência técnica ou acadêmica que a defina diretamente.

Precipitação Máxima Provável

Canadian Dam Association (CDA) - Associação do Canadá.

A referência “*Tailings Dam Breach Analysis*” da CDA (2021) comenta que para cenários de ruptura extrema o período de retorno

considerado para a bacia hidrográfica do empreendimento não ocorre em todas as bacias hidrográficas a jusante. Já a referência “*Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures*” da [Fema \(2013\)](#) comenta que a vazão no vale de jusante pode ser geralmente ignorada se a vazão do rompimento for maior que duas vezes a vazão média anual, sendo nesse caso referente a um cenário de ruptura provável.

Federal Emergency  
Management  
Agency (FEMA)  
- Agência dos  
Estados Unidos.

Ademais, a consideração de um evento hidrológico de maior recorrência a jusante da barragem nem sempre corresponde a um maior incremento no evento de ruptura, uma vez que uma mancha de inundação inicial larga pode acarretar maior seção de escoamento do hidrograma de ruptura, levando a um maior amortecimento da onda e menor extensão, conseqüentemente.

Em cenário de grande disponibilidade de dados fluviométricos no vale a jusante, pode-se também trabalhar com as cheias máximas históricas. Entretanto, é notória a escassez de dados de monitoramento fluviométricos, principalmente em bacias com pequena área de drenagem.

Por fim, destaca-se a necessidade de entender a característica da bacia em que a mancha de ruptura será modelada para que o estudo seja desenvolvido com uma condição crível e que represente a realidade da bacia. Estudos de chuva-vazão devem ser aplicados com muita cautela devido às proporções de área de drenagem, seguindo metodologia e recomendações específica para este uso.

### **Barragens a jusante: ruptura em cascata**

Diversas legislações tratam sobre a necessidade da consideração de ruptura em cascata, a saber:

- Resolução ANM 95/2022: Art. 6º, § 4º *“Nas situações em que houver barragens localizadas a jusante da estrutura objeto da avaliação e que estejam dentro da área de influência da inundação, o estudo e o mapa de inundação devem considerar também uma análise conjunta das estruturas.”*
- Termo de Referência Feam/MG: *“Em conformidade com a Lei 23.291/2019, nas situações em que existem barragens localizadas no vale a jusante potencialmente impactadas pela onda de ruptura da barragem de montante, a hipótese de ruptura em cascata deverá ser considerada e os resultados justificados. Outras estruturas geotécnicas de contenção de rejeitos e/ou resíduos de significativo impacto hidrodinâmico na propagação da onda de inundação, quando impactadas pelo rompimento da barragem em estudo, devem ser consideradas.”*
- Resolução ANEEL 1.064/2023: Art. 6º, §7º *“Caso o reservatório da usina de jusante de que trata o § 6º não tenha capacidade para amortecimento da cheia associada à ruptura da barragem de montante, o estudo de que trata o § 2º referente a essa usina de jusante deverá ser atualizado considerando essa condição na análise do pior cenário de ruptura e, se for o*

caso, encaminhado para representante do empreendedor da usina de jusante, nos termos dos §§ 5º e 6º.

Portanto, destaca-se a importância do compartilhamento de informações das barragens cujas manchas são localizadas no mesmo vale, para avaliação da capacidade de amortecimento do reservatório e da possível ruptura das estruturas em cascata. Além disso, o compartilhamento de levantamento topográfico e batimetria do vale de jusante pode ser oportuno, resultando em economia de recursos, tempo e compatibilização de resultados.

### Caracterização geotécnica e reológica do material

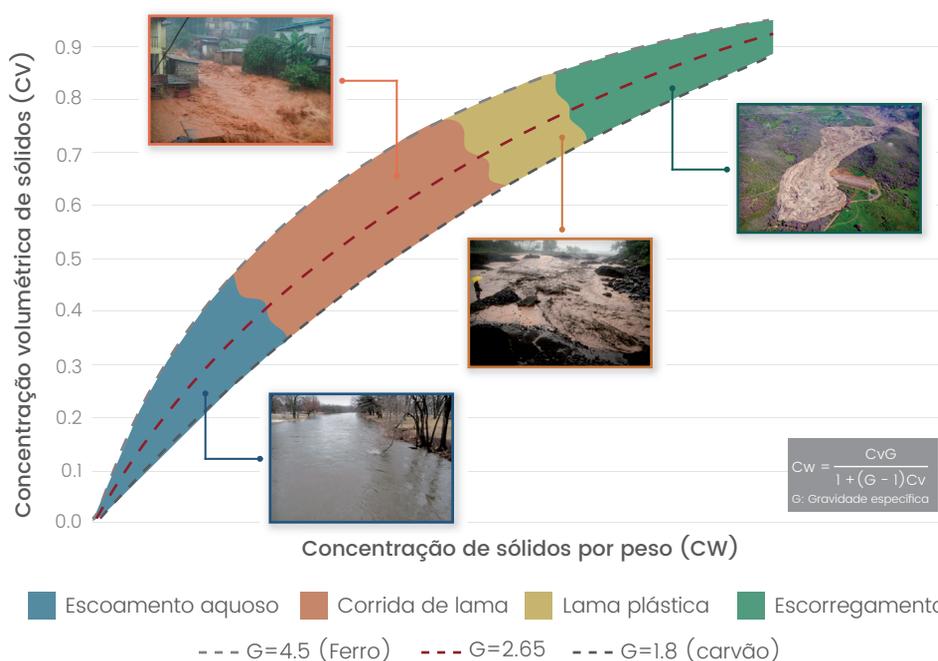
Para barragens com finalidade de contenção de sedimentos, resíduos ou rejeitos, deve ser feita a caracterização do material presente no reservatório, e para as barragens de solo compactado, e semelhantes, é interessante realizar ensaios de caracterização do maciço da estrutura.

A Resolução ANM 95/2022, modificada pela Resolução ANM 130/2023, especifica que devem ser feitas:

- I - a caracterização geotécnica e reológica dos rejeitos passíveis de mobilização na ruptura;
- II - a classificação dos rejeitos ou sedimentos armazenados no reservatório segundo a norma ABNT/NBR 10.004 ou norma que a suceda.

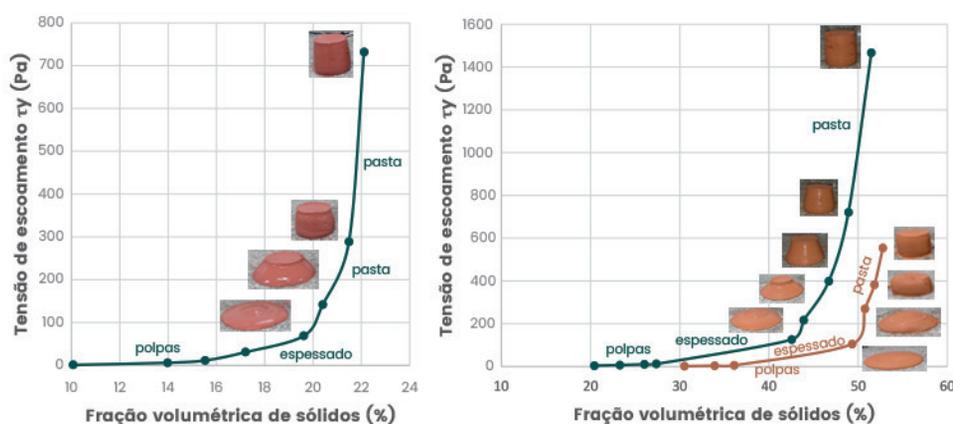
É indispensável considerar que em fluidos com grande presença de sólidos as forças viscosas e a resistência ao cisalhamento alteram a dinâmica de escoamento do fluido. Algumas referências ajudam a prever o tipo de comportamento, de acordo com a concentração volumétrica de sólidos no fluido, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 | Tipo de escoamento em função da variação da concentração de sólidos no fluido. Adaptado de CDA (2021).



Entretanto, ainda que a Figura 0.5 seja uma referência muito consolidada, os materiais contidos em reservatórios possuem uma ampla variabilidade em seu comportamento, variando de acordo com o processo ao qual são submetidos e a matéria prima inicial. Dessa forma reforça-se a necessidade de conhecer o material de cada barragem para que os resultados obtidos da modelagem hidrodinâmica sejam representativos. A Figura 6 exemplifica grande variação na tensão limite de escoamento em função da concentração volumétrica de sólidos, para diferentes materiais. Destaca-se que os resultados obtidos diferem da referência apresentada na figura anterior.

Figura 6 | Tensão limite de escoamento em função da concentração volumétrica de sólidos para dois materiais diferentes. Eixos distintos.

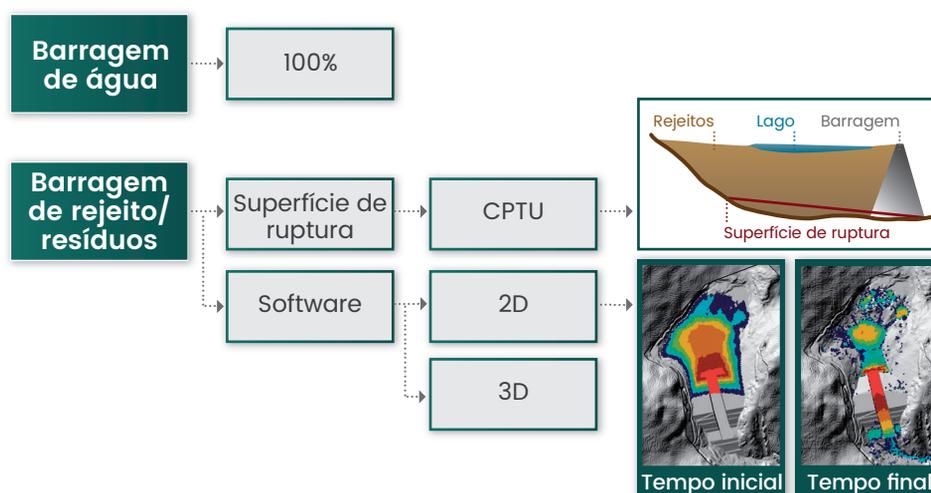


Dessa forma, fica evidente a necessidade de ensaios representativos do material, sendo sugerida a coleta de amostras em diversos pontos do reservatório, podendo ser necessária, ainda, a coleta de amostras em diferentes profundidades.

### Volume mobilizado

Ao longo os anos, houve uma grande evolução da consideração sobre o volume mobilizado, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 | Diferentes metodologias para consideração do volume mobilizado em estudos de ruptura hipotética



Referência: Rico M., G. Benito and A. Díez-Herrero. 2007. "Floods from Tailings Dam Failures." *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 154(1-3), pp 79-87

Enquanto para barragem de água sempre se considera 100% de mobilização de volume, Rico *et al.* (2008) apresentou casos históricos em que o volume mobilizado em caso de barragem de rejeito/resíduos varia de 3 a 100%. Por certo período foi comumente usada a regressão obtida por Rico *et al.* (2008) para a definição do volume. Porém, os últimos acidentes demonstraram que esta análise é muito simplificada para a complexidade das estruturas existentes.

Referência: Paiva, C. A. *Contribuições dos Estudos de dam break às ações da Defesa Civil. Dissertação de mestrado, Proamb, UFOP, fevereiro/2020.*

Metodologias mais recentes para definição de volume mobilizado incluem a definição de superfície de ruptura, por meio do ângulo estável do rejeito pós ruptura obtido por ensaio CPTu, além do uso de softwares 2D ou 3D. Enquanto a primeira metodologia considera aspectos geotécnicos do material e a topografia do reservatório, a segunda pode considerar ainda outros aspectos geotécnicos (como o diâmetro característico e a densidade do material) além de características reológicas do rejeito.

O termo de referência da Feam/MG apresenta que *"Na hipótese de modo de falha por liquefação, preferencialmente 100% do volume do maciço da barragem deve ser considerado como material mobilizável. Caso o responsável pelo estudo não adote o valor de 100%, deverá ser apresentada justificativa técnica."*

Em âmbito nacional, a atualização mais recente da Resolução ANM 95/2022 estabeleceu que *"para o caso de modo de falha por liquefação, quando aplicável, devem ser consideradas as mobilizações máximas, fisicamente possíveis, dos volumes do maciço e dos materiais contidos no reservatório, com apresentação da metodologia utilizada para definição do volume mobilizável e observando-se as condições reológicas dos materiais."*

Ressalta-se que a análise deve ser realizada com parâmetros representativos do material, conforme apresentado no item anterior.

#### Modo de falha

A ruptura de uma barragem, isto é, liberação sem controle do conteúdo armazenado para jusante, para barragens de solo, comumente é analisado em função dos seguintes modos de falha: galgamento, erosão interna, instabilização ou liquefação. O Termo de referência da Feam/MG estabelece ainda que deve ser analisado a liquefação ocorrendo pelo maciço ou pela fundação. Para barragens de concreto, a ruptura normalmente é avaliada por tombamento, escorregamento, erosão interna, flutuação ou resistência excedida.

Para a definição do modo de falha crível para cada barragem, deve ser realizada análise geotécnica, verificação dos tipos de alteamento, do material que constitui o maciço e da sua

susceptibilidade à liquefação. Além destes pontos também é realizada a verificação hidráulica quanto à possibilidade de galgamento da barragem.

Ademais, para barragens de acumulação de água deve ser verificado por meio de análise de risco demais mecanismos que podem gerar os diferentes tipos de modos de falha, por exemplo, falha na operação de comportas ou obstrução do vão do vertedouro.

O modo de falha rege a abertura da brecha e, conseqüentemente, a taxa de liberação do material armazenada para jusante, o que impacta no tempo de chegada e na envoltória da mancha de inundação.

Nesse ponto, a Resolução ANM 95/2022, alterada pela Resolução ANM 130/2023, define que *“os estudos de ruptura e mapas de inundação devem considerar o modo de falha que ocasione o cenário de maior dano, independentemente da probabilidade de ocorrência”*.

A Resolução ANEEL 1064/2023 aborda também o cenário de maior impacto, mas introduzindo o conceito de inundação incremental: *“O pior cenário de ruptura da barragem deve considerar o maior impacto entre a área atingida pela inundação incremental de rompimento em cenário da cheia natural considerada no projeto de dimensionamento do vertedouro, ou no estudo hidrológico mais atualizado; e a área atingida por inundação proveniente de rompimento em dia seco, independentemente de cheia natural”*. Destaca-se ainda, que os cenários sempre devem ser críveis para que a modelagem seja representativa das condições da barragem em análise.

### **Propagação do hidrograma de ruptura no vale a jusante – utilização de softwares**

Nos últimos anos, observou-se um grande avanço da disponibilidade e nas capacidades dos softwares utilizados para modelagem hidrodinâmica para estudos de ruptura hipotética. Se antes eram utilizados modelos unidimensionais apenas com fluidos newtonianos, atualmente há uma gama de softwares bidimensionais que consideram fluidos não-newtonianos, além de alguns softwares contemplando modelagens tridimensionais. A ANM, por exemplo, exige por meio da Resolução ANM 95/2022 que o deslocamento da frente de onda seja feito considerando minimamente modelos 2D. Os principais softwares utilizados e suas características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 | Principais softwares utilizados para modelagem hidrodinâmica em estudos de ruptura hipotética de barragens.

Característica	HEC-RAS 2D	Riverflow-2D	Flo-2D	Flow-3D	OpenFoam 3D
Escoamento de Água ou Rejeito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Interação Rejeito / Água	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Desenvolvimento de brecha	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Mobilização instantânea	Não*	Sim	Não*	Sim	Sim
Gratuito	Sim	Não	Não	Não	Sim
Tempo computacional	Médio	Baixo **	Médio	Alto	Alto

\* Elaborado com simplificações

\*\* Considerando processamento em GPU

Muito tem-se discutido sobre os modelos tridimensionais (3D), em função das suas capacidades, como consideração de camadas com concentrações volumétricas de sólidos distintas; avaliação detalhada do impacto da onda de ruptura sobre estruturas, inclusive em Estruturas de Contenção de Jusante (ECJ); avaliação do volume mobilizado a partir de diferentes abordagens de abertura de brecha, entre outros, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 | Aplicações de modelos 3D para estudos de ruptura hipotética



Entretanto, é importante ressaltar algumas desvantagens desses modelos, como maior complexidade; custo computacional elevado; e limitações em relação à representação do transporte de sedimento do leito, representação da velocidade de queda da partícula e modelos de turbulência.

Em resumo, independentemente do software adotado, é importante que o modelador tenha bom domínio deste, bem como conhecimento das limitações, e inserção correta dos dados de entrada. Ressalta-se, apesar dos esforços, a presença de incertezas nos dados e nos modelos, devendo estes serem levados em consideração.

Por fim, a malha computacional adotada deve ser detalhada de tal forma que descreva as principais estruturas a serem analisadas no vale a jusante. Além disso, é importante a correta extração de resultados, análise crítica dos dados obtidos, e boa apresentação dos dados.

### **Apresentação dos resultados**

Por fim, os resultados obtidos devem ser apresentados em mapas, de forma a permitir boa visualização, além de gráficos e tabelas. O Termo de Referência da Feam/MG estabelece especificações dos elementos a serem inseridos nos mapas, assim como a Resolução ANM 95/2022, que estabelece quais resultados devem ser apresentados.

A depender do volume de informações e da escala adotada, a visualização pode tornar-se confusa, de forma que foi adotada como boa prática o uso de recursos digitais, por meio da utilização de *QR code*, para complementar para mapa único solicitado pela ANM.

## **BOAS PRÁTICAS**

Quanto à metodologia, podemos citar como boas práticas:

- Seguir legislações mais restritivas e guias/referências internacionais;
- Realizar levantamento topográfico com resolução satisfatória, além de levantamento topobatimétrico da calha fluvial a jusante e de estruturas sensíveis, quando pertinente;
- Adotar vazões naturais no vale a jusante com valores fisicamente críveis e que considerem a dimensão da bacia hidrográfica;
- Para caracterização da barragem, utilizar dados atualizados, ensaios relevantes e em quantidade suficiente para serem representativos do material presente na estrutura, inclusive para subsidiar o volume mobilizável, o tipo de escoamento e o software adotado;
- Adotar modo de falha crível que considere o cenário de maior dano;
- Apresentar de maneira adequada dos resultados, atendendo à legislação, mas de modo a representar os atingimentos no vale a jusante de forma clara.



## BOAS PRÁTICAS

Já em relação aos estudos de ruptura de forma geral, podemos citar como boas práticas:

- Verificar necessidade e/ou possibilidade de implantar ECJs ou diques em locais próximos a benfeitorias, com o objetivo de se criar barreiras físicas e reduzir os atingimentos;
- Compartilhar informações topográficas do vale a jusante entre empreendedores que compartilham o mesmo vale;
- Investir em dados de entrada do estudo de ruptura, com objetivo de ter estudos mais robustos;
- Adotar rupturas em cascata, de modo que os empreendedores que compartilham o mesmo vale tenham uma mancha extrema unificada;
- Além do estudo de ruptura hipotética, realizar o estudo de qualidade de água, definindo a extensão de cursos d'água afetada no vale a jusante. Essa informação pode ser usada como referência para definir medidas de proteção ambiental e de garantia de abastecimento de água potável, por entender que o impacto ambiental se estende além da mancha de inundação;
- Realizar análises de sensibilidade nos parâmetros de entrada no software, ou ainda realizar estudos probabilísticos ao invés de determinísticos.



# 5 IMPLEMENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO- IO/PAE

---

*Autores: Artur Cerveira Bertone,  
Camila Ebbers Fabiani Giantomaso,  
Matheus Pascoal de Freitas  
e Paula Ferreira Castro*

## 5.1 Rotas de fuga e Pontos de encontro

As rotas de fuga e pontos de encontro são dispositivos implantados para que a população residente ou ocupante de uma zona de risco se desloque no momento do acionamento das sirenes ou alarme, realizando seu autosalvamento, sendo denominados de elementos de autoproteção.

Na Política Nacional de Segurança de Barragens é determinado que o PAE deverá apresentar o planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com sua respectiva sinalização.

Segundo Instrução Técnica GMG/Cedec 01/2021, a rotas de fuga deve ser um caminho seguro, que apresente boas condições de trafegabilidade a pé, a ser percorrido pelas pessoas que estão dentro da área de risco em direção à área segura. Já os pontos de encontro são os locais seguros fora da área de risco em que as pessoas permanecerão até a chegada das autoridades competentes e demais responsáveis pelo encaminhamento aos locais de abrigo. A Instrução Técnica supracitada se baseia no Caderno da Defesa Civil Nacional e complementa questões adequadas para a realidade do estado de Minas Gerais.

Os elementos de autoproteção, como pontos de encontro e rotas de fuga são utilizados em diversas situações de possibilidade de risco cotidianas, como edifícios, supermercados, shopping centers e outros. Além destes casos são utilizados em indústrias, siderúrgicas, minerações e outras atividades. Dessa forma, percebem-se como termos fáceis e conhecidos pela sociedade.

Para o espectro de barragens as melhores definições sobre os elementos de autoproteção estão pautados no “Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens” (2016), onde se define sobre as características mínimas das placas a serem instaladas, o tamanho mínimo por ponto de encontro baseado na quantidade de pessoas esperadas, as condições ideais e de acessibilidade a serem cumpridas em rotas de fuga, entre outros.

Os elementos de autoproteção em questão, apesar de serem responsabilidade do empreendedor, devem estar alinhados com os órgãos de proteção e comunidades. Este alinhamento auxilia na aprovação do PAE, assim como a aceitação e colaboração das comunidades com os elementos e participação em atividades promovidas pelo empreendedor. Os melhores resultados informativos são referenciados quando os órgãos públicos (defesa civil e corpo de bombeiros) falam sobre a segurança das estruturas. Para isso é preciso que o alinhamento empreendedor e entidade pública seja melhorado a cada dia.

Além do envolvimento com órgãos públicos, a aproximação com a comunidade é de extrema importância. Quando a população é envolvida em processos, como a implantação e manutenção dos elementos de autoproteção, como pontos de encontro e rotas

de fuga, a tendência é a redução da depreciação e vandalismo, assim como maior conhecimento para utilizá-los, caso ocorra uma situação de emergência.

Os pontos de encontro e rotas de fuga são itens avaliados durante os exercícios simulados, nos quais a população tem a oportunidade de se deslocar e aprender mais sobre o que fazer em uma situação de emergência, conhecendo os elementos de autoproteção e avaliando o caminho seguro a ser seguido no caso do acionamento das sirenes ou outro sistema de alerta.

## BOAS PRÁTICAS

- Compartilhar as rotas de fuga, pontos de encontro e sinalizações de emergência com barragens que interceptem a mancha de inundação;
- Alinhar com órgãos de defesa civil e líderes comunitários sobre as placas de rotas de fuga e pontos de encontro, visando a melhor aceitação e correta utilização por parte da sociedade;
- Realizar um cadastro socioeconômico de qualidade para definições do cálculo de ponto de encontro serem mais assertivas;
- Boa manutenção dos pontos de encontro e rotas de fuga como capina, roçado, limpeza, garantindo a visibilidade das placas;
- Observar corretamente a posição das placas, visibilidade das setas, evitando confusões à população envolvida;
- Realizar exercícios simulados anuais para que a população e órgãos de defesa possam avaliar e continuar familiarizados com as placas de fuga e pontos de encontro;
- Numerar ou nomear os pontos de encontro para facilitar sua identificação.



### 5.2 Cadastro populacional

O termo “cadastro” se refere ao levantamento de dados pessoais e seu armazenamento em banco de dados, com algum objetivo pré-definido. O levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS no PAE, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais, é uma determinação da PNSB.

Ao se dar enfoque nas barragens de mineração, a ANM ainda determina que o cadastro da população existente deverá identificar também as vulnerabilidades sociais. Salienta-se que no estado de Minas Gerais as exigências não se limitam ao cadastro da população, mas também de animais domésticos, criação, em situação de rua ou errantes.

Dentre diversas legislações vigentes sobre segurança de barragens, aquela que melhor fornece diretrizes para a realização de cadastros é a Instrução Técnica GMG/Cedec 01/2021, que apresenta em seu Anexo C os modelos de planilhas a serem atendidas.

Na referida Instrução Técnica tem-se que os dados pessoais devem apresentar o código da unidade familiar, nome completo, idade, contatos, endereço, localização, com coordenadas geográficas em graus decimais. Já para a população com dificuldade de locomoção também são solicitadas as informações da razão da dificuldade de locomoção, assim como a especificação da doença.

Destaca-se a importância de que o cadastro seja realizado com todos os residentes de cada casa, assim como todo o público perene de edificações públicas.

Apesar dos documentos do PAE serem públicos e publicados nos sites dos empreendedores, as informações pessoais não poderão ser divulgadas ou compartilhadas, exceto com as autoridades estritamente necessárias em caso de urgência e emergência, em atendimento ao disposto no art. 6º, III, da Lei 12.527/2011, e em observância às disposições da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei 13.709/2018).

Os principais objetivos do cadastro populacional relacionado à segurança de barragens são *(i)* identificar todas as pessoas que podem ser impactadas no caso de uma situação de emergência, *(ii)* prever a possibilidade de evacuações especiais no caso de vulnerabilidades sociais, e *(iii)* planejar corretamente os pontos de encontro e planos de mitigação.

O momento de realização do cadastro é também um momento de aproximação do empreendedor e a população, sendo uma oportunidade de estreitamento de relações e trocas sobre o PAE e impressões da comunidade. Este também pode ser um momento difícil, que apresente resistência e desconfiança dos moradores, sendo importante realizar uma aproximação anterior ao cadastro, que leve conhecimento à população sobre o que está sendo feito, para que forneçam os dados necessários com mais facilidade.

A equipe que realizará o cadastro deve estar bem identificada, uniformizada e treinada para responder algumas perguntas sobre a empresa e sobre a situação da segurança da barragem em questão, para que dê informações corretas quando solicitado, não causando pânico ou notícias falsas.

Apesar de existir pouco detalhamento normativo quanto ao cadastro populacional, as boas práticas que podem ser seguidas são diversas, sendo uma oportunidade de contato com a comunidade que não deve ser desperdiçada.

## BOAS PRÁTICAS

### Planejamento

- Realizar um plano de comunicação prévia com a população (que envolva divulgação em diversas mídias, reuniões com a população e poder público), fazendo comunicados para que conheçam as intenções do cadastro, melhorando a aderência;
- Elaborar um questionário com perguntas e respostas (Q&A) que possam surgir durante a abordagem da população;
- Conhecer a população que irá se direcionar para cada ponto de encontro, auxiliando o correto dimensionamento;
- Entender a realidade da ZAS para se planejar o cadastro, identificando quais melhores horários e aproximações;
- Realizar um levantamento prévio das propriedades a serem cadastradas, com dados georreferenciados, para auxílio da equipe de campo;
- Realizar um contato prévio com as **COMPDECs** envolvidas e demais autoridades municipais para comunicação acerca do cadastramento e convite para participação durante o campo;
- Realizar uma reunião prévia com líderes comunitários, presidentes de associações de moradores, Agentes Comunitários de Saúde (ACS) e demais representantes da comunidade que possam atuar como multiplicadores da comunicação;
- Realizar alinhamento com a comunidade para agendar melhores dias e horários para cadastro contribui para maior aderência;
- Distribuir material informativo (panfletos) para divulgação do cadastro.

Coordenadorias  
Municipais de  
Proteção e  
Defesa Civil



## BOAS PRÁTICAS

### Execução do cadastro

- A equipe de campo deve ser diversa, atuando em duplas ou grupos, com equidade de gênero. Equipes predominantemente masculinas geralmente encontram maior recusa por parte da população;
- A equipe de campo deve estar devidamente uniformizada;
- A presença da defesa civil em campo contribui para maior aderência da população;
- Comunicar a população previamente que haverá visita de equipe de cadastro para diminuir a desconfiança da população.



### 5.3 Treinamentos *tabletop*

#### 5.3.1 O que é um exercício *tabletop*

Exercícios *tabletop* são oportunidades de treinar, em conjunto com os participantes do Fluxograma de um PAE, as respostas, ações e responsáveis para diversos cenários hipotéticos de Emergência (Ready, U.S, 2023). Nos exercícios *tabletop* são apresentados cenários hipotéticos aos participantes para que em conjunto se definam ações e respostas adequadas. Adicionalmente, os exercícios são oportunidade para verificar a aderência do PAE com as respostas à emergência indicadas pela equipe.

São praticados nas mais diversas áreas, sendo originalmente utilizados para exercícios militares e posteriormente adotados para treinamentos corporativos e de situações hipotéticas de emergência. A utilização dos exercícios *tabletop* em barragens se iniciou pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE) posteriormente sendo adotado como melhor prática em por diversos comitês de barragens (ICOLD, CBDB, ORSEP).

O exercício *tabletop* trata-se de uma atividade que tem por objetivo simular situações potencialmente reais. A metodologia se baseia no jogo de RPG (*Role-playing game*), em que os participantes assumem papéis e são livres para criar narrativas, gerando uma dinâmica colaborativa. As regras do jogo são apresentadas previamente e o jogo pode tomar progressão, conforme novas informações são inseridas no contexto.

A Política Nacional de Segurança de Barragens, Art. 3, apresenta como objetivo o fomento a cultura de segurança de barragens. Para alcançar este objetivo, alguns empreendedores de barragens passaram a realizar exercícios internos (utilizando a metodologia *Tabletop*), mesmo não sendo obrigatórios com periodicidade determinada.

A PNSB e as resoluções dos órgãos fiscalizadores evoluíram de forma que os exercícios internos passaram a ser obrigatórios semestralmente para barragens de Mineração – Artigo 47 da Resolução ANM 95 de 2022 – e adotados como prática entre os diversos Empreendedores e suas respectivas estruturas, como cumprimento do Art. 12, IV, da PNSB.

As melhores práticas e algumas normas indicam a realização de exercícios com periodicidade semestral, tendo nesses exercícios a presença de pelo menos um representante de cada área listada nos fluxogramas do PAE, além da presença do coordenador e demais tomadores de decisão envolvidos. Os exercícios devem ser conduzidos por um facilitador externo e contar com a presença de um avaliador. Os papéis do exercício tabletop, conforme metodologia estabelecida pelo *SAFECOM Program - Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA)*, são:



#### **FACILITADOR**

Responsável pela condução do exercício, apresentação e evolução do cenário, controle do tempo e engajamento de todos.



#### **AVALIADOR**

Responsável pela avaliação do exercício, deve tomar notas, observar pontos positivos e de aperfeiçoamento, seguindo critério de avaliação pré-estabelecido.



#### **EQUIPE (JOGADORES)**

São aqueles que tem funções estabelecidas no PAE e poder de decisão. São o alvo do teste do exercício.



#### **OBSERVADOR**

Membro que não participa ativamente do exercício. Deve tomar notas, avaliar acertos e falhas e prover *feedback* no fim do exercício.

Para o desenvolvimento do exercício deve ser apresentado um *storytelling* inicial para guiar os participantes, com o objetivo de envolver as pessoas em uma narrativa, o que aumenta o engajamento no treinamento. Após avaliação inicial por parte dos jogadores, o facilitador deve iniciar a condução do exercício apresentando novos cenários, buscando trazer novas perspectivas e situações críticas. O exercício deve ser conduzido de forma a dar oportunidade para que todos tenham suas contribuições consideradas. A lista dos participantes, portanto, demanda que haja participantes suficientes para permitir a troca de ideias e que os principais responsáveis do PAE estejam presentes.

## BOAS PRÁTICAS

- Reservar pelo menos meio período para realização dos exercícios (4 horas);
- Encaminhar material informativo para os participantes com antecedência;
- Levar material impresso para o exercício (PAE, Mapas de Ruptura Hipotética, Fluxogramas e Listas de equipamento disponíveis);
- Criar um ambiente aberto a novas ideias;
- Tomar nota de todos os pontos levantados para gerar relatório do exercício;
- Realizar avaliação com todos os participantes;
- Realizar avaliação do desempenho da equipe de jogadores;
- Evitar cenários repetitivos e com foco excessivo em questões muito técnicas;
- Buscar novos formatos de exercícios para equipes experientes, evitando a perda de interesse;
- Preferencialmente realizar exercícios presenciais;
- Buscar criar cenários desafiadores, aumentando o engajamento dos participantes;
- Garantir a presença dos participantes do fluxograma do PAE, com agendamento prévio e confirmação de presença;
- Realizar apresentação inicial para nivelamento dos participantes;
- Realizar planejamento prévio, conhecendo os participantes e suas atribuições no PAE;
- Fomentar situações desafiadoras, para que os participantes possam discutir a aplicabilidade das ações do internas e melhorias;
- Buscar espaços amplos para realização dos exercícios, permitindo a circulação dos participantes.



## 5.4 Seminários Orientativos

### 5.4.1 O que é um seminário

O Seminário Orientativo, conforme descrição apresentada pela Resolução ANM 95/2022, é um evento com participantes internos e externos, compreendendo a exposição do mapa de inundação e discussões de procedimentos não abrangendo teste real. A definição apresentada pela Agência Nacional de Mineração, contudo, não contempla todas as dimensões da realização do Seminário Orientativo, tendo esse evento como momento de conexão entre o Empreendedor e Comunidade, criando espaço para se apresentar o PAE, as medidas realizadas para garantir a segurança de cada estrutura, apresentar as rotas de fuga e procedimentos caso da necessidade de acionamento do PAE. Os Seminários Orientativos utilizam da comunicação eficaz dos riscos como ferramenta no processo de gestão de riscos. Utilizando do conceito que percepção de risco está atrelada com fatores como: controle sobre o risco, origem do risco, conhecimento do risco, confiança e equilíbrio entre benefício e risco. Nos seminários, portanto, a comunicação de risco é ferramenta ativa na mitigação de risco (Slovic, P. e Ropjeik, D; 2003). Ressalta-se, entretanto, que os riscos não são apresentados de maneira ampla e aprofundada à comunidade, mas que esta passa a ter ciência sobre a mancha de inundação e medidas preventivas que são tomadas pelo empreendedor.

*Risk in Perspective  
– Disponível em:  
<https://bit.ly/Risk-in-Perspective-2003>*

Os seminários orientativos atualmente possuem caráter obrigatório apenas para as barragens de mineração inseridas na PNSB e para as barragens de rejeitos ou resíduos inseridas na Política Estadual de Segurança de Barragens de Minas Gerais. Contudo, a realização de Seminários Orientativos com populações potencialmente afetadas é considerada melhor prática na gestão de riscos de barragens e na garantia da IO/PAE. Os eventos devem ser organizados pelo Empreendedor com apoio de Defesa Civil, Prefeitura e Corpo de Bombeiros, e serem realizados em locais públicos e de fácil acesso.

*Por meio do Decreto Estadual 48.078/2020, artigo 24, que garante a realização de reuniões públicas para a população a jusante da barragem.*

Os seminários devem ser voltados para a população residente de Zonas de Autossalvamento (ZAS), em caso de necessidade podendo ser expandido para população de Zona de Segurança Secundária (ZSS). Esses eventos podem ser utilizados como oportunidade para comunicar à população as medidas utilizadas pela Empreendedor para manter a segurança de suas estruturas e apresentar demais ações da empresa, fortalecendo a relação com a comunidade.

*Do PNSB, ZSS: Trecho constante do mapa de inundação não definido como ZAS, em que as pessoas são resgatadas por órgãos como Defesa Civil ou Corpo de Bombeiros.*

Os Seminários Orientativos devem compreender uma apresentação inicial do Empreendedor, sendo momento para divulgar a empresa e a importância da existência das barragens, buscando a aproximação entre os diversos atores do território. A segunda etapa do Seminário deve ser conduzida por consultoria independente, apresentando o PAE, fluxogramas e mapas de inundação, a realização por empresa externa ao Empreendedor busca dar maior credibilidade ao conteúdo apresentado, assim como possibilitar

respaldo técnico das informações compartilhadas. O seminário pode ser seguido por uma fala da Defesa Civil, corroborando com a importância das informações repassadas.

Os seminários devem ser realizados anualmente, preferencialmente anteriores à realização dos simulados, pois podem ser utilizados como momento de instrução à população sobre o simulado de emergência.

## BOAS PRÁTICAS

- Verificar com a população quais os melhores dias e horários para garantir maior adesão;
- Realizar ensaio com todos os apresentadores, permitindo maior fluidez as apresentações;
- Escolher local próximo à comunidade e providenciar meio de transporte à população;
- Abrir espaço para perguntas ao final do seminário;
- Permitir a interação entre o empreendedor e a comunidade;
- Utilizar a comunicação como ferramenta de mitigação dos riscos.



### 5.5 Exercícios simulados

#### 5.5.1 O que é um simulado

A realização de exercícios simulados de emergência é uma prática desenvolvida para treinar os procedimentos reais em situação de emergência e permitir a avaliação criteriosa por todas as partes interessadas na condução de uma situação de emergência. A realização dos exercícios simulados em barragens pode ser dividida em dois principais grupos de participantes; a população e os envolvidos no acionamento e condução do PAE. Para cada um desses grupos existe um objetivo principal. Para a população o objetivo principal é conhecer as rotas de fuga, pontos de encontro e se familiarizar com os procedimentos de evacuação. Já para os envolvidos no PAE, os objetivos principais são conhecer suas atribuições durante uma emergência, avaliar o preparo das equipes envolvidas e identificar oportunidade de melhoria para garantir o nível de preparação dos envolvidos.

Os exercícios simulados de emergência para barragens, conforme descrição apresentada pela PNSB, devem ser realizados em conjunto com a Defesa Civil, em periodicidade a ser definida por cada órgão fiscalizador. Os exercícios simulados consideram uma simulação de evacuação da ZAS de determinada estrutura, tendo como objetivo principal o treinamento da população, empreendedor e Defesa Civil de suas atuações e responsabilidades durante o acionamento do PAE. Os exercícios simulados prescindem de planejamento detalhado, definindo os participantes e atuações durante o simulado, esse planejamento inclui a instrução da comunidade potencialmente afetada, de forma que todos conheçam suas rotas de fuga e ponto de encontro. O evento, por envolver diversos atores, como Defesa Civil, Corpo de Bombeiro, Prefeituras, Empreendedor e Comunidade deve ser construído através de diálogo e consenso, sendo fundamental que um desses atores fique responsável pela coordenação, de forma ideal essa coordenação deve ser realizada pela Defesa Civil com apoio do Empreendedor. Contudo, diante as limitações orçamentárias e de pessoal impostas ao sistema de Defesa Civil a coordenação em muitos casos é realizada pelo Empreendedor com apoio da Defesa Civil.

Na eventualidade da organização ser realizada pelo Empreendedor, é fundamental a anuência da Defesa Civil, pois, em casos de real acionamento dos níveis de emergência, a Defesa Civil e Corpo de Bombeiros irão atuar de forma integral nas ações descritas no PAE. A partir de 2020, ano da revisão da PNSB, a quantidade de simulados cresceu consideravelmente no Brasil, trazendo novos conhecimentos para a realização desses exercícios. Os formatos de simulados de emergência têm passado por atualizações, algumas práticas como: simulados setorizados, simulados utilizando aplicativos específicos, simulados envolvendo determinados estabelecimentos – escolas, unidades de saúde, equipamento públicos – e simulados virtuais. Essas novas abordagens devem ser utilizadas como complementos dos simulados tradicionais, permitindo uma mudança no formato para aumentar o engajamento da população, contudo esses formatos não substituem a realização de simulados tradicionais com mobilização completa das populações potencialmente atingidas nas ZAS, pois esses simulados permitem o real dimensionamento dos recursos e esforços necessários para garantia da segurança de todos.

Outro aspecto fundamental nos exercícios simulados é a conscientização e engajamento da população, colocando na rotina a prática de realização de simulados e compreendendo que os simulados são parte do conjunto de ferramentas para mitigação de risco. De forma equivocada, os simulados eram considerados práticas que poderiam aumentar a percepção do risco e causar impactos não desejados, contudo existe um significativo aumento da confiança da população com o empreendedor após a incorporação dessas práticas na rotina da população.

## BOAS PRÁTICAS

- Planejamento extensivo de todas as etapas do simulado;
- Envolver de todos os órgãos com interface com o PAE durante a etapa de planejamento;
- Comunicar de forma clara e constante a população para garantir a adesão e engajamento nos exercícios simulados;
- Definir a liderança na condução do planejamento dos exercícios;
- Definir a data com antecedência para comunicação à população;
- Convidar a população da Zona de Sonorização, estendendo a participação do evento;
- Buscar uma maior participação de órgãos públicos, pois em situação de acionamento do PAE todos serão envolvidos;
- Utilizar a comunicação como ferramenta de mitigação dos riscos.



# 6 BOAS PRÁTICAS TECNOLÓGICAS

---

*Autores: Breno Aguiar Rimulo  
e Lucas Machado*

A operacionalização de um PAE é uma atividade crucial para garantir a segurança das comunidades e a preservação do meio ambiente em caso de situações adversas. Nesse contexto, a integração da tecnologia desempenha um papel fundamental na organização, eficácia e rapidez das ações tomadas previamente, durante ou após uma emergência. A utilização de tecnologias avançadas permite uma resposta mais ágil, coordenação eficiente e tomada de decisões informadas, minimizando os riscos associados a eventos inesperados envolvendo barragens.

Através da combinação de sistemas de monitoramento em tempo real, sistemas com possibilidade de comunicação oficial, o empreendedor e os órgãos públicos conseguem obter e divulgar informações precisas sobre as condições das estruturas e das áreas adjacentes. Isso possibilita a coleta de dados geoespaciais e meteorológicos relevantes, contribuindo para uma compreensão abrangente das condições que podem desencadear uma emergência.

A automação de processos também desempenha um papel crucial na operacionalização do PAE. Sistemas de alerta automatizados podem notificar imediatamente as autoridades competentes e as populações afetadas, permitindo a evacuação ordenada e o acionamento do fluxo de informações previstos nos PAE. A tecnologia também facilita a coordenação entre diferentes agentes e equipes envolvidas, garantindo uma resposta integrada e bem-organizada.

## 6.1 Dispositivos de Notificação

Os dispositivos de notificação contribuem para uma resposta rápida, informada e organizada em situações de crise. Esses dispositivos ajudam a alertar e orientar as pessoas afetadas, mobilizar recursos e garantir a eficácia global do plano de ação de emergência.

Nos subitens a seguir são apresentadas algumas ferramentas que podem auxiliar na IO/PAE.

### 6.1.1 Dispositivo de Notificação Individual (DIN)

O Dispositivo Individual de Notificação (DIN) é um produto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) realizado entre Cemig, Instituto Ânima de Educação, Fundação para Inovações Tecnológicas (FITec) e Pixel. O DIN é um dispositivo de comunicação e alerta visual e sonoro que notifica a população nas áreas potencialmente atingidas em caso de alagamentos e enchentes, na região próxima às barragens. Funciona como um alarme, ligado às informações das barragens e da rede de monitoramento da Cemig, e partir do aumento das chuvas e risco de cheia do leito do rio, com alagamento da área de risco onde o DIN foi instalado, avisa ao morador para que deixe sua residência e tome as ações necessárias.

É entregue sem nenhum custo ao morador, e deve estar ligado na tomada todos os dias do ano. Caso haja interrompimento de

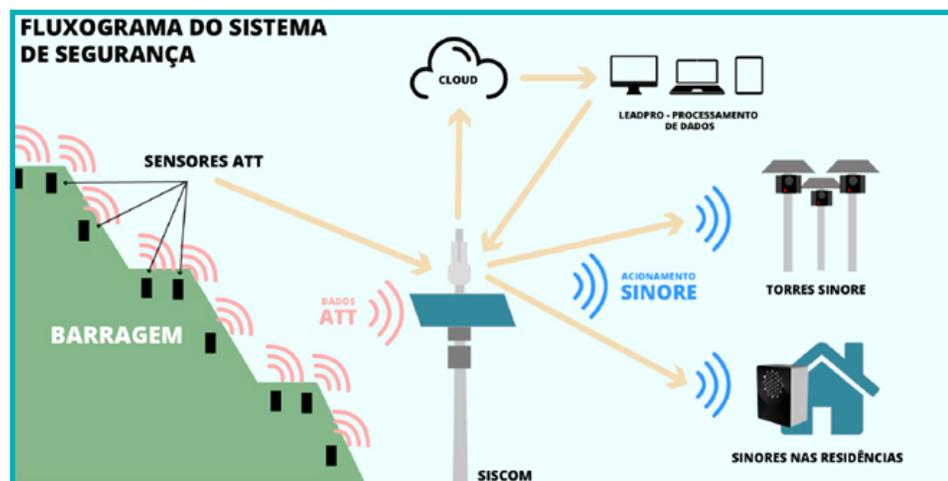
energia, o dispositivo tem bateria para permanecer ligado durante 24 horas e emite um comunicado interno à Cemig avisando a falta de energia/desligamento. O DIN consome pouquíssima energia elétrica, equivalendo ao consumo de uma televisão desligada, conectada à rede elétrica. Ou seja, não produzirá nenhum impacto significativo no consumo de energia da casa que possa encarecer a conta de luz.

Assim, é uma ferramenta de comunicação importante da Defesa Civil local junto aos habitantes de seu município.

### 6.1.2 Sinore

O Sistema digital de Notificação Remoto (Sinore) é um dispositivo autônomo e automatizado de notificações sonoras de emergência que deve ser instalado em ambientes abertos com ampla propagação e em residências. Como o DIN, funciona como um alarme que recebe o comando do LeadPro, software de processamento de dados dos sensores ATT para análise de estabilidade estrutural, e é acionado em milissegundos. Na Figura 9 tem-se o fluxograma de operação do sistema.

Figura 9 | Fluxograma de operação do sistema de segurança. Fonte: Mosaic.



Possui sistema Self-Test, que a cada 30 min verifica a disponibilidade do sistema de alerta, além de sensores que detectam qualquer tentativa de violação da estrutura do dispositivo, enviando um aviso a central quando ocorrido, e bateria com vida útil de 5 a 7 anos.

### 6.2 Dispositivos de Gestão de Risco

Os dispositivos de gestão de risco contribuem para a tomada de decisões informadas, a alocação eficiente de recursos e a redução dos impactos adversos em situações críticas. Além disso, a gestão de riscos não apenas antecipa possíveis cenários de emergência, mas também permite a adaptação contínua do plano de ação para enfrentar desafios em constante evolução.

## 6.2.1 PROX

A Plataforma PROX é uma ferramenta digital desenvolvida pela Cemig GT e Venidera para prestação de informações sobre a situação das barragens das usinas hidrelétricas em tempo real. Possibilita a publicação de dados como manchas de inundação e permite uma comunicação mais efetiva com a comunidade por meio do cadastramento georreferenciado dos habitantes, visualização e impressão de mapas em diferentes escalas e tipos, guia de ruas e mapas de terreno, trajetos das rotas de fuga, localização dos pontos de encontro, envio de alertas para áreas de riscos selecionadas, entre outras funcionalidades. É disponibilizado com interface *web* (perfil cadastrado como responsáveis e defesa civil) e aplicativo móvel (população), como mostra a Figura 10 e Figura 11.

Figura 10 | Interface *web*. Fonte: Cemig.

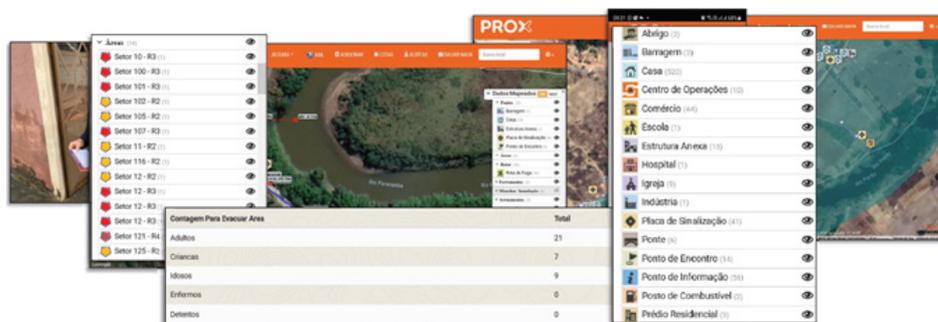
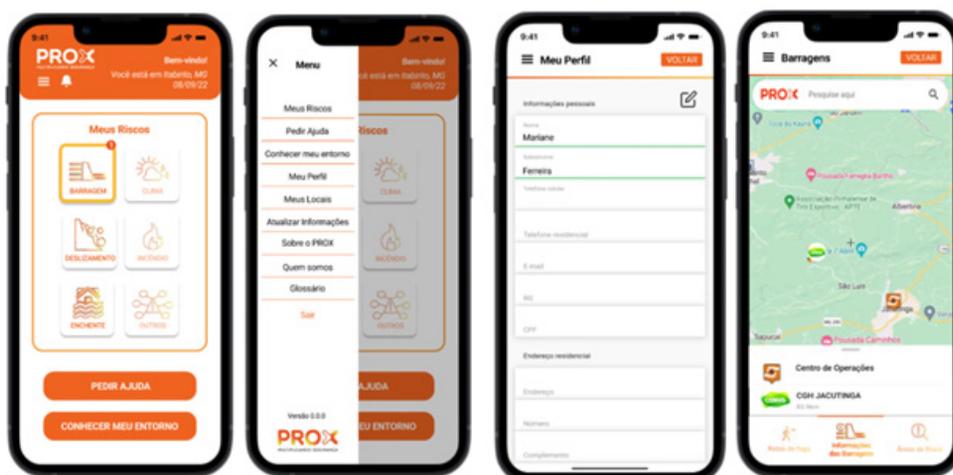


Figura 11 | Interface do perfil população. Fonte: Cemig.



De posse da publicação de informações de diferentes empreendedores para uma mesma região é possível realizar a sobreposição de manchas de ruptura, analisar e otimizar as rotas de fuga e pontos de encontro, para garantir a segurança e otimizar as ações em eventuais emergências. Além disso, os órgãos públicos podem inserir regiões de riscos naturais, como deslizamentos de terra e áreas de incêndio.

É fundamental no apoio aos órgãos de defesa civil, principalmente, às COMPDECs, que são os órgãos municipais responsáveis pela execução, coordenação e mobilização de todas as ações de defesa civil nos municípios. Basicamente, todas as informações e planejamento executados pela plataforma podem ser impressas a qualquer momento, preferencialmente, antes de eventos desastrosos, visto a necessidade de equipamentos computacionais e serviços como energia elétrica e internet estejam indisponíveis.

*Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil*

Dessa maneira, o município pode construir e atualizar seus Plancon e deixá-los prontos para a utilização no atendimento às contingências e na ocorrência de desastres. Ainda, as informações mapeadas poderão ser utilizadas para treinamentos e para simulações, facilitando os trabalhos de gestão e avaliação do planejamento de risco e desastres. Vale ainda destacar que as informações dos mapeamentos poderão ser facilmente atualizadas para que assim seja possível manter uma documentação de apoio consistente sempre que o Centro de Operação do Sistema é acionado.

*Planos de Contingência das Defesas Cíveis*

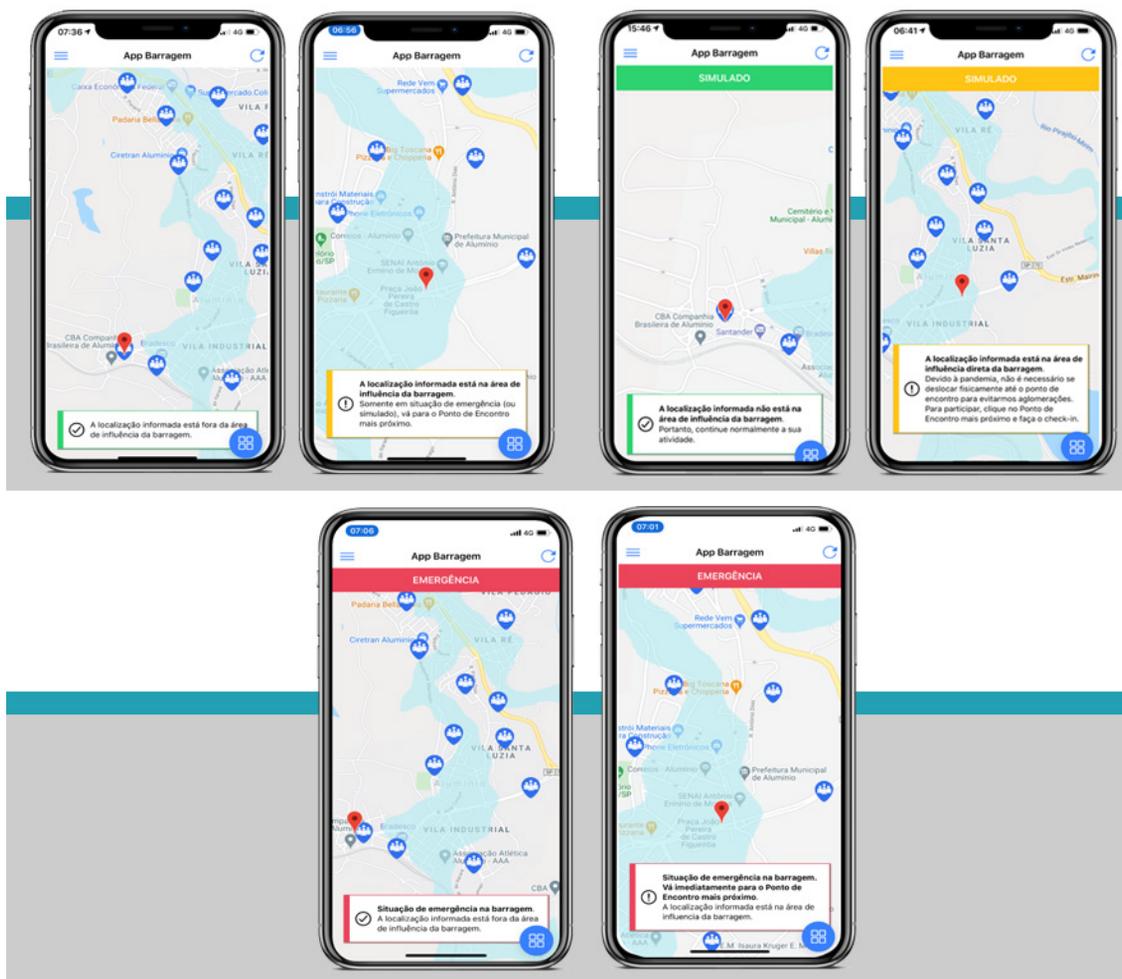
A transparência sobre os dados dos PAEs proporcionada aos moradores, busca não somente o atendimento legal, como também a melhoria da imagem das empresas nessas localidades, além de difundir a cultura de prontidão e emergência. Em resumo, provê ao usuário a percepção integrada do risco ao qual ele está exposto.

### 6.2.2 Alerta de Barragem

O aplicativo Alerta de Barragem – Alumínio foi desenvolvido pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), a fim de indicar ao usuário a área potencialmente afetada em caso de rompimento da Barragem Palmital, bem como a localização de todos os pontos de encontro externos à fábrica, no município de Alumínio, podendo ser utilizado como ferramenta de apoio durante as simulações preventivas promovidas pela CBA em parceria com a Defesa Civil.

Sua principal funcionalidade envolve uma interface que utiliza como fonte o Google Maps, indicando, na área em azul-claro, todo o recorte da área da Zona de Autoassalvamento da Barragem em Alumínio, além dos pontos de encontro que estão distribuídos pela cidade. Com isso é possível, por exemplo, fazer um percurso online e gravar sua rota, podendo ser utilizado para verificação do tempo de deslocamento da população até um ponto de encontro. O funcionamento pleno dos recursos do aplicativo depende da habilitação do GPS para identificação da localização do usuário e do sistema operacional do aparelho atualizado. Na Figura 12 é possível ver alguns modos de visualização do aplicativo.

Figura 12 | Interface do aplicativo. Fonte: CBA.



Em resumo, a incorporação de tecnologias avançadas na operacionalização de PAE de Barragem representa um salto significativo na capacidade de resposta diante de eventos críticos. A combinação de monitoramento em tempo real, automação, modelagem preditiva e sistemas de comunicação fortalece a eficácia das equipes de gestão de emergências, contribuindo para a segurança das comunidades e a proteção do meio ambiente em situações de crise.

A integração de dispositivos de notificação e gestão de risco na tecnologia de planos de ação de emergência para barragens é essencial para a segurança pública e ambiental. Os dispositivos de notificação, são essenciais para alertar as autoridades e a população potencialmente afetada sobre possíveis ameaças iminentes, permitindo a evacuação segura e a tomada de medidas preventivas. Por outro lado, os dispositivos de gestão de risco ajudam a identificar precocemente problemas potenciais em barragens, possibilitando a implementação de medidas preventivas de emergência, reduzindo significativamente os danos de incidentes graves.

