

Barragem da PCH Machado Mineiro



PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA – PAE **EVENTOS DE CHEIAS E RUPTURA**

Coordenador do PAE: Ivan Sérgio Carneiro

Entidade fiscalizadora: Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL

Código Único de Empreendimentos de Geração (CEG): PCH.PH.MG.001361-7.01

Documento nº PAE - PCH Machado Mineiro - revE

Responsável pela elaboração: Cemig GT

Municípios relacionados (MG):

Zona de Autossalvamento (ZAS): Águas Vermelhas e Ninheira

Revisão	Vigência	Motivo da revisão
E	20/04/2022	Revisão de apêndices e página de assinaturas



Sumário

I.	Controle de revisões e assinaturas dos responsáveis	4
II.	Informações gerais da barragem	5
A.	Apresentação.....	5
B.	Objetivo do PAE.....	5
C.	Caracterização da barragem	5
III.	Responsabilidades gerais no PAE	8
A.	Empreendedor	8
B.	Coordenador do PAE	8
C.	Equipe técnica.....	9
D.	Plantonista de cheias.....	9
E.	Sistema de Proteção e Defesa Civil e demais autoridades	10
IV.	Níveis de resposta – Identificação e análise das possíveis situações de emergência	10
A.	Caracterização do Nível de Resposta – CHEIAS	13
B.	Caracterização do Nível de Resposta 2 – ALERTA.....	14
C.	Caracterização do Nível de Resposta 3 – EMERGÊNCIA	14
V.	Procedimentos de notificação e alerta	15
A.	Fluxograma de ações e notificação em situação de CHEIAS	15
B.	Fluxograma de ações e notificação em situação de ALERTA	16
C.	Fluxograma de ações e notificação em situação de EMERGÊNCIA.....	16
VI.	Procedimentos preventivos e corretivos em situações de alerta e emergência	17
A.	Zona de Autossalvamento (ZAS)	17
B.	Monitoramento de vazões	17
C.	Parâmetros para início da comunicação	20
VII.	Encerramento das operações	20
VIII.	Apêndices	21
A.	Ficha Técnica da Barragem	22
B.	Mensagem de notificação Padrão	24

C.	Premissas e resultados dos estudos de ruptura hipotética (Fractal, 2018)	25
•	Modo RDC 1: Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, durante evento de vazão decamilenar (1053 m ³ /s).....	25
•	Modo RDC 2: Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, em dia seco, com vazão média de longo termo (23,1 m ³ /s)	27
•	Modo RDC 3: Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural na margem direita, durante evento de vazão de TR 2 anos (127 m ³ /s).....	28
•	Modo RDC 4: Rompimento por piping no contato entre a barragem e a porção direita do vertedouro, durante evento de vazão decamilenar (1.053 m ³ /s)	30
D.	Quantificação de atingidos e pontos de inundação	32
E.	Tempos de chegada e pico de onda para cenários de ruptura	36
F.	Lista de mapas temáticos e manchas de inundação	41
IX.	Apêndices Externos	43
G.	Controle de distribuição digital deste PAE	44
H.	Plano de chamadas para notificação deste PAE	45

I. Controle de revisões e assinaturas dos responsáveis

Revisão	Vigência	Motivo da revisão
A	21/12/2017	Emissão inicial
B	30/06/2019	Atualização dos estudos de ruptura
C	01/02/2020	Revisão de informações da barragem, níveis de resposta e contatos
D	01/09/2020	Revisão de apêndices e página de assinaturas
E	20/04/2022	Revisão de apêndices e página de assinaturas

<p>Assinatura Eletrônica 27/04/2022 15:49 UTC</p>  <p>BRy 103.***.***.45 Diogo Carneiro Ribeiro Bueno Martins</p>	<p>Assinatura Eletrônica 27/04/2022 22:59 UTC</p>  <p>BRy 045.***.***.70 Ivan Sergio Carneiro</p>
<p>Diogo Carneiro Ribeiro Bueno Martins Responsável Técnico pela Elaboração do PAE CREA-MG: 163375/D</p>	<p>Ivan Sérgio Carneiro Coordenador Executivo do PAE Gerente de Planejamento Energético</p>

<p>Assinatura Eletrônica 28/04/2022 12:00 UTC</p>  <p>BRy 043.***.***.59 HENRIQUE SIQUEIRA DE CASTRO</p>	<p>Assinatura Eletrônica 28/04/2022 12:44 UTC</p>  <p>BRy 053.***.***.69 thadeu carneiro da silva</p>
<p>Aprovado por: Henrique Siqueira de Castro Superintendência de Operação de Ativos da Geração e Transmissão</p>	<p>Responsável Legal: Thadeu Carneiro da Silva Diretor da Cemig Geração e Transmissão</p>

II. Informações gerais da barragem

A. Apresentação

O presente Plano de Ação de Emergência (PAE) visa a apresentar os riscos mapeados a partir do estudo da onda de inundação provocada por eventual ruptura da barragem da PCH Machado Mineiro, para atendimento regulatório à Lei Federal de Segurança de Barragens nº 12.334/2010 e Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015. Serão apresentadas as premissas adotadas e as cartas temáticas de cada cenário simulado. Trata-se da formalização das ações externas à operação e manutenção do empreendimento, que devem ser tomadas ao longo de um evento de emergência. Além dos cenários hipotéticos de ruptura, serão apresentados os resultados de manchas de inundação para cheias naturais intermediárias, antecipando as ações de preparação e remoção de pessoas

B. Objetivo do PAE

Este documento tem como objetivo facilitar a comunicação entre o empreendedor e entidades públicas, proteger o patrimônio de terceiros e minimizar riscos de acidentes com pessoas, mantendo recursos humanos e materiais preparados para a resposta de emergências. Trata-se de um documento formal de fornecimento de informações para as Defesas Civas municipais envolvidas prepararem seus Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCON para alagamentos, enchentes e tempestades. Tais planos estabelecem os procedimentos a serem adotados pelos órgãos envolvidos direta ou indiretamente na resposta a emergências e desastres relacionados a estes eventos naturais e de ruptura de barragem.

Além das ações externas de comunicação e mapeamento do risco, cabe à equipe ligada à operação e manutenção da barragem a adoção de medidas de controle, prevenção e correção. Assim, é elaborado um documento complementar denominado Plano de Ações Emergenciais da Central - PAEC com o objetivo de apoiar a tomada de decisão e orientar as ações em situações intempestivas e severas, associadas à segurança da central. Trata-se de um documento da instalação onde se definem as ações internas do empreendedor que visam recuperar as condições de segurança estrutural e operacional da barragem.

C. Caracterização da barragem

A PCH Machado Mineiro (Figura 1) é um empreendimento concedido à Horizontes Energia S.A., e iniciou sua operação em 1992, tendo sido construída entre os municípios de Ninheira e Águas Vermelhas – MG, no rio Pardo. A usina conta com duas unidades geradoras, totalizando 1,72 MW de potência instalada. A barragem da PCH Machado Mineiro está localizada no rio Pardo, no município de Águas Vermelhas, Minas Gerais, nas coordenadas 15°31'21" Sul e 41°30'40" Oeste.

Composta por barramentos de terra, enrocamento com núcleo de argila e concreto, a barragem da PCH Machado Mineiro possui cerca de 360 m de comprimento de crista e 42 m de altura máxima. Seu reservatório funciona a fio d'água, possuindo cerca de 19,63 km² de área inundada no N.A. Máximo Normal e capacidade máxima de acumulação de 200,95 hm³. O sistema extravasor da PCH Machado Mineiro é composto por Vertedouro de Soleira Controlada (VS), provido de 3 (três) comportas segmento de 10,50 m de altura e 8 m de largura, totalizando uma capacidade máxima de descarga de 2029 m³/s. A casa de força da PCH Machado Mineiro (Figura 2) é do tipo abrigada, e conta com duas turbinas do tipo Francis de eixo horizontal. A restituição da vazão turbinada ocorre por canal de fuga, no leito do rio Pardo.



Figura 1 – Vista da barragem

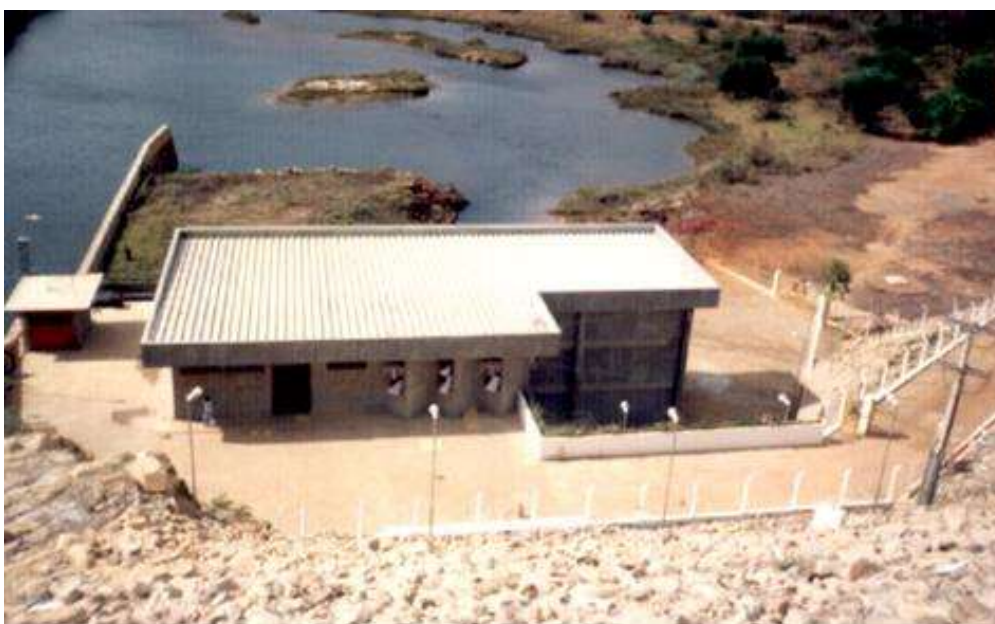


Figura 2 – Casa de força

Construída em concreto, a tomada d'água da PCH Machado Mineiro conta com três vãos, totalizando 44,70 m de comprimento de crista. Sua concepção foi realizada com o intuito de atender aos sistemas de perenização (3,78 m³/s), irrigação (4,60 m³/s) e geração de energia (vazão máxima de 12 m³/s). A água aduzida é conduzida por dois condutos forçados, localizados dentro da galeria de adução, os quais alimentarão duas unidades geradoras localizadas na casa de força da PCH Machado Mineiro.

O acesso à PCH Machado Mineiro, a partir de Belo Horizonte, faz-se pela BR-381, sentido Governador Valadares, conforme mostrado na Figura 3. A partir dessa cidade, toma-se a BR-116, sentido Teófilo Otoni. Segue-se por essa rodovia até o município de Cachoeira de Pajeú – MG e, a partir de então, deve-se seguir até a cidade de Águas Vermelhas – MG, tomando o caminho sinalizado até a PCH Machado Mineiro. Esse percurso é realizado em estrada não pavimentada por cerca de 48 km, dando acesso à margem direita da barragem de Machado Mineiro. O acesso à margem esquerda é feito pela ponte rodoviária acima do barramento.



Figura 3 – Localização e acesso

III. Responsabilidades gerais no PAE

A. Empreendedor

A Cemig GT é a responsável pelas ações em segurança de barragens de estruturas do Grupo CEMIG. Considerando as suas equipes multidisciplinares, o empreendedor é responsável por:

- zelar pela segurança estrutural e operacional da barragem;
- dispor de equipe capacitada para monitorar, operar e reparar as estruturas, quando necessário;
- providenciar a elaboração e atualizar o PAE;
- promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
- participar de simulações de situações de emergência, em conjunto com as prefeituras e organismos de defesa civil quando convocado.

B. Coordenador do PAE

O Coordenador do PAE é responsável, por delegação do empreendedor, pelas seguintes ações:

- detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial, de acordo com os níveis e código de cores padrão definidos no PAEC e no PAE;
- declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE a ele atribuídas;
- executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- notificar as autoridades públicas e usuários da água em caso de situação de emergência;
- emitir declaração de encerramento da emergência;
- providenciar a elaboração do relatório de fechamento de eventos de emergência.

Cabe ainda ao coordenador do PAE garantir que os envolvidos no PAE sejam capacitados e treinados, assegurando o estado de prontidão na barragem, a implantação do PAE interno (PAEC) e integração deste PAE externo aos planos de contingência municipais, promover atualização e revisão do PAE e demais atividades sob sua responsabilidade definidas no PAE.

No presente plano, as atividades de coordenação serão assumidas pelo Gerente de Planejamento Energético da Cemig GT, que coordena a operação da usina. O coordenador fica lotado no escritório da Cemig GT em Belo Horizonte durante horário comercial, e suas informações de contato estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Contato Coordenador do PAE

Contato de Emergência	Forma de comunicação
Coordenador do PAE Ivan Sérgio Carneiro Gerente de Planejamento Energético	

C. Equipe técnica

Conforme previsto na Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015, “a equipe técnica de segurança de barragem deverá ser composta por profissionais treinados e capacitados, os quais deverão realizar as atividades relacionadas às inspeções de segurança de barragens”.

Para ações de segurança de barragem, a Cemig GT conta com uma equipe civil e um coordenador técnico civil, além de equipes locais de apoio, cujas responsabilidades concentram-se nas ações internas de gestão de emergência descritas no PAEC (documento interno), contendo os seus contatos e hierarquia.

D. Plantonista de cheias

É responsável, por delegação do empreendedor, pelas seguintes ações:

- detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial, de acordo com os níveis e código de cores padrão definidos no PAEC e no PAE;
- acionar o Coordenador do PAE;
- declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE, na ausência do Coordenador do PAE;
- executar as ações de comunicação no fluxograma de notificação;
- atuar na tomada de decisão operativa de alteração da defluência da usina e operação do reservatório;
- notificar as autoridades públicas e usuários da água em caso de situação de emergência.

No presente Plano, as atividades supracitadas serão assumidas pela equipe de engenheiros da Cemig GT, conforme suas atribuições de contrato de prestação de serviços. Em horário comercial, é mantido o monitoramento das condições hidrológicas e programação da geração. A equipe é designada para seguir em regime de sobreaviso a partir de uma avaliação das condições meteorológicas da bacia, realizada sob demanda. O monitoramento e os contatos dar-se-ão de maneira remota, estando a equipe lotada na sede da Cemig GT, em Belo Horizonte.

Tabela 2 - Contato Plantonista de Cheias

Contato de Emergência	Forma de comunicação
Equipe de engenheiros plantonistas para monitoramento de cheias	

E. Sistema de Proteção e Defesa Civil e demais autoridades

Os órgãos que compõem o Sistema de Proteção e Defesa Civil, conforme Lei Federal nº 12.608/2012, são responsáveis por:

- identificar e mapear as áreas de risco de desastres relacionados a cheias;
- elaborar Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil e instituir órgãos municipais de defesa civil, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC;
- promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;
- realizar regularmente exercícios simulados, conforme Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil;
- estimular a participação de entidades privadas, associações de voluntários, clubes de serviços, organizações não governamentais e associações de classe e comunitárias nas ações do SINPDEC e promover o treinamento de associações de voluntários para atuação conjunta com as comunidades apoiadas.

Além disso é importante que os órgãos locais informem o empreendedor no caso de alteração de risco associado às vazões mapeadas.

IV. Níveis de resposta – Identificação e análise das possíveis situações de emergência

O nível de resposta do Plano de Ação de Emergência é a gradação dada às situações de emergência em potencial da barragem que possam comprometer a segurança da própria barragem e a ocupação na área afetada. Ao detectar-se uma situação que possivelmente comprometa a segurança da barragem e/ou de áreas no vale a jusante, dever-se-á avaliá-la e classificá-la, de acordo com o nível de resposta, conforme código de cores padrão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos níveis de resposta



As ações internas nos níveis de resposta de 0 (normal) a 3 (vermelho) estão detalhadas no Plano de Emergência da Barragem, integrante do Plano de Ações de Emergência da Central (PAEC), localizados na instalação e junto às equipes remotas de operação. São procedimentos **internos** que orientam as equipes do empreendimento nos treinamentos e na gestão de emergências internas à central. Além disso, o PAEC possui todos os limites de monitoramento para instrumentação e identificação de anomalias no estado da barragem.

A Tabela 4, **QUADRO DE RESPOSTAS**, apresenta os níveis de alerta para ocorrências excepcionais ou circunstâncias anômalas, assim como possíveis ações preventivas ou corretivas a serem tomadas para cada nível de resposta. Podem ocorrer cenários diferentes dos apontados, que devem ser avaliados e tratados pelo Coordenador do PAE, equipe local e equipe técnica do empreendimento.

Tabela 4 – Procedimentos identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem

Ocorrência	Cenários Possíveis	Eventuais medidas de intervenção	Nível	
O&M	Instrumentação	Ausência de monitoramento, análise ou manutenção	Normal (Verde)	
		Resultados anômalos da instrumentação de auscultação da barragem		
	Equipamentos	Indisponibilidade total do sistema de monitoramento de níveis e afluência de cheias (previsão)	Executar manutenção com urgência. Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Atenção (Amarelo)
Anomalias na barragem, ombreiras e área a jusante	Trincas	Trincas superficiais	Monitorar visualmente ou através de instrumento. Fazer registro de todas as medidas. Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Normal (Verde)
		Trincas profundas estáveis, documentadas e monitoradas.		
		Presença de trincas transversais e longitudinais profundas sem percolação de água: <ul style="list-style-type: none"> • Que não estabilizam • Passantes ou não, de montante para jusante 		
	Surgências (áreas encharcadas, água surgindo ou infiltrações)	Presença de trincas transversais passantes, de montante para jusante, com percolação de água	Monitorar visualmente ou através de instrumento Fazer registro de todas as medidas Projetar e executar tratamento Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Atenção (Amarelo)
		Surgência de água próximo à barragem ou ombreiras: <ul style="list-style-type: none"> • Não documentada e/ou não monitorada • Com carreamento de materiais de origem desconhecida • Aumento das infiltrações com o tempo • Água saindo com pressão 		
	Abatimento / Deslizamento	Surgência incontrolável com erosão interna em andamento.	Projetar e executar tratamento em caráter emergencial	Alerta (Laranja)
	Recalque diferencial excessivo	Deslizamento do maciço através da crista ou talude, reduzindo borda livre e/ou seção transversal	Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	
	Deslizamento	Recalque diferencial excessivo entre blocos, reduzindo borda livre, permitindo passagem excessiva de água entre juntas. Deslizamento entre blocos das estruturas, permitindo passagem excessiva de água entre juntas.		
Sistema de Aviso	Período seco	Impossibilidade de notificação	Corrigir sistema Responsável: equipe técnica de segurança de barragem	Normal (Verde)
	Período chuvoso	Impossibilidade de notificação	Corrigir sistema com urgência Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Atenção (Amarelo)

Ocorrência		Cenários Possíveis	Eventuais medidas de intervenção	Nível
Cheias	Nível	Nível de água acima do Máximo Maximorum	Se possível, reduzir nível através do aumento do vertimento Responsável: plantonista de cheias	Alerta (Laranja)
	Galgamento da barragem	Galgamento da barragem iniciado	Se possível, reduzir nível através do aumento do vertimento. Acionar fluxo de comunicação. Iniciar estado de alerta no vale a jusante. Responsável: plantonista de cheias	
Ruptura da Barragem		<ul style="list-style-type: none"> Tombamento da barragem Abertura de brecha no maciço com descarga incontrolável de água Colapso completo do maciço 	Acionar fluxo de comunicação. Iniciar evacuação do vale a jusante. Responsável: plantonista de cheias	Emergência (Vermelho)

A. Caracterização do Nível de Resposta – CHEIAS

O **Nível de Resposta – CHEIAS** é um dos níveis que acionam este Plano de Ações de Emergência, ou seja, quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem não comprometem a segurança da barragem, mas estão sendo monitorados eventos hidrológicos naturais que podem provocar inundação no vale de jusante. Assim, o presente PAE será acionado à medida que for verificado um evento de cheia que coloque pessoas sujeitas a situação de inundação. O primeiro contato de comunicação é realizado visando à tomada de medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos para cada escala de evento identificado.

Verifica-se que, mesmo para vazões abaixo da vazão de projeto dos vertedouros das barragens, existem impactos significativos para a população de jusante. Assim, é importante manter a comunicação entre a operação do empreendimento e os órgãos de proteção e defesa civil dos municípios. De forma a aumentar a eficiência da comunicação com as autoridades, em situações de CHEIAS (**Nível de Resposta – CHEIAS**), busca-se que o presente PAE seja um instrumento que formaliza a disponibilidade de comunicação entre empreendedor e agentes locais.

Sinteticamente, para o **Nível de Resposta - CHEIAS**:

- a barragem não apresenta uma anomalia que comprometa a sua segurança no curto prazo;
- entende-se que a segurança do vale à jusante está sob ameaça monitorada e será necessário acionar os procedimentos de comunicação e notificação externos previstos no PAE para preparação dos órgãos para resposta à situação de inundação;
- pode ser necessária evacuação da população a jusante.

Dessa forma, para possibilitar a melhor preparação possível para situações que requeiram o acionamento de **Nível de Resposta - CHEIAS**, que ocorrem naturalmente e com frequência, são apresentadas as cartas de inundação para eventos hidrológicos (sem ruptura de barragens) no vale a jusante da barragem de Machado Mineiro, correspondentes aos Tempos de Retorno (TR) de 2, 10, 50, 100, e 10.000 anos.

B. Caracterização do Nível de Resposta 2 – ALERTA

O **Nível de Resposta 2 – Alerta** é um dos níveis que aciona este Plano de Ações de Emergência, ou seja, quando as **anomalias apresentam evolução rápida**, podendo **comprometer no curto prazo a segurança da barragem**. O primeiro contato de comunicação é realizado objetivando que sejam tomadas medidas para evitar perdas de vidas humanas e reduzir prejuízos materiais para cada escala de evento identificado.

De forma a aumentar a eficiência da comunicação com as autoridades de proteção e defesas civis, em situações de **ALERTA (Nível de Resposta 2 – ALERTA)** as autoridades são avisadas preventivamente. Em tal situação, espera-se que as ações a serem tomadas pelo empreendedor evitem a ruptura, mas a situação pode sair do controle.

Sinteticamente:

- a barragem apresenta uma **anomalia significativa que está sendo tratada**;
- julga-se que **há risco de ações** em andamento na barragem **não evitem a sua ruptura**;
- entende-se que a segurança do vale a jusante está sob **ameaçada controlada** e será necessário acionar os procedimentos de comunicação e notificação externos previstos no PAE para preparação dos órgãos para resposta a situação de emergência;
- Pode ser necessária evacuação interna e externamente;
- Avisar/alarmar a Zona de Autossalvamento.

C. Caracterização do Nível de Resposta 3 – EMERGÊNCIA

O **Nível de Resposta 3 – EMERGÊNCIA** é o nível que aciona este PAE acerca de alguma fragilidade estrutural da barragem, ou seja, quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem representem risco de ruptura iminente, ou a barragem já se está rompendo, devendo ser tomadas medidas para a preservação de vidas e a redução dos danos materiais decorrentes do colapso da barragem.

Sinteticamente:

- a barragem já se rompeu, está rompendo-se ou tem ruptura iminente;
- julga-se que as ações em andamento na barragem não evitarão a sua ruptura;
- entende-se que a segurança do vale a jusante está gravemente ameaçada e será necessário acionar os procedimentos de comunicação e notificação externos previstos no PAE para iminente ruptura;
- evacuação necessária interna e externamente;
- deve-se avisar/alarmar a Zona de Autossalvamento;

- acionam-se os procedimentos de comunicação e notificação previstos no PAE para ruptura em progresso e as ações de evacuação previstas nos planos de contingências das comunidades à jusante.

Para esse nível de resposta foi possível apresentar em cartas de inundação a espacialização das manchas em decorrência da ruptura hipotética da barragem, avaliando então a região de impacto incremental da onda de cheia ao longo do vale de jusante. O modelo hidráulico foi elaborado ao longo do rio Pardo e, dada a incerteza de como uma barragem pode se romper e seus reais efeitos, foi realizado um estudo de ruptura hipotética, considerando seis diferentes cenários de ruptura.

V. Procedimentos de notificação e alerta

A. Fluxograma de ações e notificação em situação de CHEIAS

O fluxograma de ações e notificação durante uma situação de **CHEIAS** possui um caráter de prevenção de impactos causados por eventos naturais. Os contatos que fazem parte do Plano de Chamadas – Apêndice devem contar com atualizações e verificações frequentes, e os dados que subsidiam a tomada de decisões operativas fazem parte da rotina de monitoramento das condições hidrológicas da bacia e das instruções operativas e documentos internos do empreendimento. O quadro da Figura 4 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de **CHEIAS**.

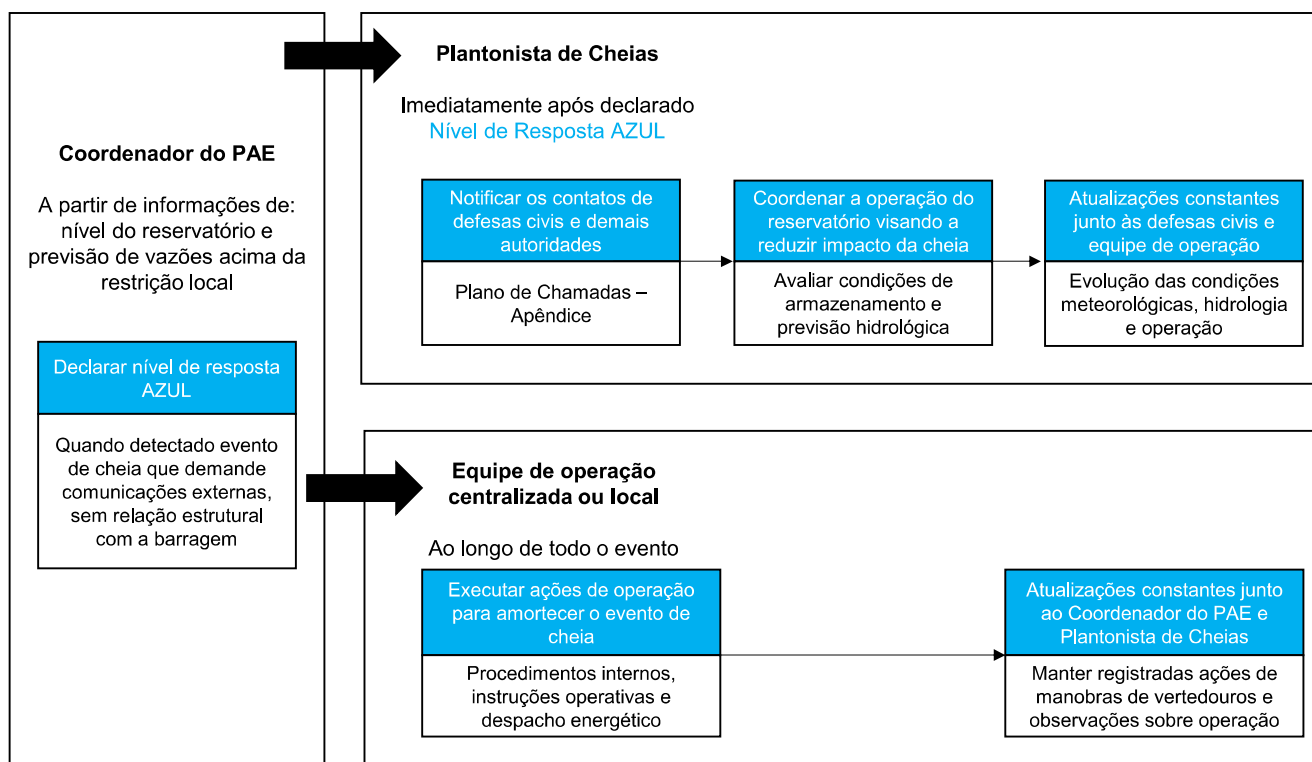


Figura 4 - Fluxograma em situação de CHEIAS

B. Fluxograma de ações e notificação em situação de ALERTA

O fluxograma de ações e notificação durante uma situação de **ALERTA** possui um caráter de prevenção de impactos causados por um possível insucesso nas ações em andamento para tratar de anomalia estrutural da barragem. Os contatos que fazem parte do Plano de Chamadas – Apêndice devem contar com atualizações e verificações frequentes, e os dados que subsidiam a realização de ações para controle de anomalias e reduzir o nível de resposta, bem como de evacuações, fazem parte do PAEC, documento interno do empreendimento. O quadro da Figura 5 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de situação de **ALERTA**.

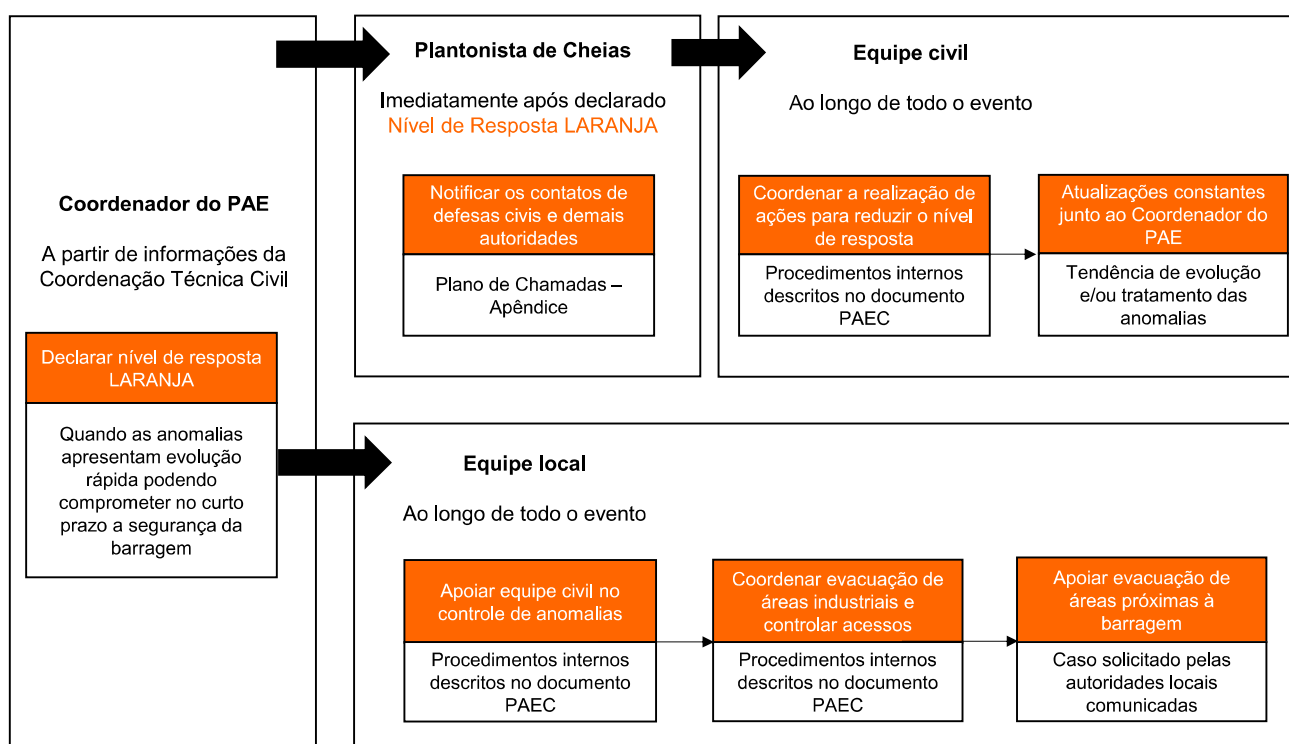


Figura 5 - Fluxograma em situação ALERTA

C. Fluxograma de ações e notificação em situação de EMERGÊNCIA

O fluxograma de ações e notificação durante uma situação de **EMERGÊNCIA** possui um caráter de mitigação de impactos causados pela ruptura da barragem, que, nesta altura, considera-se não ser mais possível evitar. Os contatos que fazem parte do Plano de Chamadas – Apêndice devem contar com atualizações e verificações frequentes, e os dados que subsidiam a realização de ações de salvamento e evacuações, bem como a tomada de decisões sobre um eventual esvaziamento do reservatório, fazem parte do PAEC, documento interno do empreendimento. O quadro da Figura 6 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de situação de **EMERGÊNCIA**.

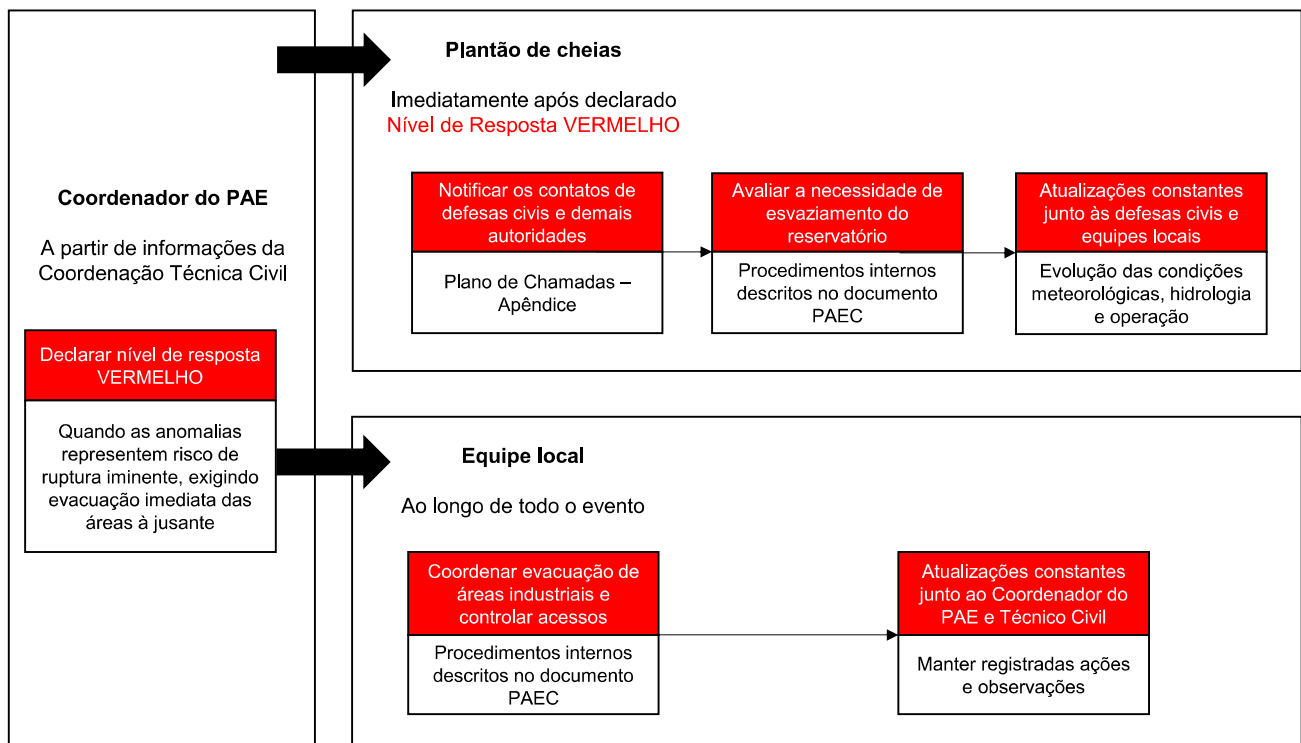


Figura 6 - Fluxograma em situação EMERGÊNCIA

VI. Procedimentos preventivos e corretivos em situações de alerta e emergência

A. Zona de Autossalvamento (ZAS)

De acordo com recomendações de FEMA (2013) e FERC (2014), bem como de documentação da ANA (2017), a Zona de Autossalvamento (ZAS) é definida como a região, imediatamente a jusante da barragem, em que se considera não haver tempo suficiente para uma adequada intervenção dos serviços e agentes de proteção civil em caso de acidente. Sua extensão é definida pela menor das seguintes distâncias: 10 km ou a distância percorrida pela onda de inundação em trinta minutos.

No caso da PCH Machado Mineiro, a menor distância é representada pelo tempo de chegada da onda de inundação igual a 30 min, totalizando uma ZAS de, aproximadamente, 5,70 km. No decorrer desse trecho observam-se diversos aglomerados populacionais, em especial na porção inicial, próximo ao pé da barragem Machado Mineiro.

B. Monitoramento de vazões

Além dos dados operativos da PCH Machado Mineiro, para a emissão de alertas para o vale do rio Pardo, serão monitorados os seguintes pontos de controle durante emergências: Pelo portal Gestor PCD da Agência Nacional de Águas – ANA é possível verificar os dados em tempo real dos postos de monitoramento: <http://gestorpcd.ana.gov.br/gerarGrafico.aspx>. Para selecionar os postos de

interesse, escolhe-se a Bacia: 5 – Atlântico, Trecho Leste, Sub-bacia: 53 – Rios Pardo, Cachoeira e outros, e Estação: conforme listagem abaixo.

Obs.: Será exibido um gráfico com os dados de nível e precipitação. Para visualização dos dados de vazão, selecionar a opção “Exibir Tabela”. A tabela com os dados será exibida abaixo do gráfico. Para visualização dos dados, selecionar os postos de interesse conforme listagem abaixo.

- 53460500 - Passagem das águas (Operado pela ANA):

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=154042270&codEstacao=53460500>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?bac=5&sub=53&est=154042271>

- 53470000 - CH Morais Jusante (Operado pela ANA):

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=154242220&codEstacao=53470000>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?bac=5&sub=53&est=154242220>

- 53493000 - PCH Machado Mineiro Lagoa da Pedra

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=154242090&codEstacao=53493000>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?bac=5&sub=53&est=154242090>

- 53500001 - PCH Machado Mineiro Rio São João do Paraíso

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=153341580&codEstacao=53500001>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?org=3&bac=5&sub=53&est=153341580>

- 53510080 - PCH Machado Mineiro Barramento

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=15314130&codEstacao=53510080>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?org=3&bac=5&sub=53&est=15314130>

- 53540001 - Vereda Do Paraíso (Operado pela ANA e pela Horizontes)

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=152941270&codEstacao=53540001>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?org=5&bac=5&sub=53&est=152941270>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?org=3&bac=5&sub=53&est=152941271>

- 53620000 - Cândido Sales

<http://gestorpcd.ana.gov.br:80/gerarGrafico.aspx?estCodigo=153041140&codEstacao=53620000>

<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/DadoPesquisar.aspx?org=5&bac=5&sub=53&est=153041140>

A Figura 7 apresenta um exemplo de visualização no Portal Gestor PCD.

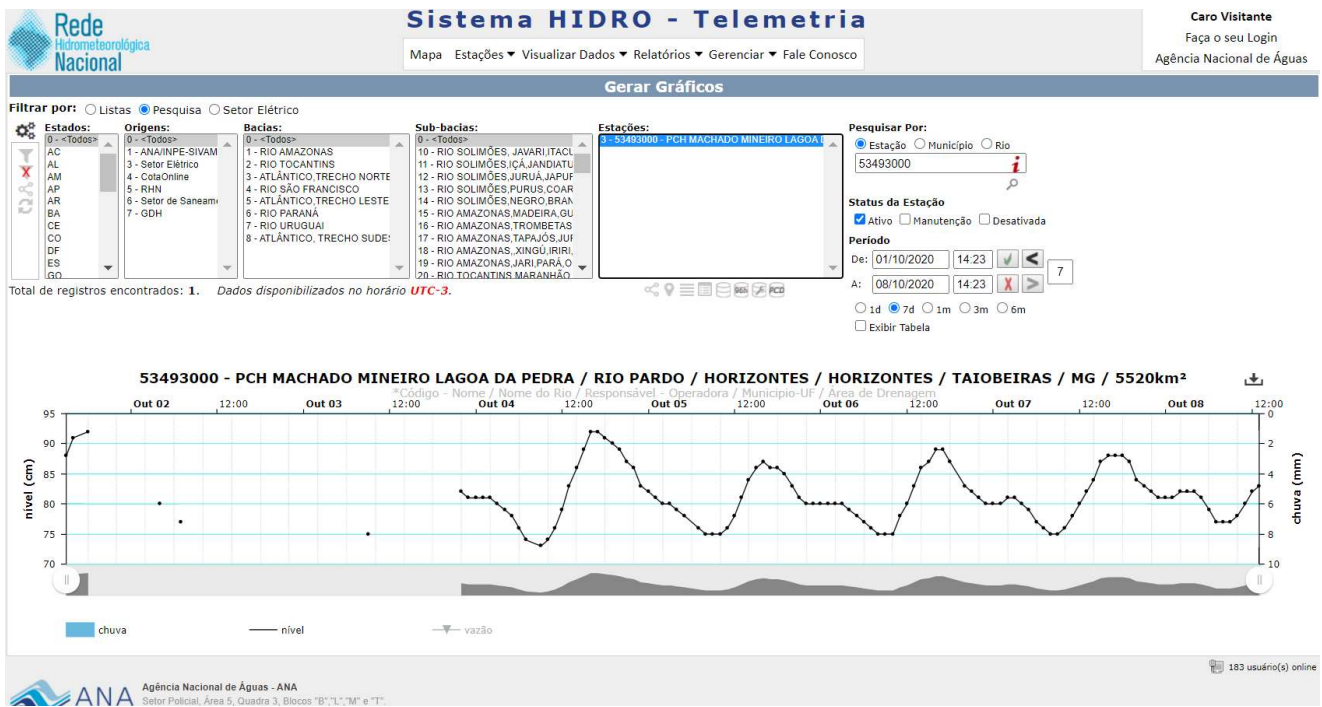


Figura 7 - Visualização Portal Gestor PCD

A Figura 8 apresenta a posição dos postos que permitem o monitoramento de vazões afluentes e defluentes da PCH Machado Mineiro, antecipando eventos de cheias e acompanhando o avanço de onda de ruptura. É possível acessar a versão online do mapa de monitoramento da PCH Machado Mineiro via endereço: http://bit.ly/FLU_MACHADOMINEIRO



Figura 8 - Pontos de monitoramento hidrométrico

C. Parâmetros para início da comunicação

O monitoramento de vazões ordinárias da PCH Machado Mineiro será realizado através dos 4 postos hidrométricos operados pela empresa. O primeiro acionamento de comunicação será realizado assim que haja a possibilidade de ultrapassagem da vazão de restrição:

$$Q_r = 350 \text{ m}^3/\text{s}$$

Os primeiros problemas ocorrerão com transbordamentos generalizados na calha do rio e risco de inundação na Casa de Força da usina. A jusante da usina se encontra o distrito de Vereda do Paraíso, que pertence ao Município de São João do Paraíso, que provavelmente também será afetado por vazões dessa ordem.

VII. Encerramento das operações

Uma vez que as condições indiquem que não existe mais uma emergência no local da barragem e que a Cemig GT declarou que a barragem está segura, o Coordenador do PAE deverá contatar a COMPDEC e/ou a CEDEC que irão acompanhar a evolução das inundações no vale e decretar o fim da emergência, e conseqüentemente o regime de monitoramento de cheia.

VIII. Apêndices

A. Ficha Técnica da Barragem

(1) Geral	
Nome do barramento	PCH Machado Mineiro
Empreendedor	Horizontes Energia S.A.
Entidade Fiscalizadora	ANEEL
Localização	
- Curso de água barrado	Rio Pardo
- Município	Ninheira e Águas Vermelhas
- Unidade da Federação	Minas Gerais (MG)
- Coordenadas do Empreendimento	Lat. 15°31'21"S Long. 41°30'40"O
(2) Reservatório	
NA Montante – Reservatório:	
- Máximo Maximorum [m-IBGE]	690,30
- Máximo Normal [m-IBGE]	688,00
- Mínimo Normal [m-IBGE]	678,00
NA Jusante	
- Máximo Normal [m-IBGE]	666,00
Áreas Inundadas:	
- No NA Máximo Maximorum [km ²]	23,56
- No NA Máximo Normal [km ²]	19,63
- No NA Mínimo Normal [km ²]	8,61
Volume do Reservatório:	
- No N.A. Máximo Maximorum [hm ³]	250,35
- No N.A. Máximo Normal [hm ³]	200,95
- No N.A. Mínimo Normal [hm ³]	63,27
(3) Barragem	
- Material	Terra, enrocamento com núcleo argiloso e concreto
- Comprimento da Crista [m]	360,00
- Altura máxima em relação à fundação [m]	42
- Cota da Crista [m-IBGE]	692,00
(4) Sistema de descarga	
Tipo	Vertedouro Soleira Controlada (VS)
Vazão de Projeto [m ³ /s] – TR 10.000 anos	1.053,00
Cota da Soleira [m-IBGE]	678,00
Número de vãos	3
Número de comportas	3
Tipo de comportas	Segmento
Dimensões das comportas	

- Altura [m]	10,50
- Largura [m]	8,00
(5) Tomada d'Água	
Tipo	Gravidade
Comprimento [m]	44,70
Galeria de Adução	
- Material	concreto
- Comprimento [m]	88,50
Conduto Forçado	
- Número de Condutos	2
(6) Casa de Força	
Tipo	Abrigada
Número de Unidades Geradoras	2
Turbinas Hidráulicas	
- Tipo	Francis - eixo horizontal
- Potência Instalada Total [MW]	1,72

B. Mensagem de notificação Padrão**URGENTE**

Esta é uma mensagem de (declaração / alteração) do Nível de Segurança, feita por _____, Coordenador do PAE Plano de Ação de Emergência – PAE da Barragem da PCH Machado Mineiro.

A partir das ____:____ h de ____/____/_____, foi ativado o Nível de Segurança _____ do Plano de Ação de Emergência – PAE da Barragem da PCH Machado Mineiro devido _____.

A causa da declaração é (descrição mínima da situação, identificação da condição anormal, possíveis danos, risco de ruptura potencial ou real, etc.).

Esta mensagem está sendo enviada simultaneamente a _____, _____ e _____.

As circunstâncias ocorridas fazem com que devam se precaver e pôr em ação as recomendações e atividades delineadas em sua cópia do Plano de Ação de Emergência - PAE da Barragem PCH Machado Mineiro.

Nós os manteremos atualizados da situação em caso de mudança do Nível de Segurança, caso ela se resolva ou se torne pior. Nova Comunicação será emitida dentro de _____ horas ou de hora em hora, para sua atualização.

A PCH Machado Mineiro possui uma barragem de terra, enrocamento com núcleo argiloso e concreto, localizadas no rio Pardo. O volume máximo de armazenamento é de 200,95 hm³, e uma ruptura pode causar mudança significativa nas vazões do rio Pardo.

A Zona de Autossalvamento (ZAS) adotada corresponde a 10 km a partir do barramento, e englobam aglomerados populacionais ao longo do curso do rio Pardo.

FIM DA MENSAGEM

C. Premissas e resultados dos estudos de ruptura hipotética (Fractal, 2018)

Premissas:

Para o **Nível de Resposta 3 – Emergência**, foram simulados quatro cenários hidrológicos de ruptura para a barragem de Machado Mineiro, sucintamente descritos a seguir.

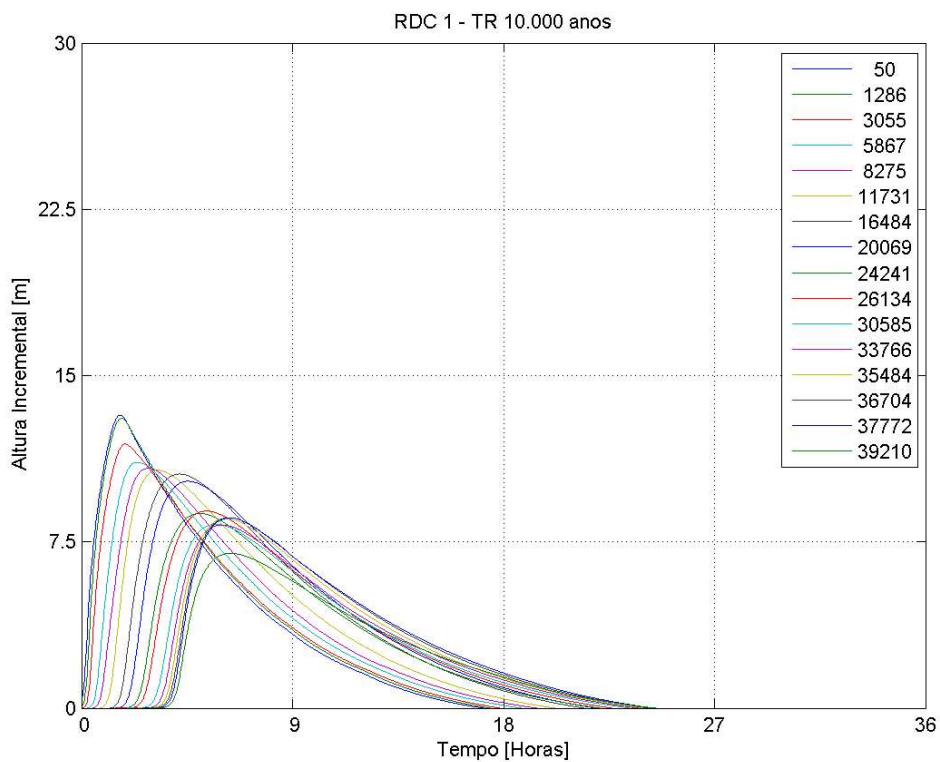
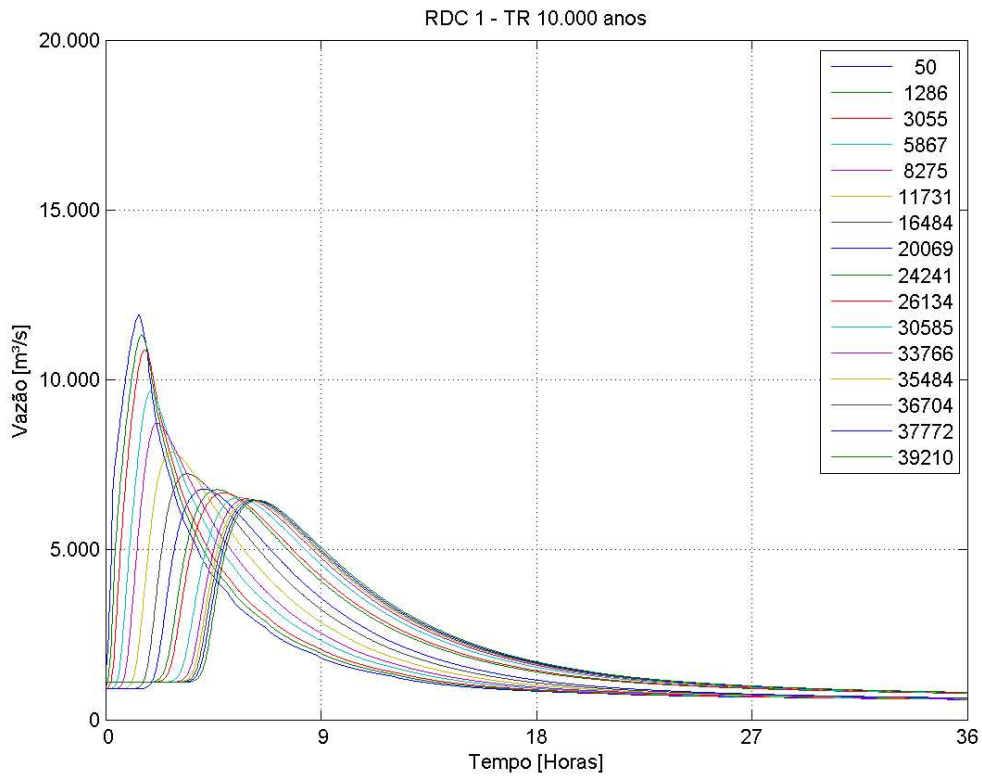
- **Modo RDC 1** – Rompimento por *piping* no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, durante evento de vazão decamilenar (1053 m³/s) com reservatório na cota de 685,96 m;
- **Modo RDC 2** – Rompimento por *piping* no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, em dia seco, com vazão média de longo termo (23,1 m³/s), e o reservatório cota de 678,71 m;
- **Modo RDC 3** – Rompimento por *piping* no contato entre a barragem e o terreno natural na margem direita, durante evento de vazão de TR 2 anos (127 m³/s), com o reservatório na cota de 679,90 m;
- **Modo RDC 4** – Rompimento por *piping* no contato entre a barragem e a porção direita do vertedouro, durante evento de vazão decamilenar (1.053 m³/s), com o reservatório na cota de 685,96 m.

Resultados:

- Modo RDC 1: Rompimento por *piping* no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, durante evento de vazão decamilenar (1053 m³/s)

As figuras seguintes ilustram, durante as 36 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem de Machado Mineiro para o Cenário 1 (decamilenar), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

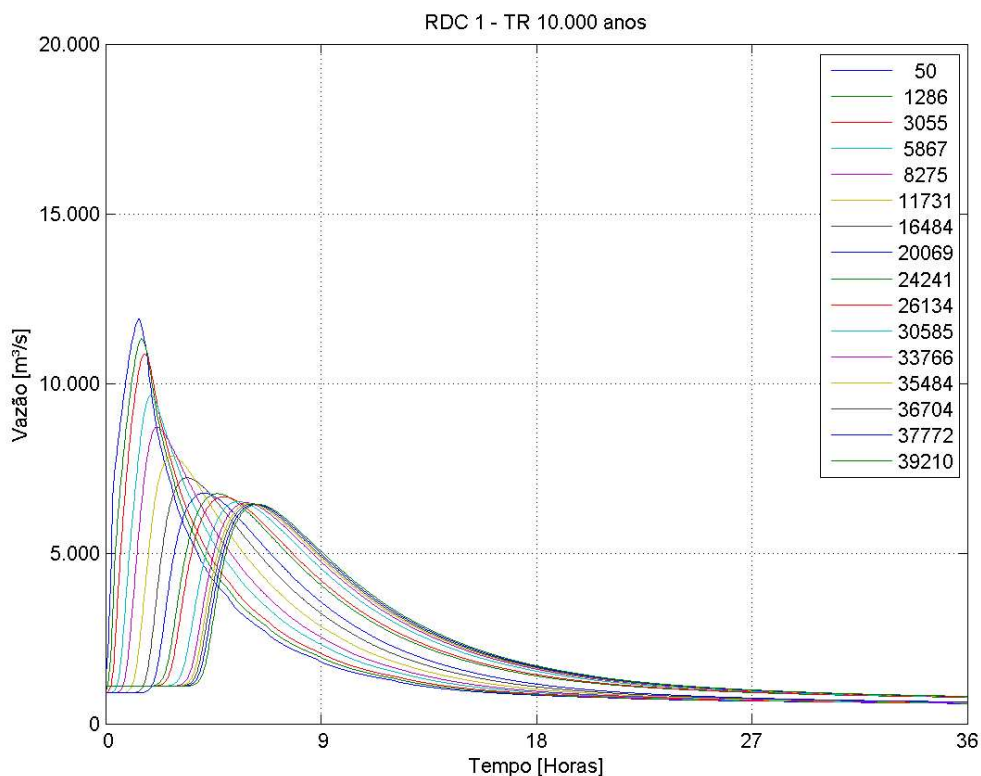
A vazão de pico após a ruptura foi estimada em 11.890 m³/s, e a altura incremental da onda de cheia na última seção a jusante do modelo resultou em 6,98 m.

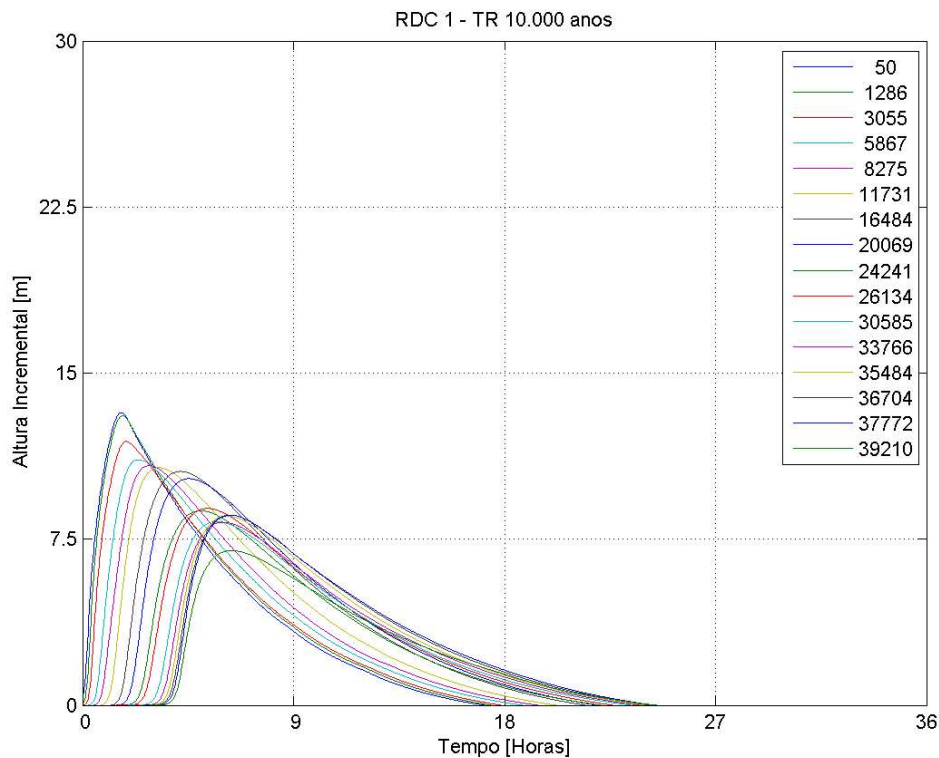


- Modo RDC 2: Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, em dia seco, com vazão média de longo termo (23,1 m³/s)

A figuras seguintes ilustram, durante as 36 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem de Machado Mineiro para o Cenário 2 (dia seco), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

A vazão de pico após a ruptura foi estimada em 5.516 m³/s, e a altura incremental da onda de cheia na última seção a jusante do modelo resultou em 3,88 m.

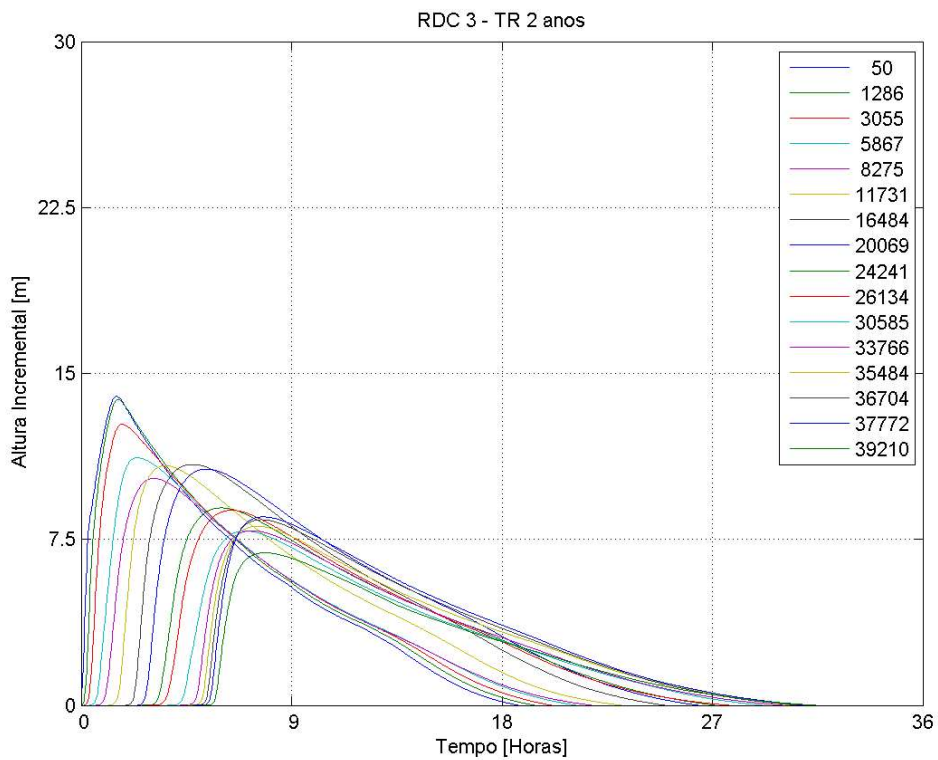
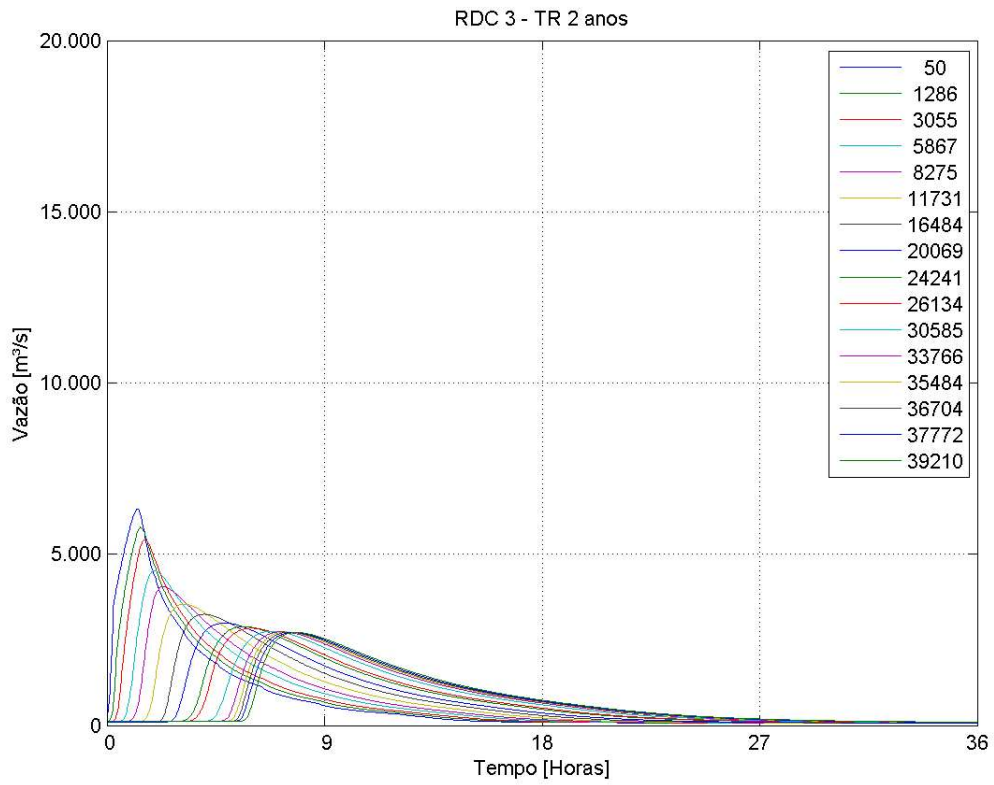




- Modo RDC 3: Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural na margem direita, durante evento de vazão de TR 2 anos ($127 \text{ m}^3/\text{s}$)

A figuras seguintes ilustram, durante as 36 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem de Machado Mineiro para o Cenário 3 (TR 2 anos), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

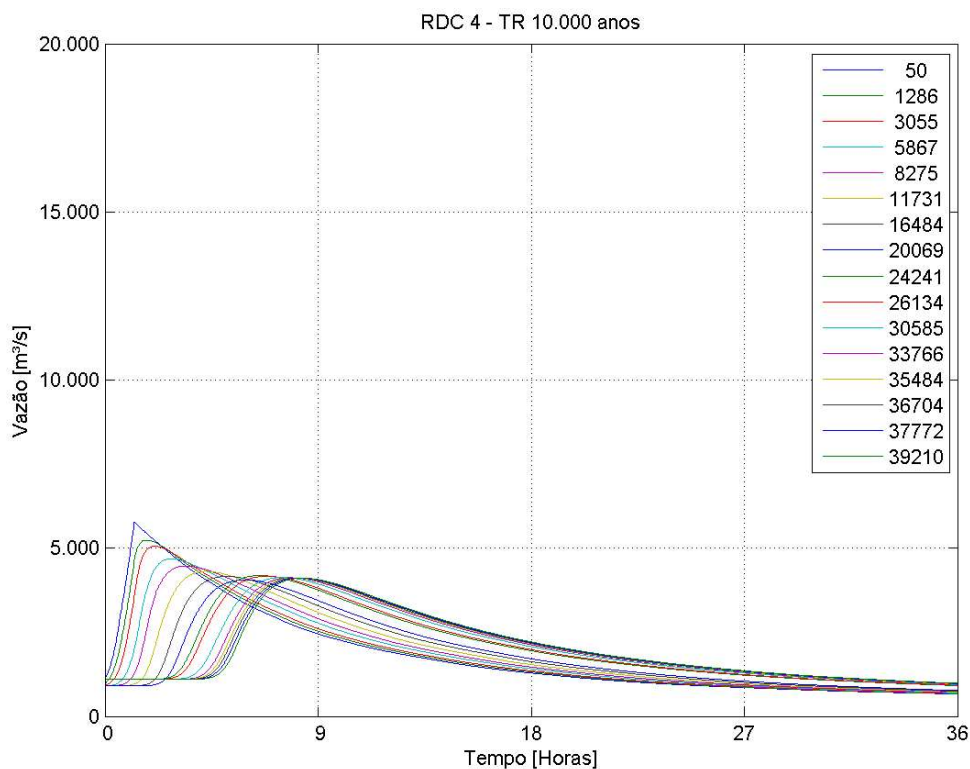
A vazão de pico após a ruptura foi estimada em $6.332 \text{ m}^3/\text{s}$, e a altura incremental da onda de cheia na última seção a jusante do modelo resultou em 6,89 m.

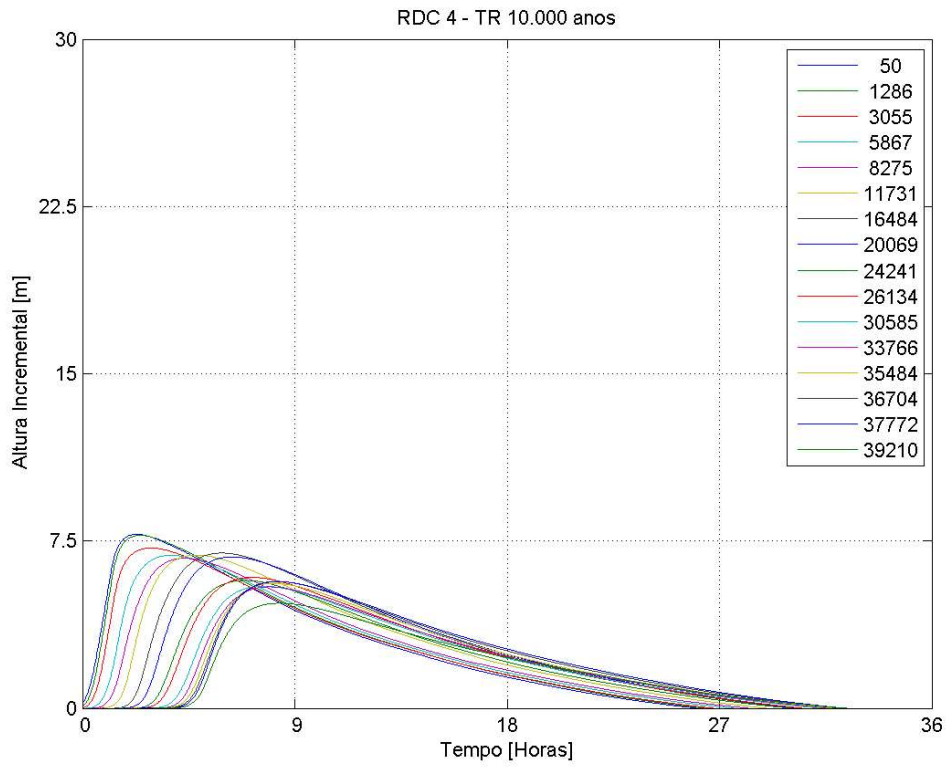


- Modo RDC 4: Rompimento por piping no contato entre a barragem e a porção direita do vertedouro, durante evento de vazão decamilenar (1.053 m³/s)

A figuras seguintes ilustram, durante as 36 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem de Machado Mineiro para o Cenário 4 (decamilenar), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

A vazão de pico após a ruptura foi estimada em 5.802 m³/s, e a altura incremental da onda de cheia na última seção a jusante do modelo resultou em 4,71 m.





D. Quantificação de atingidos e pontos de inundação

As tabelas abaixo expõem o número de benfeitorias potencialmente afetadas pelos cenários de ruptura hipotética da PCH Machado Mineiro, e também classificam os atingidos de acordo com o setor censitário ao qual pertencem.

Cenário de Ruptura	Número Aprox. de atingidos (Economias)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
RDC 1	357	561	918
RDC 2	175	384	559
RDC 3	207	405	612
RDC 4	223	464	687

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Economias)			
	RDC 1		RDC 2	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
314465605000008	38	0	20	0
310100330000007	116	156	71	103
310100330000004	25	0	7	0
310100330000002	51	0	41	0
310100330000001	37	0	16	0
314465605000009	90	0	20	0
314465605000007	0	27	0	10
310100320000003	0	50	0	26
290670905000019	0	130	0	110
310100320000002	0	2	0	2
291040405000027	0	121	0	75
290670905000028	0	1	0	0
290670905000015	0	1	0	1
290670905000014	0	4	0	2
290670905000013	0	5	0	0
291040405000032	0	5	0	0
290670905000012	0	3	0	3
290670905000027	0	6	0	6
291040405000043	0	29	0	26
290670905000010	0	8	0	8
290670905000009	0	13	0	12
Total	357	561	175	384

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Economias)			
	RDC 3		RDC 4	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
314465605000008	27	0	30	0
310100330000007	79	109	83	129
310100330000004	11	0	10	0
310100330000002	42	0	42	0
310100330000001	17	0	17	0

314465605000009	31	0	41	0
314465605000007	0	10	0	15
310100320000003	0	31	0	36
290670905000019	0	113	0	119
310100320000002	0	2	0	2
291040405000027	0	81	0	101
290670905000028	0	0	0	1
290670905000015	0	1	0	1
290670905000014	0	2	0	3
290670905000013	0	1	0	2
291040405000032	0	0	0	0
290670905000012	0	3	0	3
290670905000027	0	6	0	6
291040405000043	0	26	0	26
290670905000010	0	8	0	8
290670905000009	0	12	0	12
Total	207	405	223	464

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Habitantes)			
	RDC 1		RDC 2	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
314465605000008	161	0	85	0
310100330000007	452	608	277	402
310100330000004	94	0	27	0
310100330000002	169	0	136	0
310100330000001	149	0	65	0
314465605000009	362	0	81	0
314465605000007	0	107	0	40
310100320000003	0	175	0	91
290670905000019	0	472	0	400
310100320000002	0	7	0	7
291040405000027	0	463	0	287
290670905000028	0	5	0	0
290670905000015	0	4	0	4
290670905000014	0	15	0	8
290670905000013	0	19	0	0
291040405000032	0	20	0	0
290670905000012	0	10	0	10
290670905000027	0	20	0	20
291040405000043	0	109	0	98
290670905000010	0	28	0	28
290670905000009	0	49	0	45
Total	1387	2111	671	1440

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Habitantes)			
	RDC 3		RDC4	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
314465605000008	115	0	127	0
310100330000007	308	425	324	503
310100330000004	42	0	38	0

310100330000002	139	0	139	0
310100330000001	69	0	69	0
314465605000009	125	0	165	0
314465605000007	0	40	0	59
310100320000003	0	109	0	126
290670905000019	0	411	0	432
310100320000002	0	7	0	7
291040405000027	0	310	0	386
290670905000028	0	0	0	5
290670905000015	0	4	0	4
290670905000014	0	8	0	11
290670905000013	0	4	0	8
291040405000032	0	0	0	0
290670905000012	0	10	0	10
290670905000027	0	20	0	20
291040405000043	0	98	0	98
290670905000010	0	28	0	28
290670905000009	0	45	0	45
Total	798	1519	862	1742

Com base nestas informações, observa-se que, o Cenário 1 conta com 918 edificações atingidas e cerca de 3498 pessoas potencialmente afetadas. O Cenário 2 possui potencial para afetar 559 benfeitorias e uma média de 2111 habitantes. Por sua vez, o Cenário 3 afeta 612 benfeitorias, totalizando uma média de 2317 habitantes, enquanto Cenário 4 atinge cerca de 687 benfeitorias e uma média de 2604 pessoas.

Em relação às cheias naturais do rio Pardo, é apresentado abaixo o número de benfeitorias potencialmente afetadas, de acordo com o tempo de recorrência.

Tempos de recorrência	Número Aprox. de atingidos (Economias)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
TR 10.000 anos	67	243	310
TR 100 anos	31	110	141
TR 50 anos	26	70	96
TR 10 anos	11	34	45
TR 2 anos	4	16	20

Essas informações deverão subsidiar a confecção do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil dos municípios potencialmente atingidos, cuja responsabilidade compete à Defesa Civil, conforme Lei nº 12.608/2012.

Algumas restrições de acesso em momentos de crise podem ser descritas. Dentre elas, o acesso às localidades da área de inundação mediante as rodovias e estradas sujeitas à inundação, bem como a interdição das pontes pertencentes a elas. Nesse contexto, nas cartas de inundação estão indicadas

as estradas e pontes atingidas pela onda induzida pela ruptura hipotética da barragem. Elas deverão ser mapeadas pelos órgãos de Defesa Civil, para que o isolamento e interdição das vias sejam adequadamente planejado e executado para momentos de crise. As pontes presentes ao longo do trecho estudado estão resumidas na tabela abaixo.

Com base nestas informações, avaliou-se, para cada cenário simulado, a possibilidade de galgamento das pontes, bem como o atendimento à recomendação de 1 m de borda livre abaixo da estrutura. Recomendações de projeto de pontes e bueiros de DNIT (2005) indicam 1 m de borda livre para períodos de retorno de 50 anos ou 100 anos, conforme critério de projeto. Para o cenário milenar, tal condição não se aplica, uma vez que o evento hidrológico natural já é superior às recomendações aplicáveis. Sendo assim, os valores representados em vermelhos indicam a ocorrência de galgamento da estrutura ou o não atendimento da recomendação de DNIT (2005).

Tabela F. 1 - Ponte existente ao longo do modelo

Estrutura	Elevação do tabuleiro		Elevação máxima do nível de água						
	[m-IBGE]		[m-IBGE]						
	Superior	Inferior	RDC 1	RDC 2	RDC 3	RDC 4	TR10.000	TR100	TR50
Ponte 1	627,90	626,40	627,88	621,99	622,87	624,97	619,29	617,27	616,87

(Em vermelho estão os NA que alcançam o tabuleiro).

E. Tempos de chegada e pico de onda para cenários de ruptura

A seguir são apresentados os resultados tabelados dos hidrogramas de propagação das ondas de ruptura provenientes cenários estudados.

- Resultados RDC1:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmlt} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m ³ /s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
39664	50,00	681,57	668,36	660,26	21,31	13,21	11908,44	00 01 41	00 14 23	00 00 04	0,00
38428	1286,04	680,82	667,74	659,56	21,26	13,08	11324,36	00 01 44	00 14 39	00 00 09	24,72
36659	3054,74	678,52	666,61	658,58	19,94	11,91	10869,75	00 01 51	00 14 50	00 00 18	18,03
33847	5866,88	675,54	664,45	657,00	18,54	11,09	9680,87	00 02 23	00 15 16	00 00 36	8,31
31439	8274,98	673,15	662,33	655,84	17,31	10,82	8735,50	00 02 51	00 15 37	00 00 50	7,05
27983	11730,74	669,75	659,02	652,07	17,67	10,73	7870,93	00 03 15	00 16 07	00 01 11	7,46
23230	16483,78	663,94	653,38	645,94	18,00	10,56	7236,57	00 04 11	00 17 00	00 01 40	6,57
19645	20069,02	660,95	650,72	642,84	18,12	10,23	6784,14	00 04 33	00 17 06	00 02 02	6,98
15473	24240,65	655,41	646,63	639,57	15,84	8,78	6767,69	00 05 04	00 16 31	00 02 28	7,15
13580	26133,88	652,47	643,59	637,47	15,01	8,89	6675,47	00 05 20	00 16 54	00 02 42	7,15
9129	30584,83	645,87	637,57	631,58	14,29	8,30	6539,29	00 05 44	00 16 53	00 03 11	7,54
5948	33765,64	638,48	630,22	624,42	14,06	8,26	6499,77	00 06 00	00 16 57	00 03 28	7,81
4230	35483,53	633,80	625,25	618,50	15,30	8,55	6480,65	00 06 10	00 17 04	00 03 38	7,90
3010	36704,34	629,92	621,33	615,35	14,57	8,59	6469,32	00 06 17	00 17 16	00 03 46	7,97
1941	37772,50	627,88	619,29	613,09	14,79	8,58	6459,38	00 06 20	00 17 24	00 03 52	8,11
504	39210,09	622,86	615,88	610,98	11,88	6,98	6455,78	00 06 23	00 16 47	00 04 01	8,33

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m]; Z_p é a cota de pico [m-IBGE]; Z_{ref} é a cota de pico para o evento natural Decamilenar [m-IBGE]; Z_{Qmlt} é a cota para a condição de escoamento da vazão de referência Q_{MLT} [m-IBGE]; H é a altura do pico da onda induzida em relação à condição de vazão Q_{MLT} [m]; H_{incr} é a altura incremental do pico em relação ao evento Decamilenar [m]; Q_p é a vazão de pico [m³/s]; T_p é o tempo de pico da onda induzida [DD:HH:MM]; T_{inun} é o tempo de submersão da seção (para H_{incr} > 1,00) [DD:HH:MM]; T_{ch} é o tempo de chegada do início da onda na seção de controle [DD:HH:MM], V é a velocidade média do pico da onda entre a seção do barramento e a seção de controle [km/hr], **NDA – Não atinge a condição de inundação incremental.

• Resultados RDC2:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmit} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m ³ /s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
39664	50,00	675,43	666,34	660,26	15,17	9,09	5506,02	00 01 30	00 18 43	00 00 02	0,00
38428	1286,04	674,66	665,70	659,56	15,11	8,96	4986,87	00 01 34	00 19 34	00 00 11	18,54
36659	3054,74	672,66	664,60	658,58	14,08	8,06	4639,69	00 01 44	00 20 16	00 00 25	12,88
33847	5866,88	669,52	662,59	657,00	12,52	6,93	3776,76	00 02 28	00 21 37	00 00 47	6,02
31439	8274,98	666,88	660,52	655,84	11,04	6,36	3426,96	00 03 11	00 21 08	00 01 10	4,89
27983	11730,74	663,54	656,99	652,07	11,47	6,55	2963,26	00 03 43	00 21 11	00 01 48	5,27
23230	16483,78	657,48	651,17	645,94	11,55	6,31	2709,28	00 04 55	00 22 27	00 02 33	4,81
19645	20069,02	654,43	648,56	642,84	11,60	5,87	2482,98	00 05 34	01 00 52	00 03 05	4,92
15473	24240,65	649,39	644,73	639,57	9,82	4,66	2379,82	00 06 15	01 00 56	00 03 45	5,09
13580	26133,88	646,39	641,52	637,47	8,92	4,87	2333,69	00 06 44	00 22 05	00 04 06	4,98
9129	30584,83	640,11	635,85	631,58	8,54	4,26	2260,02	00 07 22	01 02 10	00 04 55	5,20
5948	33765,64	632,75	628,40	624,42	8,33	4,36	2245,27	00 07 42	01 01 07	00 05 33	5,44
4230	35483,53	627,80	623,45	618,50	9,31	4,35	2238,05	00 07 56	01 04 04	00 05 49	5,51
3010	36704,34	623,97	619,34	615,35	8,62	4,63	2232,35	00 08 08	01 00 13	00 06 01	5,53
1941	37772,50	621,99	617,27	613,09	8,91	4,72	2225,74	00 08 13	01 01 23	00 06 11	5,62
504	39210,09	618,16	614,29	610,98	7,18	3,88	2222,67	00 08 19	01 00 03	00 06 26	5,74

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m]; Z_p é a cota de pico [m-IBGE]; Z_{ref} é a cota de pico para o evento natural de Tr 100 anos [m-IBGE]; Z_{Qmit} é a cota para a condição de escoamento da vazão de referência Q_{MLT} [m-IBGE]; H é a altura do pico da onda induzida em relação à condição de vazão Q_{MLT} [m]; H_{incr} é a altura incremental do pico em relação ao evento Tr 100 anos [m]; Q_p é a vazão de pico [m³/s]; T_p é o tempo de pico da onda induzida [DD:HH:MM]; T_{inun} é o tempo de submersão da seção (para H > 1,00) [DD:HH:MM]; T_{ch} é o tempo de chegada do início da onda na seção de controle [DD:HH:MM], V é a velocidade média do pico da onda entre a seção do barramento e a seção de controle [km/hr], **NDA – Não atinge a condição de inundação incremental.

• Resultados RDC3:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmit} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m ³ /s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
39664	50,00	676,39	662,42	660,26	16,13	13,97	6322,49	00 01 32	00 16 43	00 00 02	0,00
38428	1286,04	675,62	661,80	659,56	16,07	13,82	5786,85	00 01 35	00 17 10	00 00 10	24,72
36659	3054,74	673,57	660,86	658,58	14,99	12,71	5416,01	00 01 45	00 17 36	00 00 22	13,87
33847	5866,88	670,46	659,27	657,00	13,46	11,19	4515,74	00 02 25	00 18 00	00 00 43	6,59
31439	8274,98	667,83	657,57	655,84	11,99	10,26	4062,27	00 03 06	00 17 54	00 01 04	5,25
27983	11730,74	664,50	653,67	652,07	12,43	10,83	3543,35	00 03 37	00 18 33	00 01 37	5,61
23230	16483,78	658,45	647,57	645,94	12,52	10,89	3247,38	00 04 47	00 19 54	00 02 18	5,06
19645	20069,02	655,43	644,75	642,84	12,59	10,68	2988,79	00 05 22	00 20 46	00 02 47	5,22
15473	24240,65	650,30	641,38	639,57	10,73	8,92	2891,96	00 06 00	00 20 37	00 03 22	5,42
13580	26133,88	647,32	638,51	637,47	9,86	8,81	2838,82	00 06 26	00 20 07	00 03 43	5,32
9129	30584,83	640,99	633,11	631,58	9,42	7,88	2754,64	00 07 01	00 21 03	00 04 26	5,57
5948	33765,64	633,60	625,71	624,42	9,18	7,89	2737,50	00 07 19	00 20 44	00 04 59	5,83
4230	35483,53	628,69	620,59	618,50	10,19	8,10	2729,18	00 07 32	00 21 27	00 05 15	5,91

3010	36704,34	624,87	616,47	615,35	9,51	8,39	2723,18	00 07 43	00 21 04	00 05 25	5,93
1941	37772,50	622,87	614,35	613,09	9,79	8,52	2716,68	00 07 48	00 21 15	00 05 34	6,02
504	39210,09	618,88	611,99	610,98	7,90	6,89	2713,67	00 07 52	00 20 31	00 05 48	6,18

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m]; Z_p é a cota de pico [m-IBGE]; Z_{ref} é a cota de pico para o evento natural de Tr 2 anos [m-IBGE]; $Z_{Q_{MLT}}$ é a cota para a condição de escoamento da vazão de referência Q_{MLT} [m-IBGE]; H é a altura do pico da onda induzida em relação à condição de vazão Q_{MLT} [m]; H_{incr} é a altura incremental do pico em relação ao evento Tr 2 anos [m]; Q_p é a vazão de pico [m^3/s]; T_p é o tempo de pico da onda induzida [DD:HH:MM]; T_{inun} é o tempo de submersão da seção (para $H > 1,00$) [DD:HH:MM]; T_{ch} é o tempo de chegada do início da onda na seção de controle [DD:HH:MM], V é a velocidade média do pico da onda entre a seção do barramento e a seção de controle [km/hr], **NDA – Não atinge a condição de inundação incremental.

• Resultados RDC4:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmit} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m ³ /s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
39664	50,00	676,15	668,36	660,26	15,90	7,80	5778,27	00 02 18	00 21 42	00 00 12	0,00
38428	1286,04	675,49	667,74	659,56	15,94	7,75	5238,52	00 02 28	00 21 58	00 00 19	7,42
36659	3054,74	673,80	666,61	658,58	15,21	7,19	5067,88	00 02 53	00 22 01	00 00 31	5,15
33847	5866,88	671,31	664,45	657,00	14,32	6,86	4687,05	00 03 45	00 22 11	00 00 57	4,01
31439	8274,98	669,05	662,33	655,84	13,21	6,72	4472,87	00 04 19	00 22 23	00 01 16	4,08
27983	11730,74	665,88	659,02	652,07	13,81	6,87	4312,81	00 04 51	00 22 54	00 01 40	4,58
23230	16483,78	660,34	653,38	645,94	14,40	6,96	4162,54	00 05 54	00 23 40	00 02 15	4,56
19645	20069,02	657,50	650,72	642,84	14,67	6,79	4059,27	00 06 21	00 23 26	00 02 42	4,94
15473	24240,65	652,36	646,63	639,57	12,79	5,73	4188,22	00 06 53	00 22 09	00 03 13	5,28
13580	26133,88	649,45	643,59	637,47	11,98	5,87	4166,11	00 07 12	00 22 35	00 03 29	5,32
9129	30584,83	643,05	637,57	631,58	11,48	5,48	4130,77	00 07 39	00 22 21	00 04 03	5,71
5948	33765,64	635,67	630,22	624,42	11,25	5,45	4121,93	00 07 56	00 22 24	00 04 21	5,99
4230	35483,53	630,85	625,25	618,50	12,35	5,60	4117,60	00 08 06	00 22 30	00 04 33	6,11
3010	36704,34	627,02	621,33	615,35	11,67	5,68	4114,99	00 08 14	00 22 45	00 04 42	6,18
1941	37772,50	624,97	619,29	613,09	11,89	5,68	4112,49	00 08 18	00 22 56	00 04 48	6,29
504	39210,09	620,59	615,88	610,98	9,60	4,71	4111,26	00 08 21	00 21 59	00 04 59	6,47

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m]; Z_p é a cota de pico [m-IBGE]; Z_{ref} é a cota de pico para o evento natural Decamilenar [m-IBGE]; Z_{Qmit} é a cota para a condição de escoamento da vazão de referência Q_{MLT} [m-IBGE]; H é a altura do pico da onda induzida em relação à condição de vazão Q_{MLT} [m]; H_{incr} é a altura incremental do pico em relação ao evento Decamilenar [m]; Q_p é a vazão de pico [m³/s]; T_p é o tempo de pico da onda induzida [DD:HH:MM]; T_{inun} é o tempo de submersão da seção (para H_{incr} > 1,00) [DD:HH:MM]; T_{ch} é o tempo de chegada do início da onda na seção de controle [DD:HH:MM], V é a velocidade média do pico da onda entre a seção do barramento e a seção de controle [km/hr], **NDA – Não atinge a condição de inundação incremental.

• Resultados Cheias naturais:

SC	d*[m]	Z _{2anos}	Z _{10anos}	Z _{50anos}	Z _{100anos} *	Z _{1000anos}	Z _{QMLT}
39664	50,00	662,42	664,55	665,89	666,34	668,36	660,26
38428	1286,04	661,80	663,97	665,28	665,70	667,74	659,56
36659	3054,74	660,86	662,93	664,18	664,60	666,61	658,58
33847	5866,88	659,27	661,10	662,19	662,59	664,45	657,00
31439	8274,98	657,57	659,13	660,13	660,52	662,33	655,84
27983	11730,74	653,67	655,35	656,56	656,99	659,02	652,07
23230	16483,78	647,57	649,44	650,71	651,17	653,38	645,94
19645	20069,02	644,75	646,75	648,09	648,56	650,72	642,84
15473	24240,65	641,38	643,16	644,34	644,73	646,63	639,57
13580	26133,88	638,51	639,98	641,10	641,52	643,59	637,47
9129	30584,83	633,11	634,64	635,53	635,85	637,57	631,58
5948	33765,64	625,71	627,10	628,05	628,40	630,22	624,42
4230	35483,53	620,59	622,10	623,11	623,45	625,25	618,50
3010	36704,34	616,47	617,95	618,97	619,34	621,33	615,35
1941	37772,50	614,35	615,81	616,87	617,27	619,29	613,09
504	39210,09	611,99	613,15	613,98	614,29	615,88	610,98

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m]; Z cotas de referência [m-IBGE].

F. Lista de mapas temáticos e manchas de inundação

Na lista de cartas apresentada nas tabelas abaixo pode-se visualizar os mapas de inundação para cada simulação realizada, com a delimitação do alcance máximo da onda induzida pela ruptura da barragem e pela passagem das cheias naturais no vale a jusante. Os mapas anexos apresentam as situações específicas para o Nível de Resposta 3 – **Emergência**, onde a ruptura já ocorreu ou está prestes a ocorrer, assim como cenários de cheias naturais para o Nível de Resposta – **Cheias**.

As cartas de inundação resumem informações estratégicas do estudo de ruptura hipotética da barragem, auxiliando a realização das ações a serem tomadas em momentos de crise. Sendo assim, são apresentados os resultados hidráulicos de:

- Cota de pico m;
- Cota TR 100 anos e TR 1.000 m;
- Cota Q_{MLT} m;
- Altura [m];
- Altura Incremental [m];
- Vazão de pico durante a passagem da onda [m^3/s];
- Tempo de chegada do pico da onda [00H00M];
- Tempo inundado [00H00M];
- Tempo de chegada do início da onda [00H00M]; e,
- Velocidade média da onda [km/h].

Cenário	Número do Mapa
RDC 1 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, vazão decamilenar ($1053 m^3/s$)	PAE-MMN-MAP01-RDC01_revB
RDC 2 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, em dia seco, com vazão média de longo termo ($23,1 m^3/s$)	PAE-MMN-MAP02-RDC02_revB
RDC 3 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural na margem direita, vazão TR 2 anos ($127 m^3/s$)	PAE-MMN-MAP03-RDC03_revB
RDC 4 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e a porção direita do vertedouro, com vazão decamilenar ($1053 m^3/s$)	PAE-MMN-MAP04-RDC04_revB

É representado em carta de inundação, também, o perigo hidrodinâmico do cenário mais crítico. Este é o produto direto entre a velocidade e a profundidade do escoamento, sendo uma variável importante de tomada de decisão, a qual ilustra espacialmente a capacidade destrutiva de uma onda induzida pela ruptura hipotética da barragem.

Nessa linha, a tabela seguinte apresenta as prováveis consequências esperadas da onda de ruptura baseada na variável “perigo hidrodinâmico” ou “inundação dinâmica”, empregados na graduação dessa variável nas cartas de inundação.

Parâmetro HxV [m ² /s]	Consequências esperadas
<0,50	Crianças e deficientes são arrastados
0,50 – 1,00	Adultos são arrastados
1,00 – 3,00	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas
3,00 – 7,00	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7,00	Colapso de certos edifícios

Fonte: Adaptado de Synaven et al. (2000).

Cenário – Perigo Hidrodinâmico	Número do Mapa
RDC 1 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, vazão decamilenar (1053 m³/s)	PAE-MMN-MAP05-PER01_revB
RDC 2 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural da margem direita, em dia seco, com vazão média de longo termo (23,1 m³/s)	PAE-MMN-MAP06-PER02_revB
RDC 3 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e o terreno natural na margem direita, vazão TR 2 anos (127 m³/s)	PAE-MMN-MAP07-PER03_revB
RDC 4 - Rompimento por piping no contato entre a barragem e a porção direita do vertedouro, com vazão decamilenar (1053 m³/s)	PAE-MMN-MAP08-PER04_revB

Por fim, são apresentadas as cartas de inundação do cenário sem ruptura, para as vazões com TR 2, 10, 50, 100 e 10.000 anos. Desta forma é possível analisar quais as regiões que estão, naturalmente, expostas a riscos hidrológicos no vale a jusante da barragem.

Tempo de Recorrência	Número do Mapa
TR 2 anos (127 m³/s)	PAE-MMN-MAP09-TR2_revB
TR 10 anos (302 m³/s)	PAE-MMN-MAP10-TR10_revB
TR 50 anos (477 m³/s)	PAE-MMN-MAP11-TR50_revB
TR 100 anos (552 m³/s)	PAE-MMN-MAP12-TR100_revB
TR 10.000 anos (1053 m³/s)	PAE-MMN-MAP13-TR10000_revB

IX. Apêndices Externos

Documento nº PAE-MMN-DOC02_Apêndices-G-H

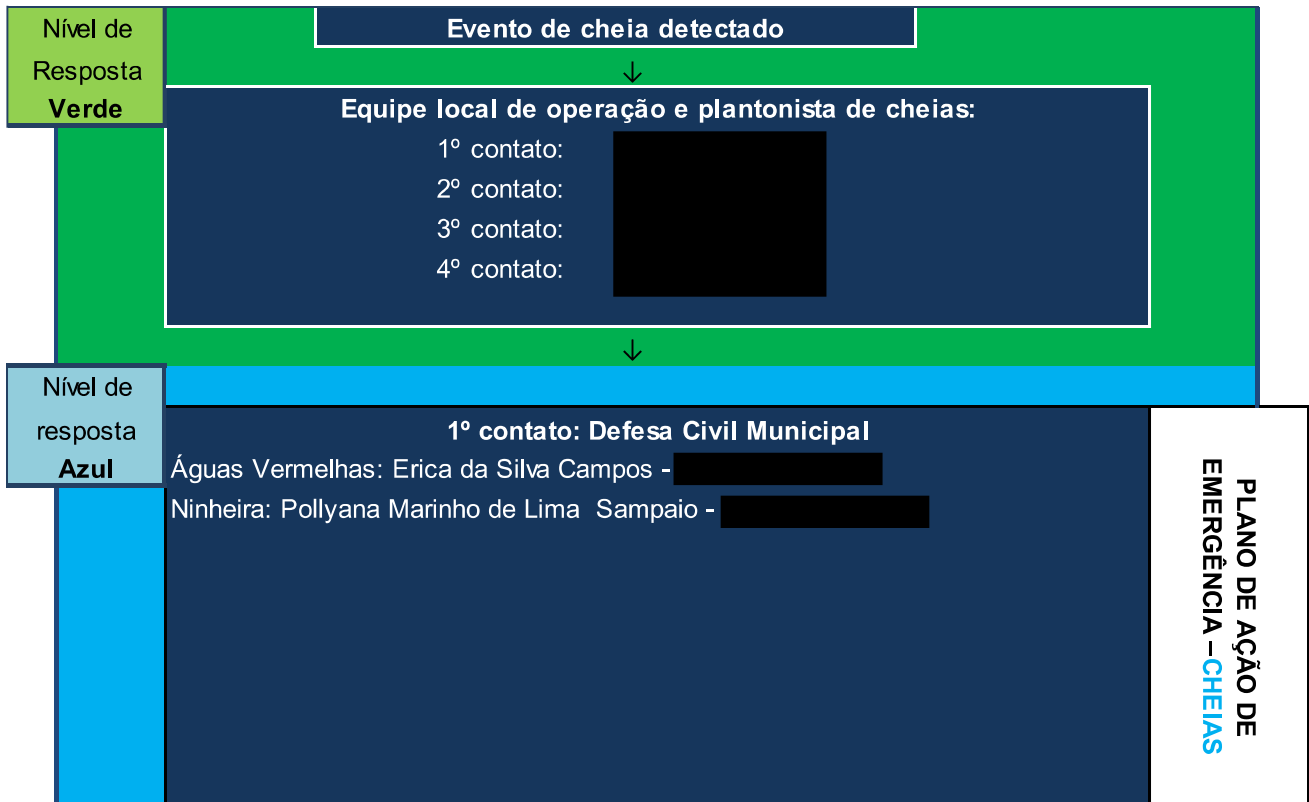
G. Controle de distribuição digital deste PAE¹

Nome do Responsável	Função/Entidade
Ivan Sérgio Carneiro	Coordenador do PAE – Cemig GT
Diego Antônio F. Balbi	Coordenador Técnico Civil – Cemig GT
Sergio Teixeira de Castro	Chefe da Equipe Local – Cemig GT
Paulo Henrique Camargos Firme	Diretor – Defesa Civil Estadual Minas Gerais
Pollyana Marinho de Lima	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Ninheira
Erica da Silva Campos	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Águas Vermelhas

¹ Apêndice revisado em 20/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.

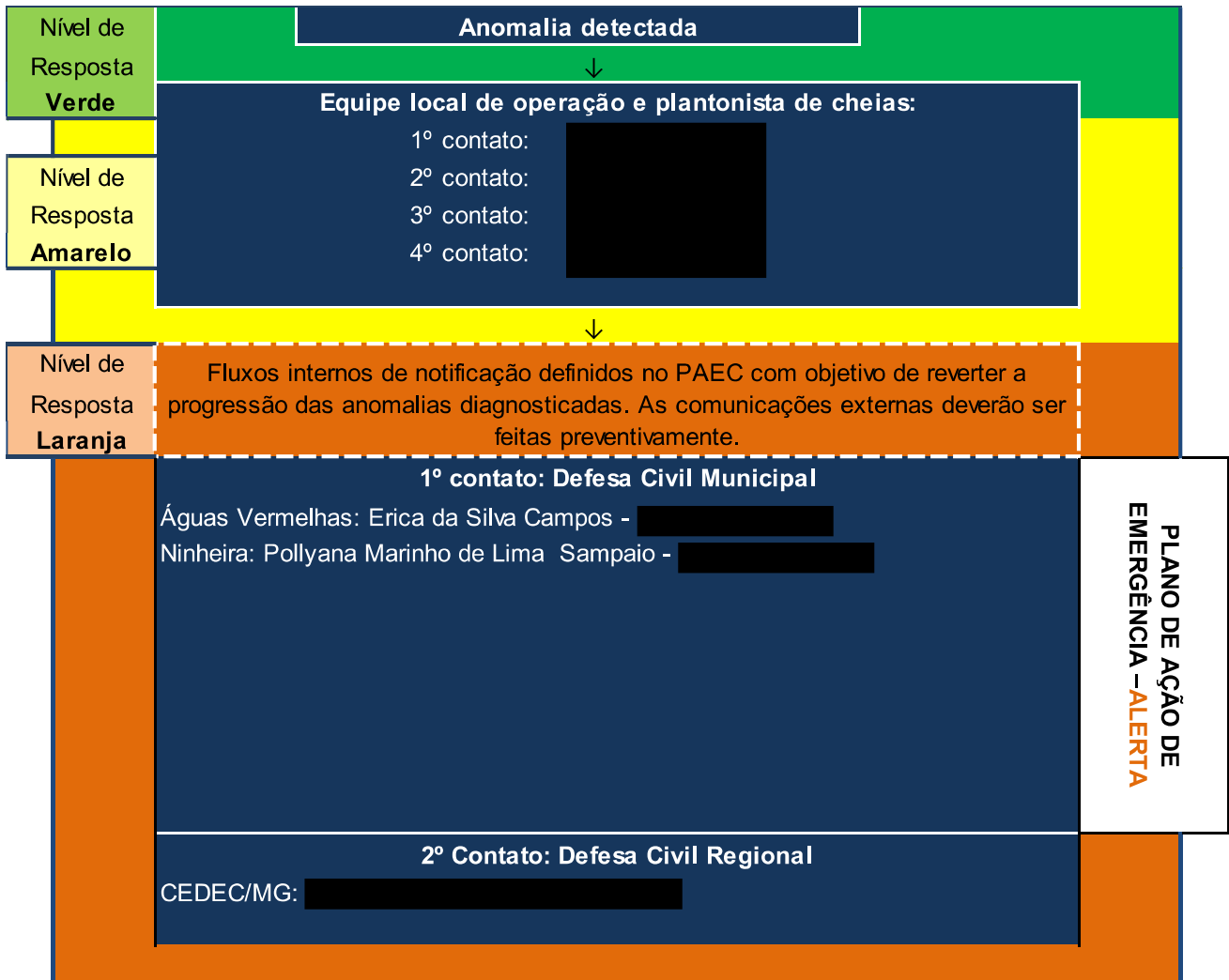
H. Plano de chamadas para notificação deste PAE

- Nível de Resposta: CHEIAS²



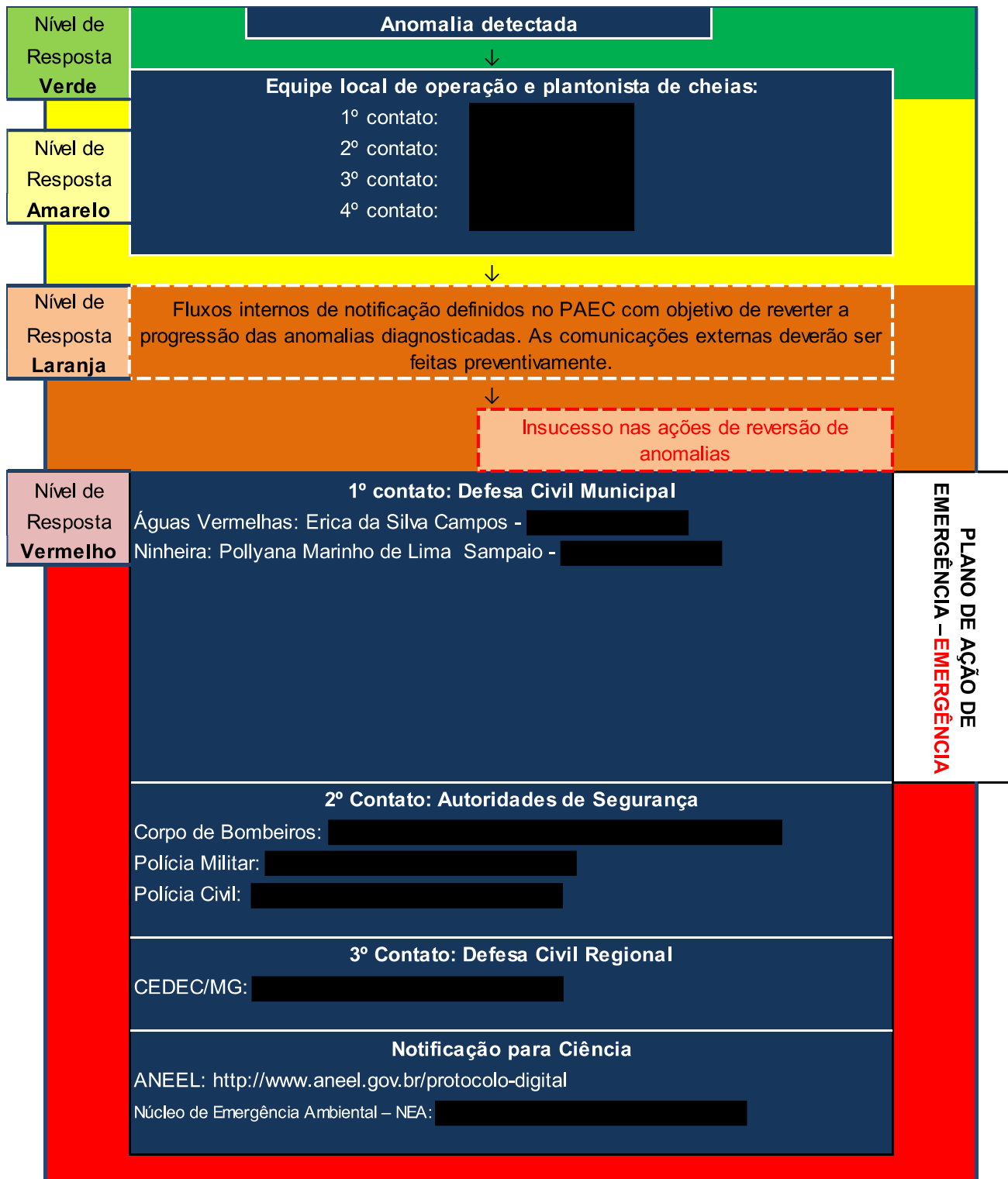
² Apêndice revisado em 20/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.

- Nível de Resposta 2: ALERTA³



³ Apêndice revisado em 20/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.

- Nível de Resposta 3: EMERGÊNCIA⁴



⁴ Apêndice revisado em 20/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.