

Barragem da UHE Itutinga



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): UHE.PH.MG.001197-5.01

Documento nº PAE - UHE Itutinga - revE

Responsável pela elaboração: Cemig GT

Municípios relacionados (MG):

Zona de Autossalvamento (ZAS): Itutinga, Nazareno

Zona de Segurança Secundária (ZSS): Ibituruna, Itumirim

Revisão	Vigência	Motivo da revisão
E	19/04/2022	Revisão de apêndices e página de assinaturas



Sumário

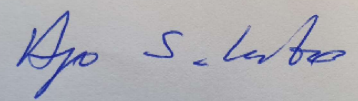

I.	Controle de revisões e assinaturas dos responsáveis	4
II.	Informações gerais da barragem.....	5
A.	Apresentação.....	5
B.	Objetivo do PAE.....	5
C.	Caracterização da barragem.....	5
III.	Responsabilidades gerais no PAE.....	8
A.	Empreendedor	8
B.	Coordenador do PAE.....	9
C.	Equipe técnica.....	9
D.	Plantonista de cheias	10
E.	Sistema de Proteção e Defesa Civil e demais autoridades	10
IV.	Níveis de resposta – Identificação e análise das possíveis situações de emergência	11
A.	Caracterização do Nível de Resposta – CHEIAS	14
B.	Caracterização do Nível de Resposta 2 – ALERTA.....	15
C.	Caracterização do Nível de Resposta 3 – EMERGÊNCIA.....	15
V.	Procedimentos de notificação e alerta	16
A.	Fluxograma de ações e notificação em situação de CHEIAS.....	16
B.	Fluxograma de ações e notificação em situação de ALERTA	17
C.	Fluxograma de ações e notificação em situação de EMERGÊNCIA	18
VI.	Procedimentos preventivos e corretivos em situações de alerta e emergência	19
A.	Zona de Autossalvamento (ZAS).....	19
B.	Monitoramento de vazões.....	20
C.	Parâmetros para comunicação do plantonista de cheia.....	21
VII.	Encerramento das operações.....	22
VIII.	Apêndices	23
A.	Ficha Técnica da Barragem.....	24
B.	Mensagem de notificação Padrão	26

C.	Premissas e resultados dos estudos de ruptura hipotética	27
1.	Cenário RDC 1: Rompimento por piping, vazão decamilenar (2062 m ³ /s)	27
2.	Cenário RDC 2: Rompimento por piping em dia seco, vazão média de longo termo (130 m ³ /s) 29	
3.	Cenário RDC 3: Rompimento por piping, operando a vazão de restrição (1000 m ³ /s)	30
4.	Cenário RDC 4: Rompimento por colapso de estruturas, operando a vazão de restrição (1000 m ³ /s)	32
D.	Principais pontos de inundação	34
E.	Tempos de chegada e pico de onda	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	30/04/2019	Emissão inicial
B	30/09/2019	Revisão periódica
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	19/04/2022	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 visa a apresentar os riscos mapeados a partir do estudo da onda de inundação provocada por eventual ruptura da barragem da UHE Itutinga, para atendimento regulatório à Lei Federal de Segurança de Barragens nº 12.334/2010 e Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015. Serão apresentadas premissas adotadas e mapas de inundação de cada cenário simulado. Trata-se da formalização das ações externas à operação e à manutenção do empreendimento, as quais devem ser tomadas ao longo de eventuais situações 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 das áreas potencialmente atingidas.

B. Objetivo do PAE

Este documento tem como objetivo facilitar a comunicação entre o empreendedor e entidades públicas, proteger o patrimônio de terceiros e, fundamentalmente, 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 Cíveis 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 eventos de cheias 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 de vulnerabilidades. 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, no qual se definem as ações internas do empreendedor que visam a recuperar as condições de segurança estrutural e operacional da barragem.

C. Caracterização da barragem

A UHE Itutinga é um empreendimento concedido à CEMIG Geração Itutinga S.A., e iniciou sua operação comercial em 1955, tendo sido construída no município de Itutinga – MG. Localizada no rio Grande, a usina conta com 4 (quatro) unidades geradoras, totalizando 52 MW de potência instalada.

Composta por barramentos de terra e concreto, a barragem da UHE Itutinga, mostrada na Figura 1, possui cerca de 550 m extensão de crista e 23 m de altura máxima. Sua formação dá-se pelas

seguintes estruturas: Barragem de terra com núcleo de argila na margem esquerda (BTME), tomada d'água, Vertedouro de Soleira Controlada (VS), Vertedouro de Soleira Livre (VL) e barragem de concreto para fechamento da ombreira direita (BCMD).

O sistema extravasor da UHE Itutinga é composto por Vertedouro de Soleira Controlada (VS), provido de 5 (cinco) comportas com 6 m de altura e 10,50 m de largura e Vertedouro de Soleira Livre (VL), totalizando uma capacidade máxima de descarga de 2062 m³/s. A UHE Itutinga opera em regime a fio d'água, possuindo um reservatório com cerca de 1,55 km² de área inundada no N.A. Máximo Normal e capacidade máxima de acumulação de 11,20 hm³



Figura 1 – Barragem da UHE Itutinga

Localizada à direita hidráulica da Barragem de terra com núcleo de argila, a tomada d'água da UHE Itutinga dá início ao circuito de geração da usina. Construída em concreto, essa estrutura conta com painéis de grades para remoção de detritos, stop-logs e comportas do tipo vagão, acionadas mediante guincho elétrico. A água é conduzida por um canal de adução de cerca de 158,52 m e largura variável até a câmara de carga. Na sequência, há 4 (quatro) condutos forçados, os quais alimentam 4 (quatro) unidades geradoras localizadas na casa de força da UHE Itutinga.

Do tipo semiabrigada, a casa de força da UHE Itutinga conta com 4 (quatro) turbinas do tipo Kaplan, sendo duas de pás fixas e duas de pás móveis. A restituição da vazão turbinada ocorre por canal de fuga, no leito do rio Grande.

A barragem da UHE Itutinga está localizada no rio Grande, afluente do rio Paraná, no município de Itutinga, MG, nas coordenadas 21°17'35" Sul e 44°37'24" Oeste. A jusante de Itutinga está localizada

a UHE Funil, a 80,82 km da barragem, além de outros 10 empreendimentos operantes em cascata. A Figura 2 mostra o mapa de localização da UHE Itutinga e sua área de drenagem.

O acesso ao barramento, partindo de Belo Horizonte, é mostrado na Figura 2, e dá-se por meio da rodovia BR-381, sentido São Pulo, passando por Betim – MG. Percorre-se essa rodovia por aproximadamente 181 km até o encontro com a rodovia estadual MG-332, no município de Santo Antônio do Amparo – MG. A partir desse ponto, percorre-se a MG-332 por cerca de 62 km até o encontro com a BR-265, no município de Nazareno – MG. Por essa rodovia, deve-se seguir por cerca de 6 km até o município de Itutinga – MG, a partir de onde se segue a sinalização, tomando a entrada de acesso à subestação da UHE Itutinga. Percorrido mais 1 km, chega-se ao barramento da usina.

- 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.

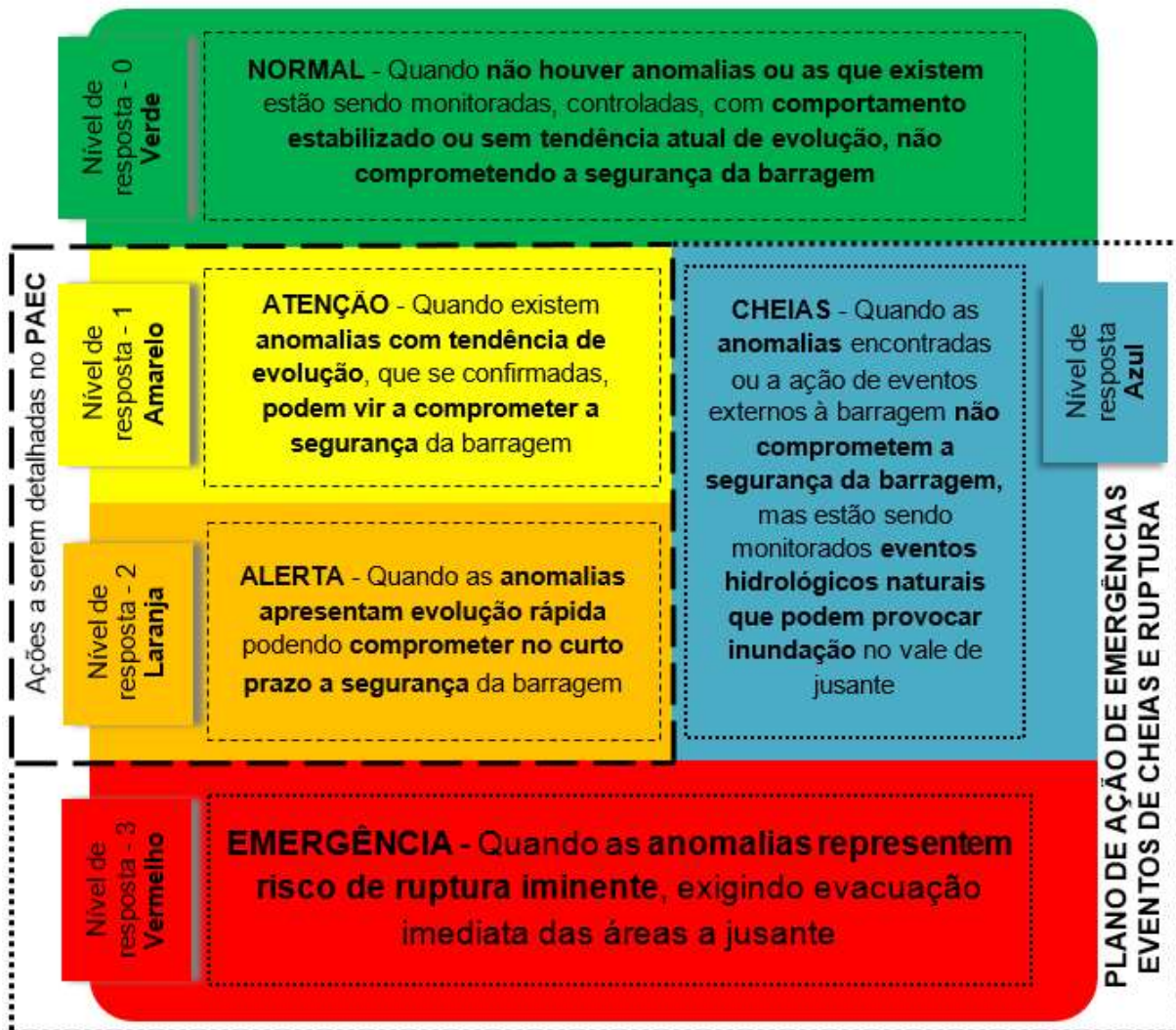
Além disso é importante que os órgãos locais informem o empreendedor no caso de alteração de risco associado às vazões mapeadas.

A lista de contatos da Defesa Civil para distribuição digital deste PAE e o plano de chamadas para acionamento nos casos aqui previsto, encontram-se nos apêndices externos deste documento. Elas serão atualizadas conforme haja alterações na composição das estruturas municipais, consistindo, no entanto, em um documento separado para fins de controle de revisão e assinatura dos responsáveis.

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	Ausência de monitoramento, análise ou manutenção	Executar monitoramento, análise e manutenção da conforme indicado pelo responsável pela Segurança de Barragem. Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Normal (Verde)	
	Resultados anômalos da instrumentação de auscultação da barragem	Avaliar os resultados anômalos da instrumentação de auscultação da barragem e prover soluções. Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local		
	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 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	Trincas profundas estáveis, documentadas e monitoradas.	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)
		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 		
		Presença de trincas transversais passantes, de montante para jusante, com percolação de água		
	Surgências (áreas encharcadas, água surgindo ou infiltrações)	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 	Projetar e executar tratamento em caráter emergencial Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Alerta (Laranja)
		Surgência incontrolável com erosão interna em andamento.		
	Abatimento / Deslizamento	Deslizamento do maciço através da crista ou talude, reduzindo borda livre e/ou seção transversal	Projetar e executar tratamento em caráter emergencial Responsável: equipe técnica de segurança de barragem e equipe local	Alerta (Laranja)
	Recalque diferencial excessivo	Recalque diferencial excessivo entre blocos, reduzindo borda livre, permitindo passagem excessiva de água entre juntas.		
Deslizamento	Deslizamento entre blocos das estruturas, permitindo passagem excessiva de água entre juntas.			
Sistema de Aviso	Período seco	Corrigir sistema Responsável: equipe técnica de segurança de barragem	Normal (Verde)	
	Período chuvoso	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. Assim, o **Nível de Resposta – CHEIAS** é acionado de forma a alertar sobre as condições naturais e as vazões do rio Grande que serão repassadas pela UHE Itutinga para jusante.

É verificado 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 Itutinga, 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 Plano de Ações de Emergência no que se refere a 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 está rompendo**, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.

Sinteticamente:

- A barragem já rompeu, está rompendo 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 à 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;
- Avisar/alarmar a Zona de Autossalvamento;
- Acionar 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 Grande, ao longo de municípios do Sul de Minas.

Dada a incerteza de como uma barragem pode romper-se e seus reais efeitos, foi realizado um estudo de ruptura hipotética, considerando quatro diferentes cenários de ruptura. Esses cenários são descritos e têm seus resultados apresentados em apêndice contendo premissas e resultados de simulação de ruptura hipotética.

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 3 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de situação de **CHEIAS**.

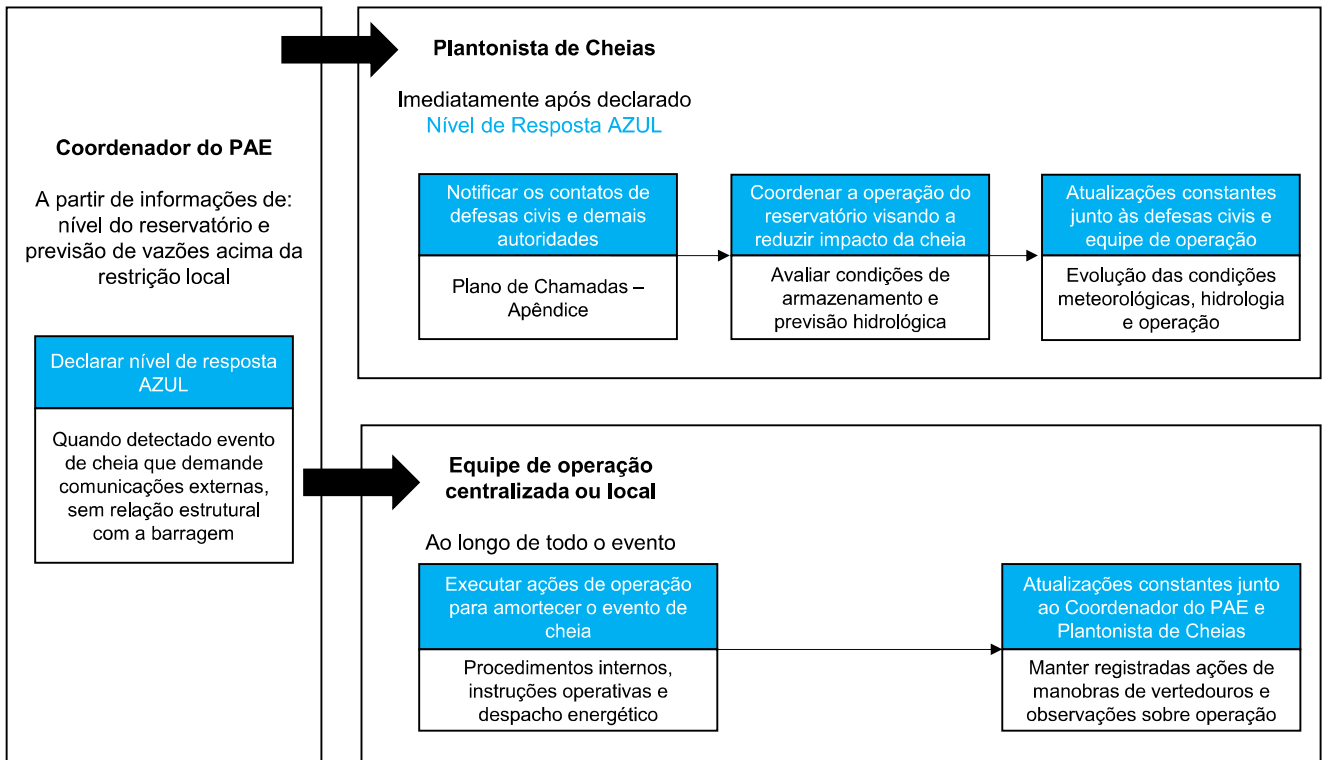


Figura 3 - Fluxograma em situação de CHEIAS

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 4 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de situação de **ALERTA**.

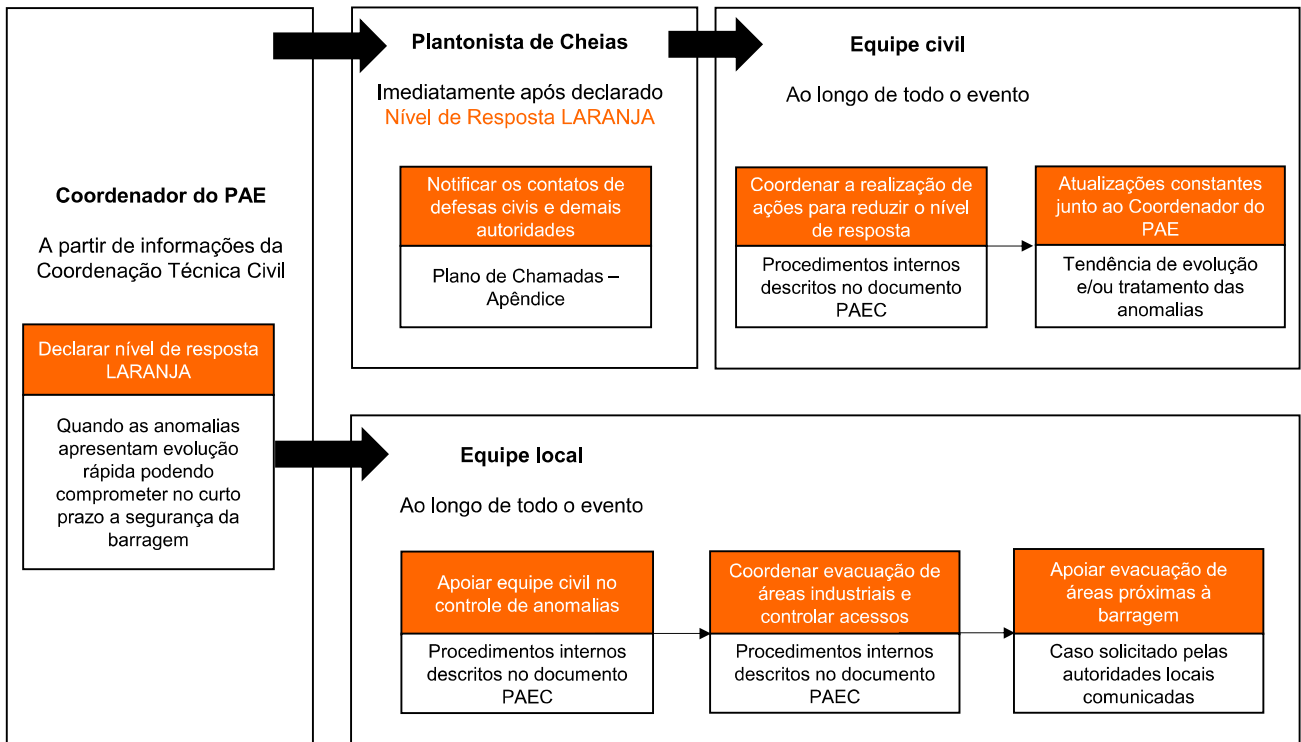


Figura 4 - Fluxograma em situação ALERTA

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 5 abaixo sintetiza as ações a serem tomadas quando da ocorrência de situação de **EMERGÊNCIA**.

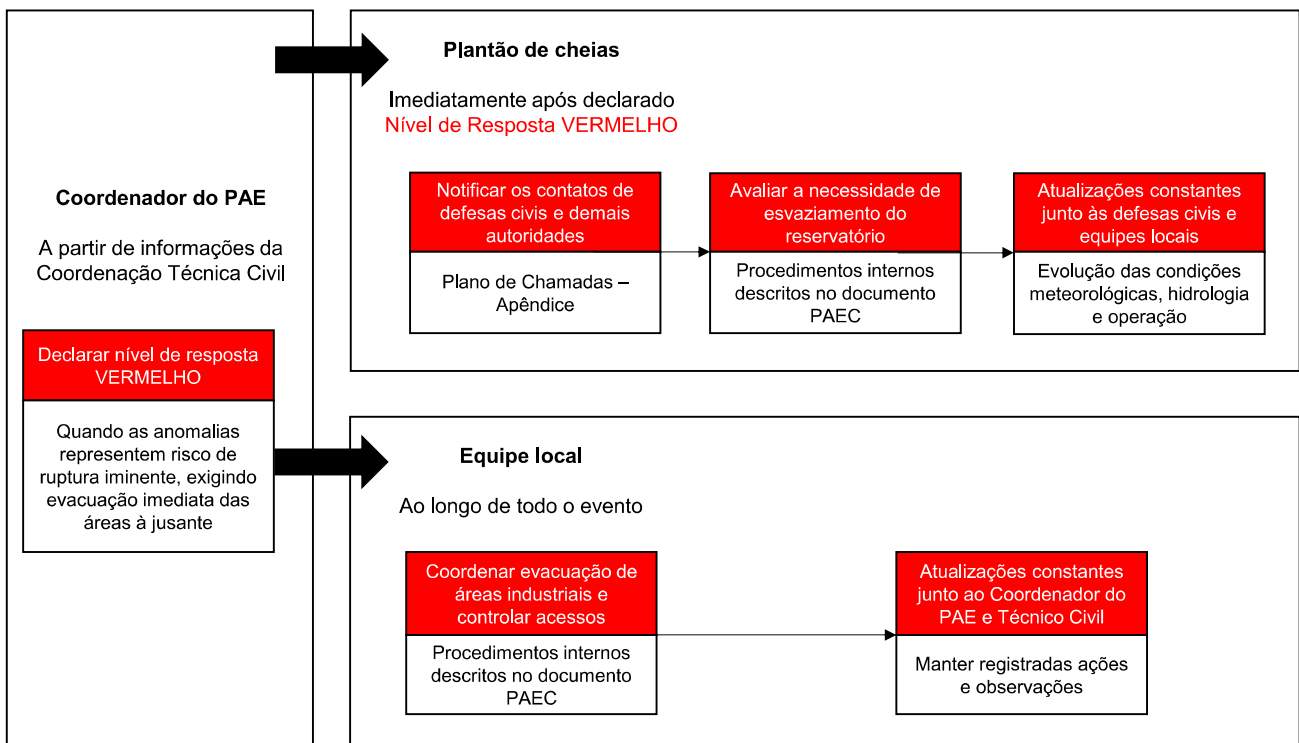


Figura 5 - Fluxograma em situação EMERGÊNCIA

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

A. Zona de Autossalvamento (ZAS)

O reservatório de da UHE Itutinga possui um armazenamento de 11,20 hm³, o qual é considerado pequeno para as dimensões do rio Grande. Por isso, a UHE Itutinga é considerada a fio d'água. A regularização de vazões de fato ocorre no reservatório da UHE Camargos, que tem um volume máximo operativo de 797,63 hm³, e está localizado apenas 7,22 km a montante de Itutinga.

Para a UHE Itutinga, foi delimitada a Zona de Autossalvamento (ZAS), 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 uma eventual ruptura. Adotou-se uma ZAS de 10 km a jusante, na qual são observados pequenos aglomerados populacionais que deverão ser diretamente alertados em eventual situação de emergência, não dependendo da atuação das autoridades competentes.

Em relação aos resultados mapeados pelo estudo de propagação de vazões em eventos hidrológicos naturais, sem rompimento de barragem, as mesmas ocupações próximas à calha do rio Grande, que sofrem efeitos de inundação devido a cheias naturais, bem como as áreas urbanas a jusante, deverão ser devidamente alertadas por meio de contato com as respectivas defesas civis.

B. Monitoramento de vazões

Dado que o evento de ruptura está intimamente ligado a um evento hidrológico, produzido naturalmente ou por acidente, é primordial que o monitoramento das vazões no **rio Grande** e seus afluentes seja mantido constantemente. Além dos dados operativos da UHE Itutinga, para a emissão e alertas para o vale do rio, são monitorados pontos de controle relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estações Fluviométricas

Bacias	Sub-bacias	Estações
6 – RIO PARANÁ	61 – RIO GRANDE	UHE Camargos Jusante - 61061100
6 – RIO PARANÁ	61 – RIO GRANDE	UHE Itutinga Barramento - 61065080
6 – RIO PARANÁ	61 – RIO GRANDE	UHE Itutinga Jusante - 61065090

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>.

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

A Figura 6 mostra um exemplo de visualização de dados no portal da ANA.

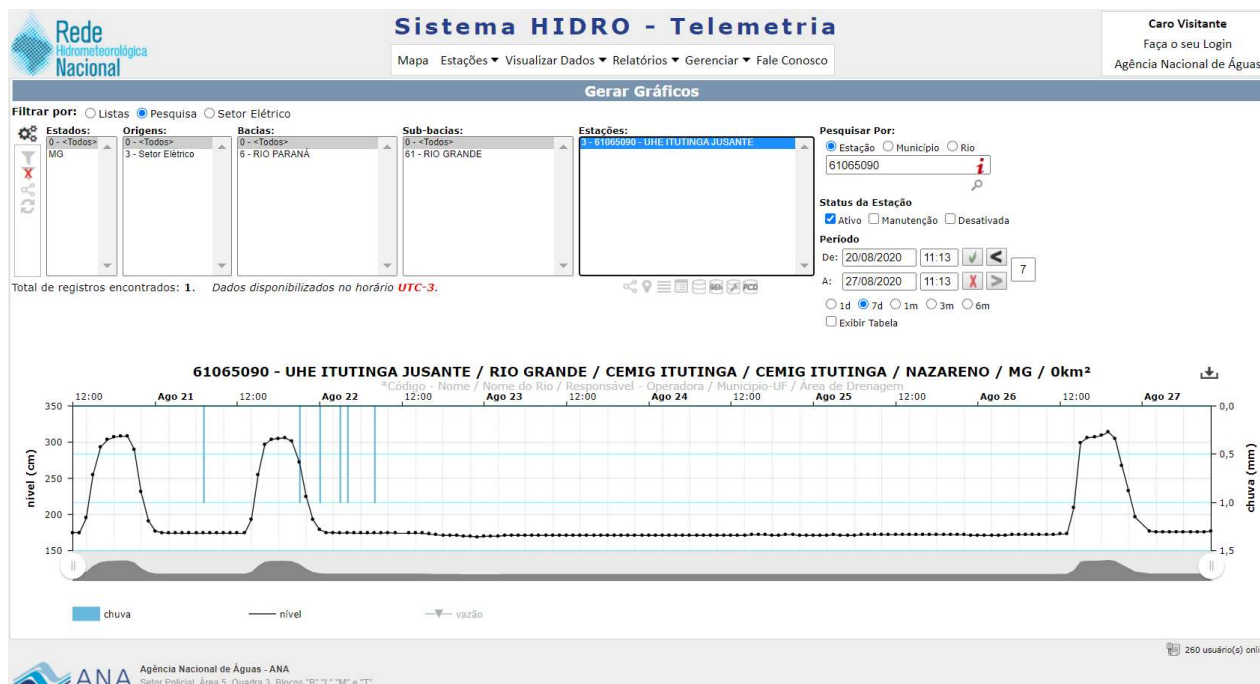


Figura 6 - Visualização do Gestor PCD de dados em tempo real

A Figura 7 apresenta a posição dos postos que permitem o monitoramento de vazões, antecipar eventos de cheias e acompanhar o avanço de onda de ruptura. O mapa pode ser acessado online pelo endereço: https://bit.ly/FLU_ITUTINGA

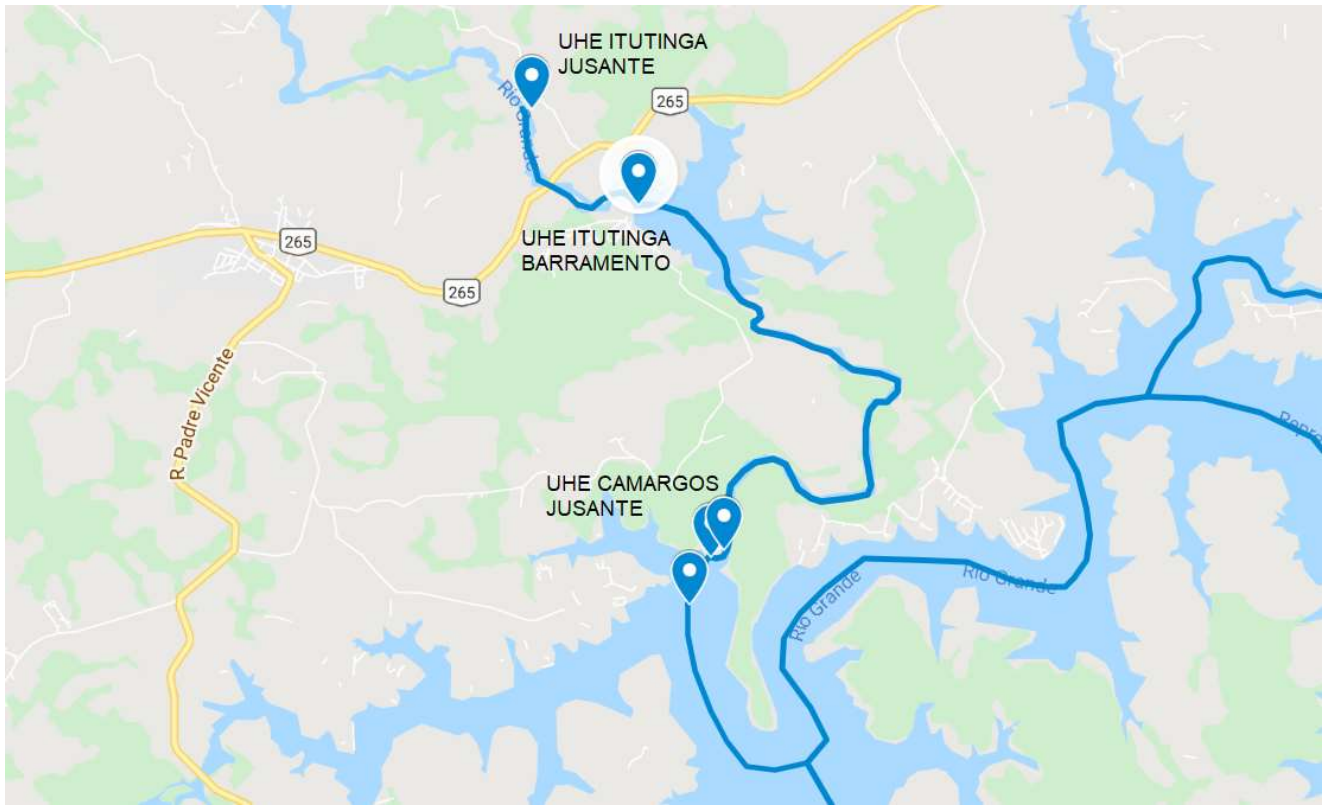


Figura 7 - Pontos de monitoramento hidrométrico

C. Parâmetros para comunicação do plantonista de cheia

Por se tratar de uma UHE com vertedouro controlado e com um reservatório capaz utilizar um volume de espera no período chuvoso, é possível dar previsibilidade da vazão afluente aos municípios de jusante. O monitoramento de vazões ordinárias da UHE Itutinga será realizado através dos postos hidrométricos a montante, operados pela Cemig Geração Itutinga S.A.

O primeiro parâmetro para comunicação se refere à possibilidade de ultrapassagem da vazão de **700 m³/s**, pois estima-se que esta defluência é capaz de provocar danos às propriedades situadas à jusante da UHE Itutinga, no município de Ibituruna.

Vazões acima de **900 m³/s** podem atingir a estrada de acesso à usina de Itutinga e iniciar o risco de inundação da ponte MG-265 (Lavras – São João Del Rei).

Assim, deve ser acionado o plano de comunicação conforme abaixo:

- Defluência > 700 m³/s – comunicar a Defesa Civil de **Ibituruna** para avaliação da condição de risco à população ribeirinha.

- Defluência > 1100 m³/s – comunicar a polícia rodoviária de Perdões para procedimento de interdição da ponte da BR 265 na região do rio Grande

Dado o monitoramento constante dos postos de montante, existe tempo hábil de a Defesa Civil local atuar para evacuação da área afetada. Assim, é primordial que os contatos telefônicos de notificação estejam sempre atualizados e disponíveis.

Caso haja risco de rompimento do barramento da UHE Itutinga, o fluxo de comunicação segue da mesma maneira, indicando a necessidade de evacuação de áreas maiores, devendo abarcar as Defesas Civis das cidades de Nazareno e Itutinga.

Outros efeitos de potenciais inundações são apresentados em apêndice com principais pontos de inundação por município, para os cenários estudados de ruptura de barragem e de cheias naturais.

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

Identificação	
Nome do barramento	UHE Itutinga
Empreendedor	Cemig Geração Itutinga S.A.
Entidade Fiscalizadora	ANEEL
Localização	
- Curso de água barrado	rio Grande
- Município	Itutinga
- Unidade da Federação	Minas Gerais (MG)
- Coordenadas do Empreendimento	Lat. 21°17'35" S Long. 44°37'24" O
Reservatório	
NA Montante – Reservatório:	
- Máximo Maximorum [m-IBGE]	887,00
- Máximo Normal [m-IBGE]	886,00
- Mínimo Normal [m-IBGE]	880,00
Áreas Inundadas:	
- No NA Máximo Maximorum [km ²]	1,72
- No NA Máximo Normal [km ²]	1,55
- No NA Mínimo Normal [km ²]	0,74
Volume do Reservatório:	
- No N.A. Máximo Maximorum [hm ³]	12,97
- No N.A. Máximo Normal [hm ³]	11,20
- No N.A. Mínimo Normal [hm ³]	4,17
Barragem	
- Material	Terra com núcleo argiloso e Concreto
- Comprimento da Crista [m]	550,00
- Altura máxima em relação à fundação [m]	23,00
- Cota da Crista [m-IBGE]	890,00
Sistema de descarga	
Vazão de Projeto [m ³ /s] – TR 10.000 anos	2062,00
Vertedouro Principal	
- Tipo	Vertedouro Soleira Controlada (VS)
- Cota da Soleira [m-IBGE]	880,00
- Número de vãos	5
- Número de comportas	5
- Tipo de comportas	Segmento
- Dimensões das comportas	
- Altura [m]	6,00
- Largura [m]	10,50
Vertedor Lateral Canal	
- Tipo	Vertedouro Soleira Livre (VL)
- Cota da Soleira do vertedor [m-IBGE]	886,00
- Número de vãos	1
- Comprimento total [m]	105,00
Vertedor Margem Direita	
- Tipo	Vertedouro Soleira Livre (VL)
- Cota da Soleira do vertedor [m-IBGE]	886,00
- Número de vãos	1
- Comprimento total [m]	118,00
Comporta Auxiliar de Limpeza	
- Cota da soleira [m-IBGE]	883,00
- Largura [m]	3,00
- Altura [m]	2,40
Número de comportas	1
Sistema adutor	
Tomada d'Água	
- Tipo	Gravidade

Canal de Adução	
- Comprimento [m]	168,52
- Largura [m]	51,00 ~ 41,90
Conduto Forçado	
- Material	Aço
- Número de Conduitos	4
(6) Casa de Força	
- Tipo	Semi-abrigada
- Número de Unidades Geradoras	4
- Tipo	Kaplan pás fixas e pás móveis
- Potência Instalada Total [MW]	52,00
Turbinas Hidráulicas – Unidades Geradoras	
UG 01 e 02	
- Número de Turbinas	2
- Potência Nominal Unitária [MW]	12,00
- Potência Instalada Total [MW]	24,00
UG 03 e 04	
- Número de Turbinas	2
- Potência Nominal Unitária [MW]	14,00
- Potência Instalada Total [MW]	28,00

B. Mensagem de notificação Padrão

URGENTE

Esta é uma mensagem de (declaração / alteração) do Nível de Segurança, feita pelo Coordenador do Plano de Ação de Emergência – PAE da UHE Itutinga, _____.

A partir das ____:____ h de ____/____/____, foi ativado o Nível de Segurança _____ do PAE da UHE Itutinga.

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 se devam precaver e pôr em ação as recomendações e atividades delineadas em sua cópia do PAE da UHE Itutinga.

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

A UHE Itutinga possui uma barragem de terra com núcleo argiloso e concreto, localizada no rio Grande. O volume máximo de armazenamento é de 11,20 hm³, considerado pequeno, de modo que a usina opera a fio d'água, tendo as vazões regularizadas pela UHE Camargos, cuja situação é

A Zona de Autossalvamento (ZAS) adotada corresponde a 10 km a partir do barramento, e engloba pequenos aglomerados populacionais. Nenhum centro urbano está localizado na região.

FIM DA MENSAGEM

C. Premissas e resultados dos estudos de ruptura hipotética

Premissas:

Para o **Nível de Resposta 3 – Emergência**, foram simulados quatro cenários de ruptura para a Barragem de Itutinga, sucintamente descritos a seguir:

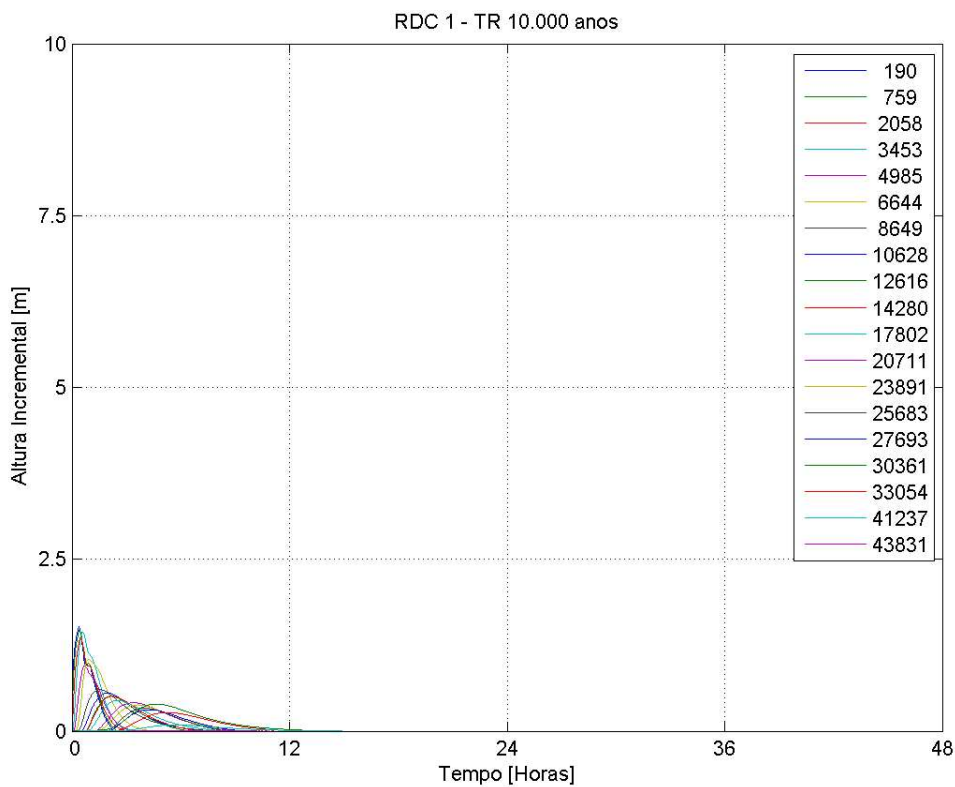
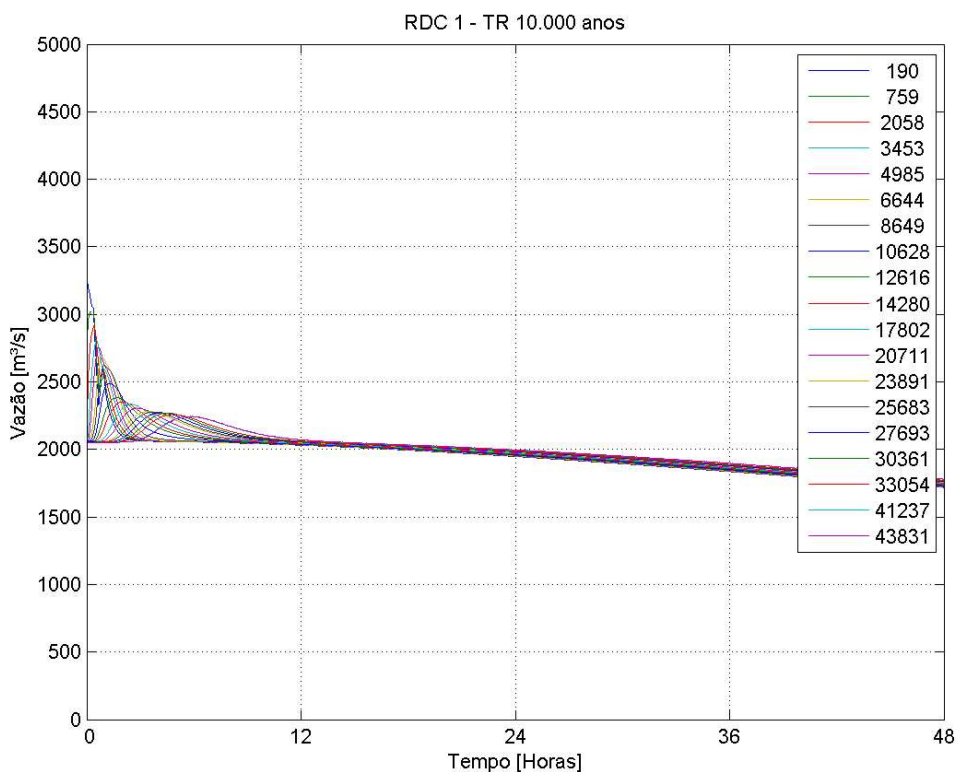
- **Cenário RDC 1:** Rompimento por piping na região de contato entre a barragem de concreto e barragem de terra da margem esquerda, durante evento de vazão decamilenar (2.062 m³/s) com reservatório na cota de 866,00 m;
- **Cenário RDC 2:** Rompimento por piping na região de contato entre a barragem de concreto e barragem de terra da margem esquerda, em dia seco (sunny day), com evento de vazão média de longo termo (130 m³/s), e o reservatório na cota de 886,00 m;
- **Cenário RDC 3:** Rompimento por piping na região de contato entre a barragem de concreto e barragem de terra da margem esquerda, com vazão de restrição (1.000 m³/s) e reservatório na cota de 886,00 m;
- **Cenário RDC 4:** Rompimento por colapso das estruturas dos muros do canal de adução com defluência de vazão de restrição (1.000 m³/s) e reservatório na cota de 866,00 m;

Resultados:

1. Cenário RDC 1: Rompimento por piping, vazão decamilenar (2062 m³/s)

As figuras seguintes ilustram, durante as 48 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da UHE Itutinga para o Cenário 1 (decamilenar), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

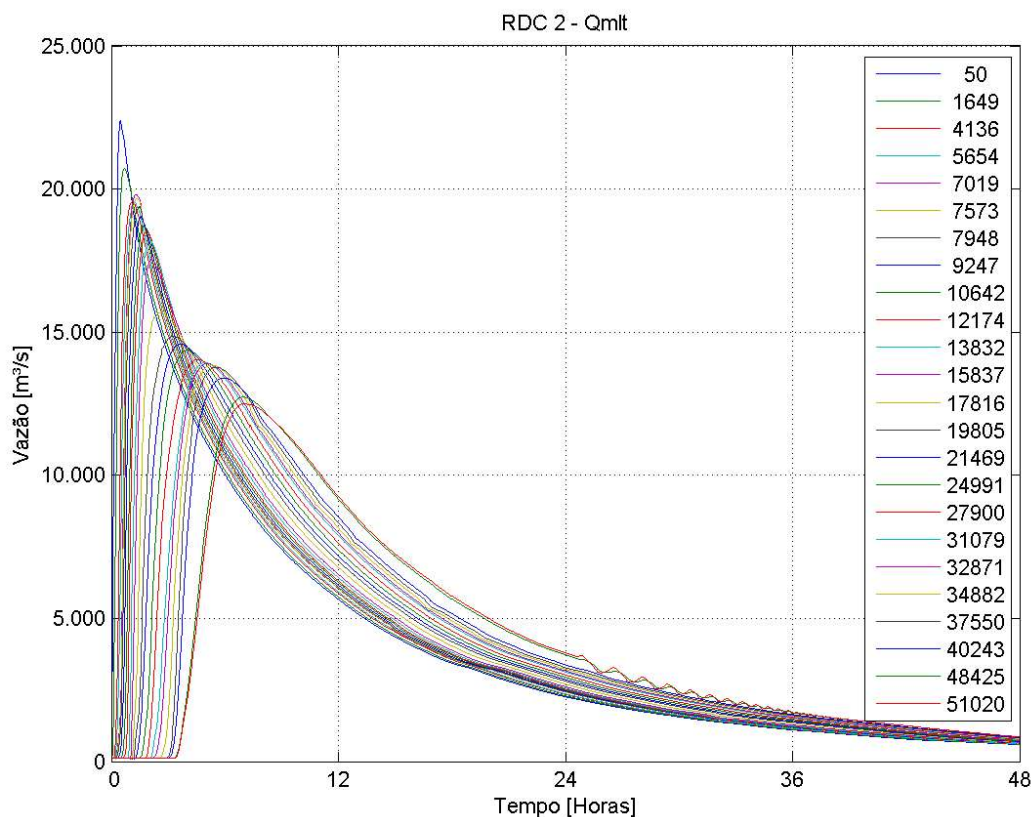
A vazão de pico após a ruptura foi estimada próximo de 3.240 m³/s, e a altura incremental chega a 1,50 m logo a jusante do eixo da Barragem Itutinga. Em relação à entrada do reservatório da UHE Funil, a jusante, a altura incremental da onda de cheia é igual a 0,01 m, com total abatimento.

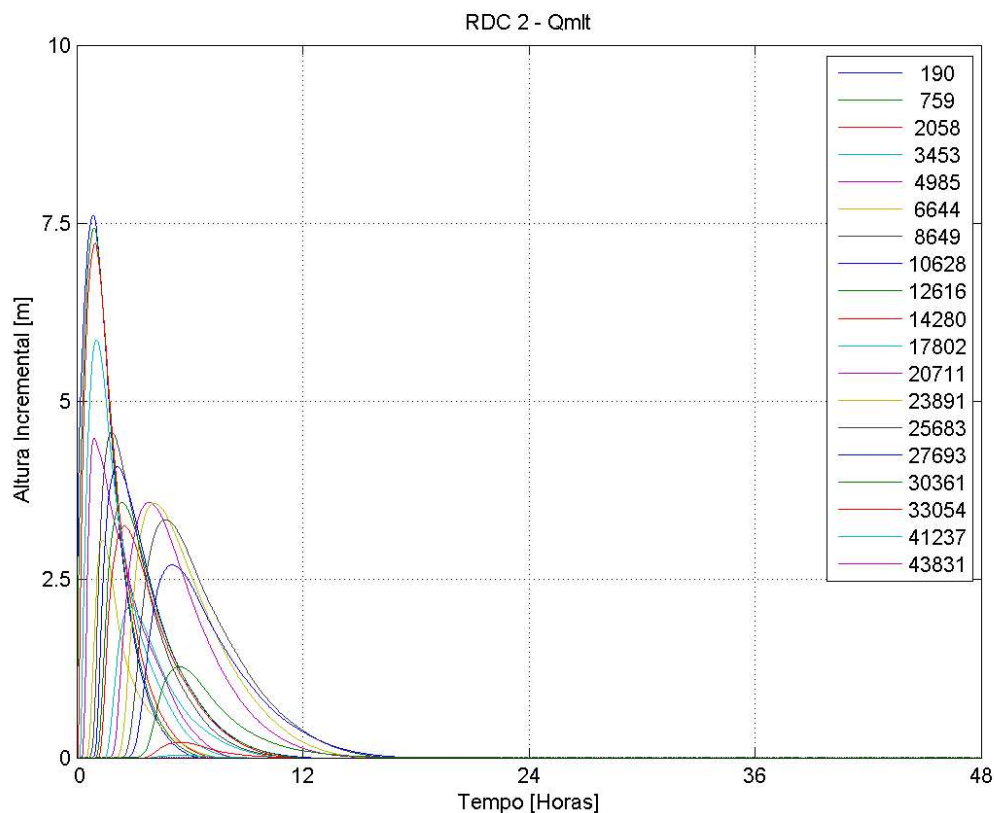


2. Cenário RDC 2: Rompimento por piping em dia seco, vazão média de longo termo (130 m³/s)

As figuras a seguir ilustram, durante as 48 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Itutinga para o Cenário 2 (*sunny day*), 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 próximo de 1.550 m³/s, e a altura incremental chega a 7,61 m logo a jusante do eixo da Barragem Itutinga. Em relação à entrada do reservatório da UHE Funil, a altura incremental da onda de cheia é igual a 0,01 m, com total abatimento. A título de comparação, a inundação induzida nesse cenário não supera a cheia natural de TR de 100 anos.

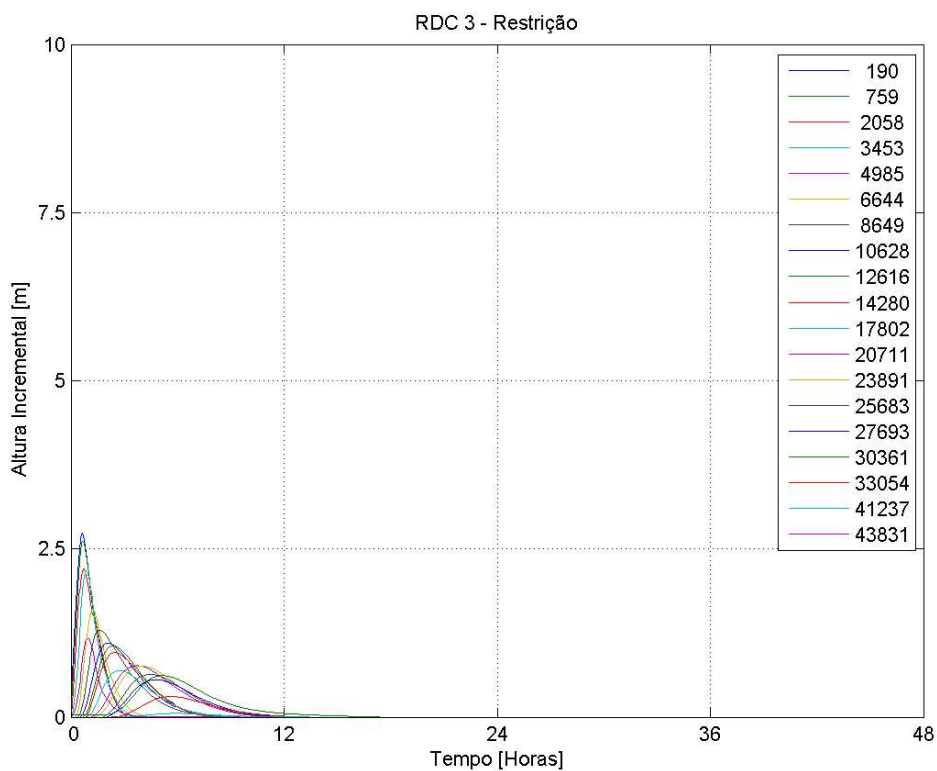
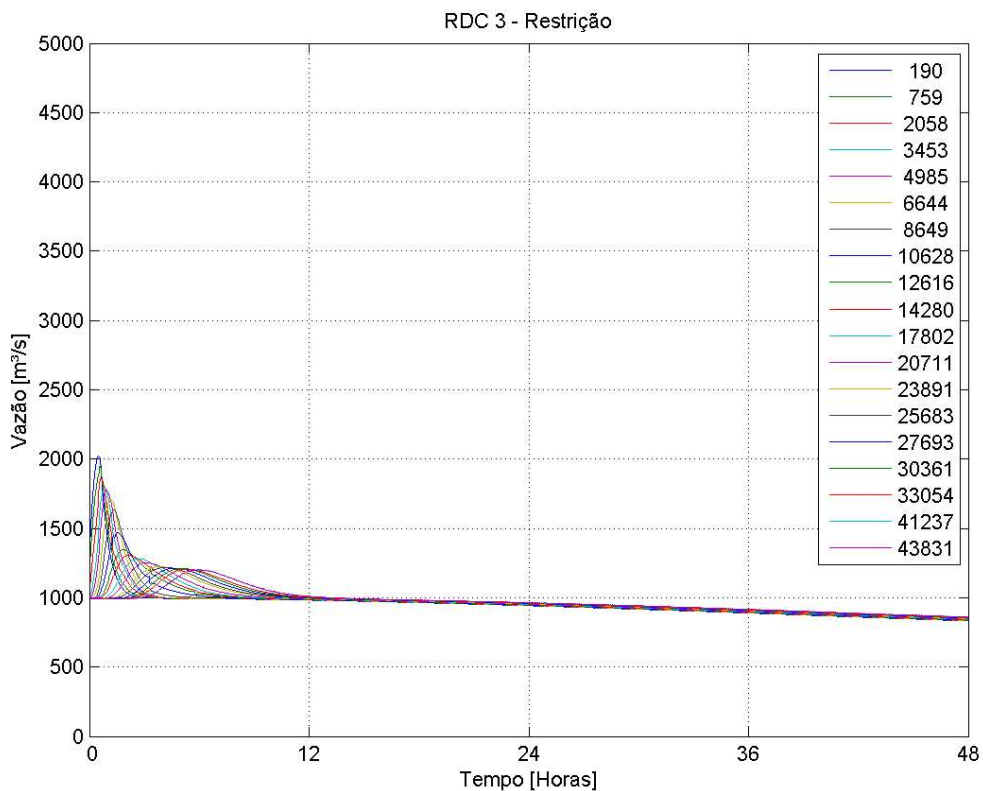




3. Cenário RDC 3: Rompimento por piping, operando a vazão de restrição (1000 m³/s)

As figuras seguintes ilustram, durante as 48 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem de Itutinga para o Cenário 3 (vazão de restrição), sendo apresentados um hidrograma e uma curva da altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse.

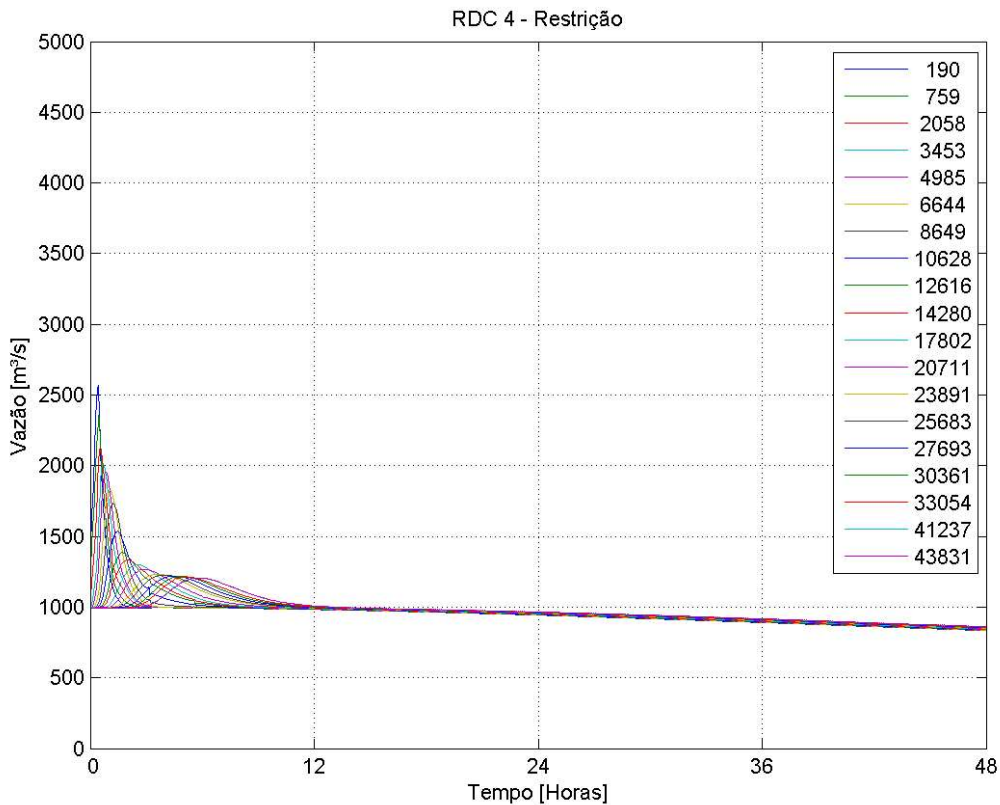
A vazão de pico após a ruptura foi estimada próximo de 2020 m³/s, e a altura incremental chega a 3,00 m logo a jusante do eixo da Barragem Itutinga. Em relação à entrada do reservatório da UHE Funil, a altura incremental da onda de cheia é igual a 0,01 m, com total abatimento.

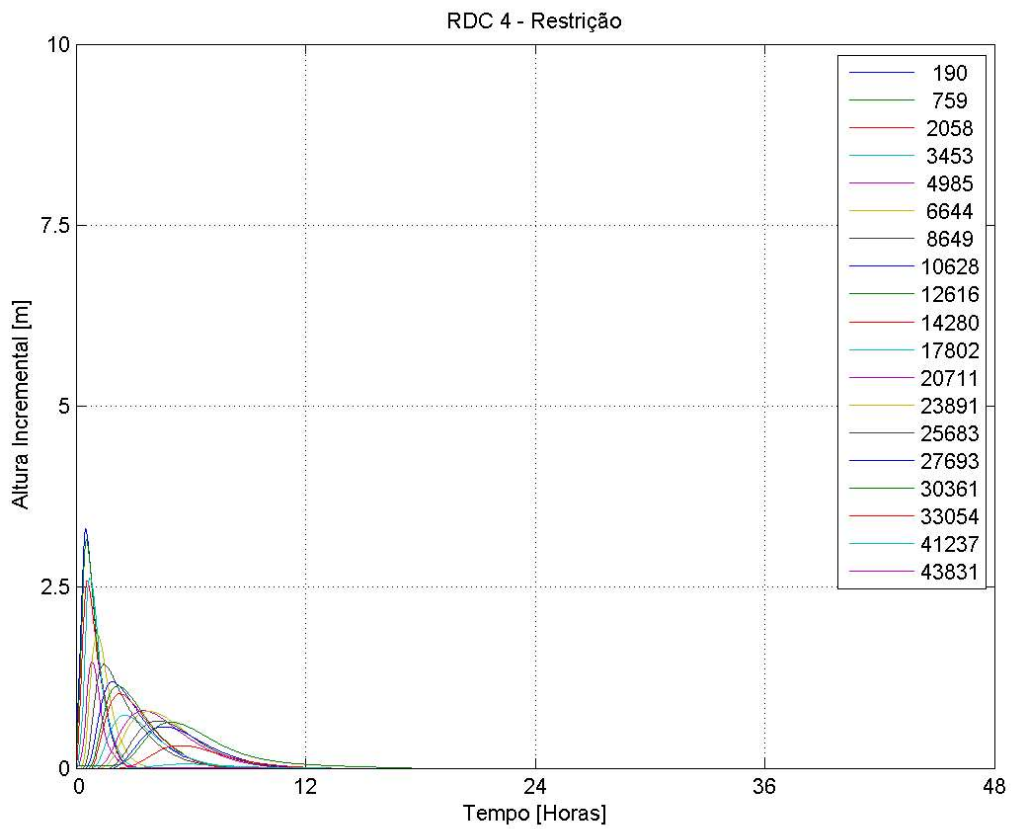


4. Cenário RDC 4: Rompimento por colapso de estruturas, operando a vazão de restrição (1000 m³/s)

As figuras a seguir ilustram, durante as 48 horas mais críticas do evento, o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Itutinga para o Cenário 4 (vazão de restrição), 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 próximo de 2570 m³/s, e a altura incremental chega a 3,00 m logo a jusante do eixo da Barragem Itutinga. Em relação à entrada do reservatório da UHE Funil, a altura incremental da onda de cheia é igual a 0,01 m, com total abatimento.





D. Principais pontos de inundação

As tabelas abaixo expõem o número de benfeitorias potencialmente afetadas pelos cenários de ruptura hipotética. Considerando a média de habitantes por edificações, por setor censitário, a estimativa da população afetada, por cenário de ruptura, encontra-se nas tabelas seguintes.

Cenário de Ruptura	Número Aprox. de atingidos (Edificações)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
Cenário 1	52	61	113
Cenário 2	12	11	23
Cenário 3	29	23	52
Cenário 4	35	23	58

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Edificações)							
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
313450905000006	6	16	1	3	4	8	4	8
313000205000004	0	19	0	1	0	6	0	6
314450805000013	0	8	0	0	0	0	0	0
314450805000012	25	0	2	0	11	0	16	0
313450905000007	21	0	9	0	14	0	15	0
313430110000005	0	17	0	7	0	9	0	9
313000205000005	0	1	0	0	0	0	0	0
Total	52	61	12	11	29	23	35	23

Setor Censitário	Número Aprox. de atingidos (Habitantes)							
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS	Na ZAS	Fora da ZAS
313450905000006	19	50	4	10	13	25	13	25
313000205000004	0	60	0	4	0	19	0	19
314450805000013	0	27	0	0	0	0	0	0
314450805000012	80	0	7	0	35	0	51	0
313450905000007	67	0	29	0	45	0	48	0
313430110000005	0	56	0	23	0	30	0	30
313000205000005	0	3	0	0	0	0	0	0
Total	166	196	40	37	93	74	112	74

Em relação às cheias naturais, o número de benfeitorias é apresentado a seguir.

Tempos de recorrência	Número Aprox. de atingidos (Edificações)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
TR 10.000 anos = 2.062 m³/s	38	46	84
TR 100 anos = 1.292 m³/s	17	25	42
TR 50 anos = 1.175 m³/s	10	20	30
TR 10 anos = 899 m³/s	8	16	24
TR 2 anos = 584 m³/s	6	13	19

Algumas restrições de acesso em momentos de crise podem ser identificadas. 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. Essas estruturas 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.

Com base nessas 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 que o nível d'água atingiu o tabuleiro da estrutura ou o não atendimento da recomendação de DNIT (2005).

A ponte presente ao longo do trecho estudado tem os resultados resumidos abaixo.

Estrutura	Elevação do tabuleiro		Elevação máxima do nível de água						
	[m-IBGE]		[m-IBGE]						
	Superior	Inferior	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	TR10.000	TR100	TR50
Ponte da BR-265	863,61	861,31	865,45	861,81	863,44	863,98	863,98	862,32	861,83

Em vermelho estão situações de risco ou inconformidade.

E. Tempos de chegada e pico de onda

As tabelas a seguir contêm os resultados da modelagem hidrológica, apresentadas em todos os mapas temáticos produzidos para os cenários de ruptura, anteriormente identificados.

- Resultados RDC 1:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmlt} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m³/s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
44218	190,00	865,97	864,45	854,58	11,39	1,52	3237,95	00 00 23	00 01 19	00 00 02	0,00
43649	759,13	865,45	863,98	854,37	11,07	1,47	3019,20	00 00 24	00 01 19	00 00 04	34,15
42350	2058,17	864,18	862,83	853,91	10,28	1,35	2917,41	00 00 28	00 01 18	00 00 08	22,42
40955	3452,89	860,85	859,40	851,48	9,37	1,44	2806,63	00 00 35	00 01 25	00 00 13	16,31
39423	4985,16	857,20	856,25	850,74	6,46	0,95	2755,74	00 00 43	00 01 07	00 00 24	14,39
37764	6643,70	852,27	851,23	845,93	6,34	1,04	2684,28	00 00 55	00 01 22	00 00 34	12,10
35759	8648,58	848,39	847,79	839,48	8,91	0,60	2623,78	00 01 35	00 00 14	00 01 29	7,05
33780	10627,70	847,57	847,01	838,80	8,76	0,56	2489,04	00 01 57	NDA	NDA	6,66
31792	12616,19	846,87	846,36	838,48	8,39	0,51	2383,76	00 02 10	NDA	NDA	6,97
30128	14280,45	846,22	845,72	838,27	7,96	0,51	2353,44	00 02 14	NDA	NDA	7,62
26606	17801,99	842,58	842,13	836,76	5,82	0,45	2334,53	00 02 32	NDA	NDA	8,19
23697	20711,34	836,47	836,06	827,59	8,88	0,41	2306,15	00 03 23	NDA	NDA	6,84
20517	23890,65	834,78	834,39	826,29	8,49	0,38	2281,33	00 03 37	NDA	NDA	7,33
18725	25682,59	828,84	828,50	820,54	8,29	0,33	2277,38	00 04 00	NDA	NDA	7,05
16715	27693,20	824,70	824,39	817,71	6,99	0,31	2271,72	00 04 16	NDA	NDA	7,08
14047	30361,11	813,53	813,13	808,11	5,42	0,39	2269,38	00 04 40	NDA	NDA	7,04
11354	33054,39	810,65	810,38	808,02	2,63	0,27	2258,77	00 05 16	NDA	NDA	6,73
3171	41236,55	808,60	808,51	808,01	0,59	0,09	2243,10	00 05 43	NDA	NDA	7,70
577	43831,21	808,02	808,02	808,00	0,02	0,00	2244,23	00 05 53	NDA	NDA	7,93

*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 RDC 2:

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] [*]
44218	190,00	862,19	862,70	854,58	7,61	NDA	1552,87	00 00 54	00 04 08	00 00 02	0,00
43649	759,13	861,81	862,34	854,37	7,43	NDA	1412,48	00 00 57	00 04 12	00 00 04	11,38
42350	2058,17	861,13	861,66	853,91	7,22	NDA	1264,20	00 01 00	00 04 22	00 00 09	18,68
40955	3452,89	857,34	857,59	851,48	5,86	NDA	1217,81	00 01 04	00 04 55	00 00 17	19,58
39423	4985,16	855,21	855,28	850,74	4,48	NDA	1258,07	00 00 56	00 05 09	00 00 26	143,85
37764	6643,70	848,99	849,47	845,93	3,05	NDA	1201,02	00 01 25	00 03 18	00 00 46	12,49
35759	8648,58	844,05	845,89	839,48	4,57	NDA	1078,06	00 01 53	00 05 35	00 00 58	8,60
33780	10627,70	842,89	844,97	838,80	4,09	NDA	965,53	00 02 10	00 05 52	00 01 09	8,24
31792	12616,19	842,07	844,28	838,48	3,59	NDA	854,74	00 02 26	00 05 44	00 01 19	8,10
30128	14280,45	841,52	843,70	838,27	3,25	NDA	787,62	00 02 33	00 05 30	00 01 26	8,54
26606	17801,99	838,88	840,55	836,76	2,12	NDA	715,44	00 02 52	00 04 04	00 01 54	8,96
23697	20711,34	831,17	834,24	827,59	3,59	NDA	657,62	00 03 51	00 07 10	00 02 12	6,96
20517	23890,65	829,86	832,81	826,29	3,57	NDA	583,24	00 04 08	00 07 35	00 02 35	7,33
18725	25682,59	823,89	826,78	820,54	3,34	NDA	565,76	00 04 44	00 07 58	00 03 00	6,65
16715	27693,20	820,42	822,89	817,71	2,70	NDA	543,97	00 05 06	00 07 20	00 03 25	6,55
14047	30361,11	809,38	811,33	808,11	1,28	NDA	540,77	00 05 28	00 03 50	00 04 13	6,61
11354	33054,39	808,24	809,19	808,02	0,21	NDA	540,32	00 05 33	NDA	NDA	7,07
3171	41236,55	808,04	808,21	808,01	0,03	NDA	544,39	00 05 40	NDA	NDA	8,61
577	43831,21	808,00	808,01	808,00	0,00	NDA	545,63	00 05 12	NDA	NDA	10,15

*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_{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 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 RDC 3:

SC	d*[m]	Z _p *	Z _{ref} *	Z _{Qmlt} *	H [m]*	H _{incr} [m]*	Q _p [m³/s]*	T _p *	T _{inun} *	T _{ch}	V [km/h]*
44218	190,00	863,91	861,18	854,58	9,34	2,73	2024,78	00 00 40	00 01 57	00 00 07	0,00
43649	759,13	863,44	860,82	854,37	9,07	2,62	1950,14	00 00 42	00 01 56	00 00 10	17,07
42350	2058,17	862,40	860,20	853,91	8,50	2,20	1868,32	00 00 45	00 01 52	00 00 13	22,42
40955	3452,89	858,74	856,56	851,48	7,26	2,17	1802,87	00 00 53	00 01 42	00 00 22	15,06
39423	4985,16	855,77	854,60	850,74	5,03	1,17	1773,86	00 00 58	00 00 58	00 00 35	15,98
37764	6643,70	850,19	848,60	845,93	4,26	1,59	1703,79	00 01 16	00 01 36	00 00 42	10,76
35759	8648,58	846,06	844,77	839,48	6,58	1,29	1635,00	00 01 38	00 02 37	00 00 57	8,75
33780	10627,70	844,95	843,85	838,80	6,15	1,10	1469,36	00 02 07	00 02 38	00 01 17	7,20
31792	12616,19	844,17	843,11	838,48	5,68	1,06	1346,21	00 02 24	00 02 37	00 01 30	7,17
30128	14280,45	843,53	842,57	838,27	5,26	0,96	1306,19	00 02 30	00 02 25	00 01 38	7,69
26606	17801,99	840,38	839,69	836,76	3,62	0,69	1281,52	00 02 47	00 01 22	00 02 13	8,32
23697	20711,34	833,95	833,19	827,59	6,36	0,77	1251,33	00 03 46	00 02 21	00 02 46	6,62
20517	23890,65	832,45	831,69	826,29	6,16	0,76	1224,51	00 04 02	00 02 22	00 03 03	7,04
18725	25682,59	826,51	825,87	820,54	5,96	0,63	1219,61	00 04 30	00 01 08	00 04 00	6,65
16715	27693,20	822,67	822,12	817,71	4,96	0,56	1213,08	NDA	NDA	NDA	6,60
14047	30361,11	811,31	810,70	808,11	3,21	0,62	1211,46	00 05 10	00 00 53	00 04 46	6,70
11354	33054,39	809,06	808,75	808,02	1,04	0,31	1206,71	NDA	NDA	NDA	6,59
3171	41236,55	808,19	808,13	808,01	0,18	0,06	1201,47	NDA	NDA	NDA	7,74
577	43831,21	808,01	808,00	808,00	0,01	0,00	1202,08	NDA	NDA	NDA	8,53

*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 Q_{restricção} [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 Q_{restricção} [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 RDC 4:

Seção	Distância	Cota	Restrição	Cota mlt	H	Hincr	Qp	Tp	Tinun	Tch	V
44218	190,00	864,49	861,18	854,58	9,91	3,31	2566,64	00 00 31	00 01 41	00 00 05	0,00
43649	759,13	863,98	860,82	854,37	9,61	3,16	2358,53	00 00 33	00 01 40	00 00 08	17,07
42350	2058,17	862,79	860,20	853,91	8,88	2,59	2127,23	00 00 36	00 01 37	00 00 11	22,42
40955	3452,89	859,19	856,56	851,48	7,71	2,63	2013,33	00 00 45	00 01 29	00 00 19	13,98
39423	4985,16	856,06	854,60	850,74	5,33	1,47	1957,02	00 00 51	00 00 57	00 00 30	14,39
37764	6643,70	850,45	848,60	845,93	4,52	1,85	1828,27	00 01 08	00 01 29	00 00 37	10,47
35759	8648,58	846,20	844,77	839,48	6,72	1,44	1735,28	00 01 30	00 02 31	00 00 51	8,60
33780	10627,70	845,04	843,85	838,80	6,24	1,19	1535,41	00 01 55	00 02 36	00 01 09	7,46
31792	12616,19	844,24	843,11	838,48	5,76	1,14	1386,11	00 02 12	00 02 36	00 01 21	7,38
30128	14280,45	843,59	842,57	838,27	5,33	1,03	1332,77	00 02 19	00 02 24	00 01 29	7,83
26606	17801,99	840,42	839,69	836,76	3,66	0,73	1301,25	00 02 35	00 01 30	00 01 59	8,52
23697	20711,34	833,98	833,19	827,59	6,39	0,79	1265,59	00 03 33	00 02 25	00 02 34	6,77
20517	23890,65	832,47	831,69	826,29	6,19	0,78	1233,16	00 03 51	00 02 27	00 02 50	7,11
18725	25682,59	826,53	825,87	820,54	5,99	0,65	1227,48	00 04 19	00 01 23	00 03 42	6,71
16715	27693,20	822,69	822,12	817,71	4,98	0,57	1220,12	00 04 37	NDA	NDA	6,71
14047	30361,11	811,33	810,70	808,11	3,23	0,64	1218,38	00 04 59	00 01 12	00 04 27	6,75
11354	33054,39	809,07	808,75	808,02	1,05	0,31	1212,96	00 05 27	NDA	NDA	6,66
3171	41236,55	808,19	808,13	808,01	0,18	0,06	1206,65	00 05 44	NDA	NDA	7,87
577	43831,21	808,01	808,00	808,00	0,00	0,00	1206,96	00 05 00	NDA	NDA	9,73

*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 $Q_{restrição}$ [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 $Q_{restrição}$ [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 Cheias Naturais:

SC	d*[m]	Z _{2anos}	Z _{10anos}	Z _{50anos}	Z _{100anos} *	Z _{10000anos}	Z _{QMLT}	Z _{Restrição}
44218	190,00	859,10	860,83	862,18	862,70	864,45	854,58	861,18
43649	759,13	858,81	860,49	861,83	862,34	863,98	854,37	860,82
42350	2058,17	858,33	859,92	861,17	861,66	862,83	853,91	860,20
40955	3452,89	855,27	856,34	857,25	857,59	859,40	851,48	856,56
39423	4985,16	854,22	854,68	855,11	855,28	856,25	850,74	854,60
37764	6643,70	847,57	848,41	849,16	849,47	851,23	845,93	848,60
35759	8648,58	842,88	844,37	845,49	845,89	847,79	839,48	844,77
33780	10627,70	842,06	843,49	844,54	844,97	847,01	838,80	843,85
31792	12616,19	841,48	842,79	843,85	844,28	846,36	838,48	843,11
30128	14280,45	841,06	842,30	843,30	843,70	845,72	838,27	842,57
26606	17801,99	838,58	839,53	840,26	840,55	842,13	836,76	839,69
23697	20711,34	831,26	832,87	833,87	834,24	836,06	827,59	833,19
20517	23890,65	830,03	831,49	832,47	832,81	834,39	826,29	831,69
18725	25682,59	824,14	825,50	826,45	826,78	828,50	820,54	825,87
16715	27693,20	820,64	821,80	822,61	822,89	824,39	817,71	822,12
14047	30361,11	809,46	810,36	811,05	811,33	813,13	808,11	810,70
11354	33054,39	808,27	808,61	809,01	809,19	810,38	808,02	808,75
3171	41236,55	808,05	808,10	808,17	808,21	808,51	808,01	808,13
577	43831,21	808,00	808,00	808,01	808,01	808,02	808,00	808,00

*d é a distância entre a seção de controle e o eixo do barramento [m];

F. Lista de mapas temáticos e manchas de inundação

Na lista de desenhos 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, além das principais estruturas atingidas em cada cenário. 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 resumam 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 [m³/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, vazão decamilenar (2062 m ³ /s)	PAE-ITU-MAP01-RDC01_revB
RDC 2 – Rompimento por piping em dia seco, com vazão média de longo termo (130 m ³ /s)	PAE-ITU-MAP02-RDC02_revB
RDC 3 - Rompimento por piping, operando a vazão de restrição (1000 m ³ /s)	PAE-ITU-MAP03-RDC03_revB
RDC 4 – Rompimento por colapso de estruturas, operando a vazão de restrição (1000 m ³ /s)	PAE-ITU-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 especialmente a capacidade destrutiva de uma onda induzida pela ruptura hipotética da barragem.

Nessa linha, a tabela a seguir 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, vazão decamilenar (2062 m³/s)	PAE-ITU-MAP05-PER01_revB
RDC 2 – Rompimento por piping em dia seco, com vazão média de longo termo (130 m³/s)	PAE-ITU-MAP06-PER02_revB
RDC 3 - Rompimento por piping, operando a vazão de restrição (1000 m³/s)	PAE-ITU-MAP07-PER03_revB
RDC 4 – Rompimento por colapso de estruturas, operando a vazão de restrição (1000 m³/s)	PAE-ITU-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 – Cheias Naturais	Número do Mapa
TR 2 anos (584 m³/s)	PAE-ITU-MAP09-TR2_revB
TR 10 anos (899 m³/s)	PAE-ITU-MAP10-TR10_revB
TR 50 anos (1175 m³/s)	PAE-ITU-MAP11-TR50_revB
TR 100 anos (1292 m³/s)	PAE-ITU-MAP12-TR100_revB
TR 10.000 anos (2062 m³/s)	PAE-ITU-MAP13-TR10000_revB

IX. Apêndices Externos

Documento nº PAE-ITU-DOC02_Apêndices-G-H

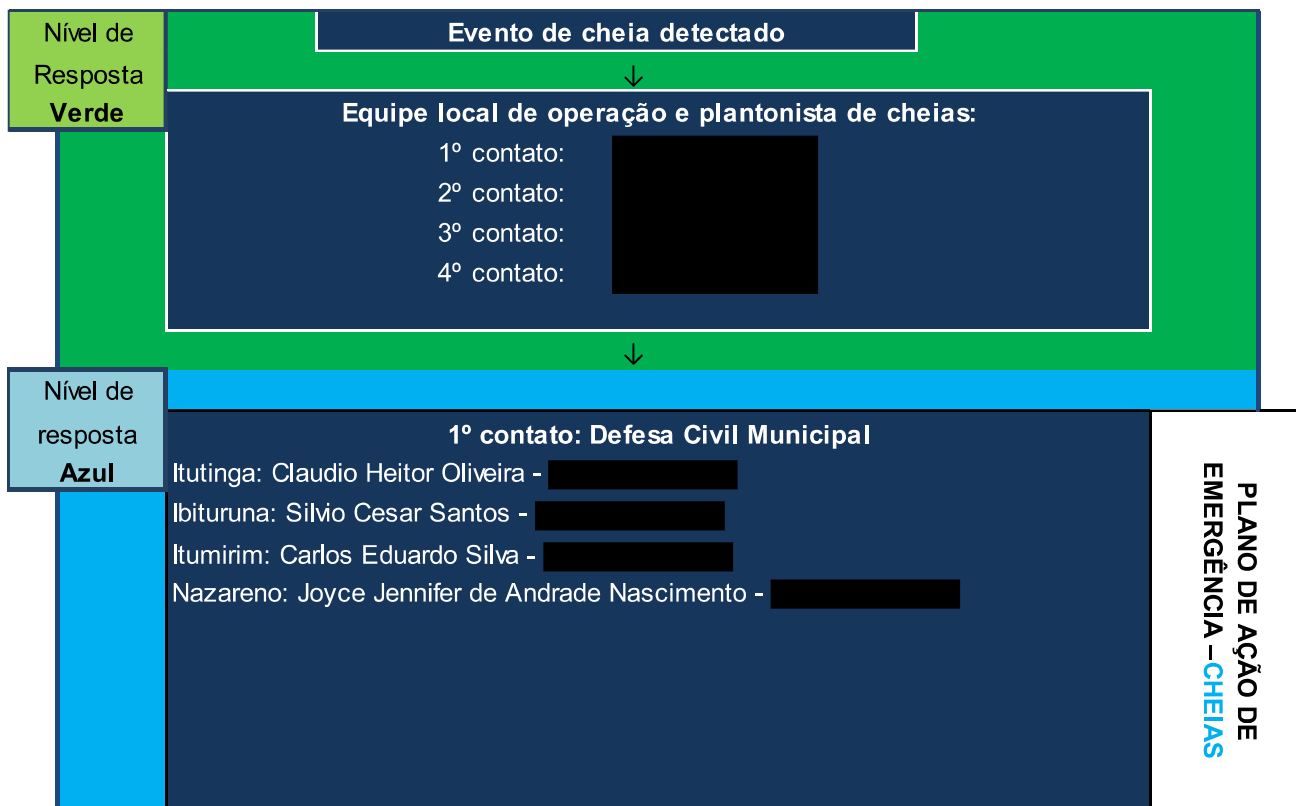
G. Controle de distribuição digital deste PAE¹

Nome do Responsável	Função/Entidade
Ivan Sérgio Carneiro	Coordenador do PAE – Cemig GT
Diego Antônio F. Balbi	Coordenador Técnico Civil – Cemig GT
William Serrano Amorim	Gerente da Equipe Local – Cemig GT
Paulo Henrique Camargos Firme	Diretor – Defesa Civil Estadual Minas Gerais
Claudio Heitor Oliveira	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Itutinga
Silvio Cesar Santos	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Ibituruna
Carlos Eduardo Silva	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Itumirim
Joyce Jennifer A. Nascimento	Coordenador – Defesa Civil Municipal Prefeitura Municipal de Nazareno

¹ Apêndice revisado em 19/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.

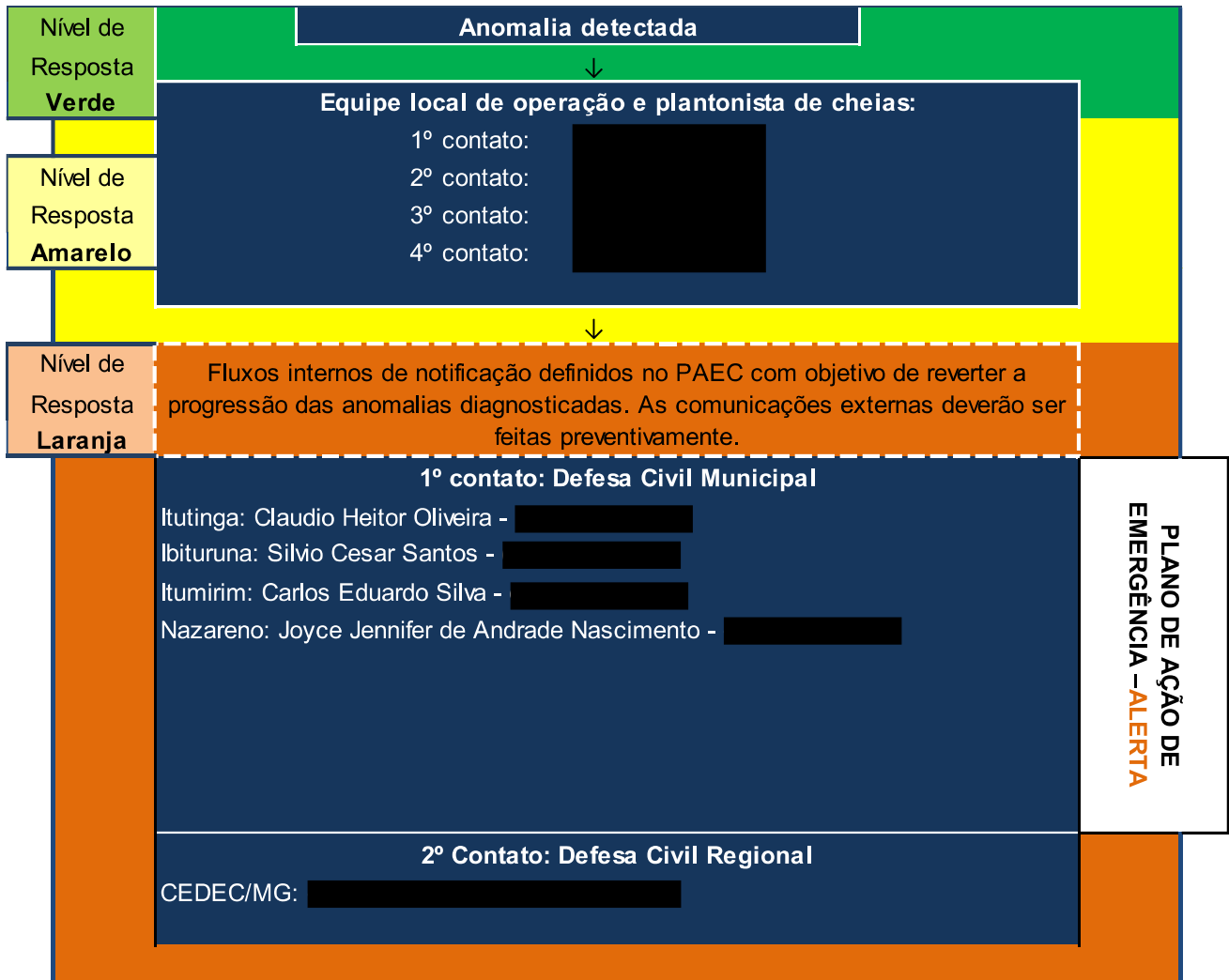
H. Plano de chamadas para notificação deste PAE

- Nível de Resposta: CHEIAS²



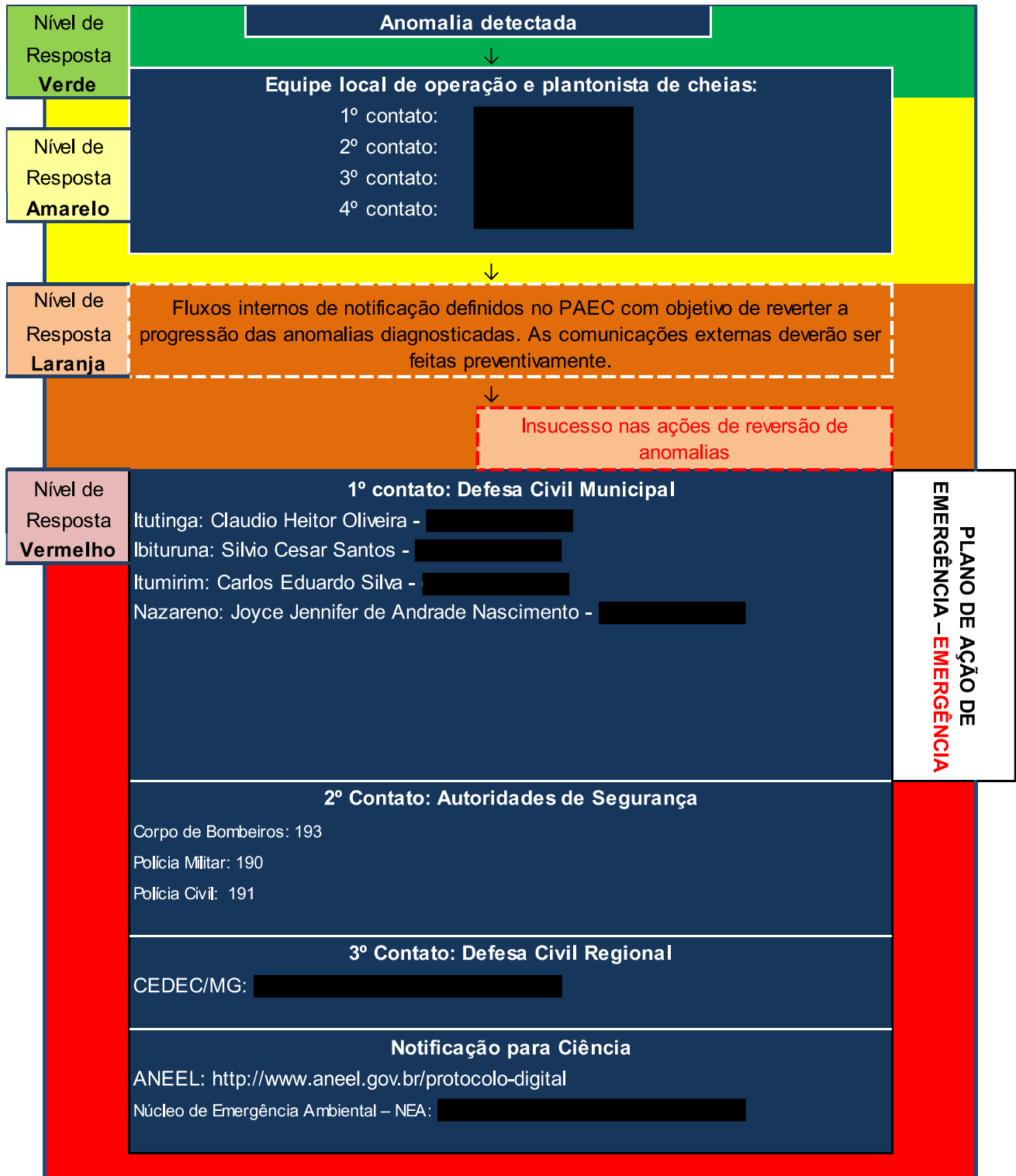
² Apêndice revisado em 19/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.

- Nível de Resposta 2: ALERTA³



³ Apêndice revisado em 19/04/2022. 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 19/04/2022. Este apêndice pode ter seus contatos alterados, sem que o documento do PAE Externo perca a vigência de sua revisão.