

ANA PAULA FERNANDES VIANA FURTADO

SISTEMAS INTELIGENTES PARA GESTÃO, COMUNICAÇÃO E ALERTA DE EMERGÊNCIAS EM BARRAGENS: ESTUDO DE CASO DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais; Escola Politécnica; Departamento de Engenharia Ambiental – DEA; Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Pof. Msc. Diego Antônio Fonseca Balbi.

Salvador
2024

SISTEMAS INTELIGENTES PARA GESTÃO, COMUNICAÇÃO E ALERTA DE EMERGÊNCIAS EM BARRAGENS: ESTUDO DE CASO DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

Ana Paula Fernandes Viana Furtado¹
anapaula.fvf@pbh.gov.br

Resumo

A tecnologia tem desempenhado um papel fundamental na gestão de emergências, inclusive às relacionadas às barragens. Este trabalho apresenta a experiência da Prefeitura de Belo Horizonte – PBH, na concepção e implementação de uma ferramenta inteligente para gerenciamento de barragens, comunicação e emissão de alertas. Um sistema web, denominado SIMBA, foi concebido pelas equipes de desenvolvimento de software e de engenharia de barragens da prefeitura. O sistema possui duas funcionalidades: monitoramento; comunicação e alerta. O SIMBA permite o armazenamento de dados de leituras dos instrumentos instalados nas barragens e de informações das inspeções. Classificada e confirmada uma emergência, o SIMBA dispara alertas automáticos para grupos de responsáveis, definidos nos Planos de Ação e Emergência – PAE. Testes iniciais indicaram resultados promissores. Após a simulação e classificação de emergência para a barragem da Pampulha, alertas foram emitidos por SMS, Telegram e e-mail. Além do alerta da emergência, foram informadas as ações a serem empreendidas, previamente definidas no PAE, para cada responsável: fechamento de vias, evacuação de áreas, disparo de sirenes etc. O SIMBA vem promovendo avanços na gestão das informações de monitoramento, no fluxo e na velocidade da comunicação de emergências das barragens da PBH.

Palavras-Chave: Barragens, Segurança, Sistemas, Comunicação, Alerta.

¹ Discente do Curso de Especialização em Segurança de Barragens – Universidade Federal da Bahia Engenheira da Diretoria de Águas da Prefeitura de Belo Horizonte – MG

Abstract

Technology has played a fundamental role in managing emergencies, including those related to dams. This work presents the experience of the Municipal Administration of Belo Horizonte – PBH, in the design and implementation of an intelligent tool for dam management, communication and issuing alerts. A web system, called SIMBA, was designed by the city's software development and dam engineering teams. The system has two functionalities: monitoring, communication and alert. SIMBA allows the storage of data from readings from instruments installed in dams and information from inspections. Once an emergency is classified and confirmed, SIMBA triggers automatic alerts to groups of people responsible, defined in the Action and Emergency Plans – PAE. Initial tests indicated promising results. After simulating and classifying emergency for Pampulha dam, alerts were issued via SMS, Telegram and email. In addition to the emergency alert, the actions to be taken, previously defined in the PAE, were informed for each person responsible: closing roads, evacuating areas, triggering sirens, etc. SIMBA has been promoting advances in the management of monitoring information, the flow and speed of emergency communication at PBH dams.

Keywords: Dam, Safety, Systems, Communication, Alert.

1. INTRODUÇÃO

Emergências configuram eventos ou ocorrências repentinas, quase sempre inesperadas, que requerem ação imediata. O agravamento de uma emergência pode resultar em crises, que demandam a adoção de ações urgentes para proteger vidas, ativos, propriedades e o meio ambiente (ABNT, 2022).

A humanidade, desde os tempos mais remotos, tem enfrentado crises de magnitude e de natureza diversas, que resultaram em pequenas adversidades ou até em grandes desastres. As experiências vivenciadas com essas ocorrências contribuíram para que, atualmente, haja metodologias variadas para enfrentamento de crises e emergências.

Segundo Araújo (2012), esse processo está apoiado em 3 fases distintas: antes da ocorrência (planejamento e prevenção), durante a ocorrência (respostas à crise) e após a ocorrência (reparação de danos e restabelecimento da normalidade).

A fase de resposta às emergências é considerada extremamente crítica e tensa, pois requer execução rápida de ações que minimizem sua evolução, promovam a proteção de vidas e dos bens que estão em risco. Por isso, as organizações e todos os agentes envolvidos nessas situações precisam, em curto tempo, receber, assimilar as informações e se comunicar de maneira eficiente para a adoção de respostas (CHUA, et. al, 2007).

A Organização das Nações Unidas – ONU, por meio do documento *“Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters”*, assinado por todos os países-membros, ressalta a importância de ações eficientes na fase de resposta para a gestão de desastres e de emergências. Dentro das atividades elencadas pela organização, destacam-se:

- Promoção de suporte à comunicação, à circulação de informações para viabilizar a emissão de alertas prévios, resultando em respostas adequadas, visando a redução dos riscos de desastres e de seus impactos;
- Desenvolvimento e fortalecimento de coordenações regionais, para implementação e atualização de políticas locais, de planos e de sistemas de comunicação, a fim de preparar a uma rápida e efetiva resposta às emergências;
- Desenvolvimento de mecanismos específicos para engajar participação ativa de atores relevantes, incluindo comunidades locais.

Não diferente das demais crises, a gestão de emergências no contexto de segurança de barragens está diretamente associada à clara definição de respostas, dos protocolos, das responsabilidades e de seus agentes, dos fluxos, de procedimentos e roteiros, bem como na estruturação de organograma dentro deste processo.

A Política Nacional de Segurança de Barragens, estabelecida pela Lei Federal 12.334 (BRASIL, 2010), alterada em 2020 pela Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020), definiu importantes instrumentos de gestão, com destaque para o Plano de Segurança da Barragem (PSB), o monitoramento periódico, os Relatórios de Inspeção e o Plano de Ação Emergencial (PAE), quando exigido.

Cabe destacar que é de responsabilidade do empreendedor a elaboração, a atualização e a implementação do PSB, do PAE, bem como realização das Inspeções de Segurança de Barragens (ISB), monitoramento das estruturas, emissão de relatórios, comunicação das condições de operação e a ocorrência de situações emergenciais aos órgãos fiscalizadores e de defesa e proteção civil.

Esses instrumentos, em especial o PAE, devem classificar as emergências e definir o nível de resposta esperada para cada situação, além de indicar as ações e os responsáveis pela execução das mesmas durante as crises. A dinâmica desse processo implica na necessidade de uma ágil e eficiente comunicação.

Como descrito anteriormente, a gestão da emergência para garantir respostas eficazes e ações acertadas frente às crises são pilares da gestão de desastres. Um fluxo célere de informações e a agilidade na execução de protocolos adequados para cada nível de resposta são desafios também na gestão de segurança de barragens, uma vez que a dimensão e a complexidade de desastres envolvendo essas estruturas são grandes.

Desde a implantação do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte no ano 2000 (PBH, 2023), soluções estruturantes não convencionais para enfrentar as inundações vêm sendo utilizadas pelo poder público municipal. Nesse contexto, foram implementadas e propostas diversas bacias de controle de cheias, algumas delas dotadas de barragens. Essas barragens, por estarem inseridas em área urbana densamente povoada, possuem Dano Potencial Associado Alto (DPA), o que define necessariamente o atendimento às exigências da Política Nacional de Segurança de Barragens.

Em virtude do arranjo estrutural e funcionamento esperado, essas barragens demandam por instruções técnicas de operação e manutenção, que assegurem não só a eficiência no amortecimento de cheias, mas também garantam segurança à população, à infraestrutura urbana e ao meio ambiente.

Este trabalho teve como objetivos desenvolver e implementar uma ferramenta inteligente de comunicação que facilite a gestão de informações e promova maior agilidade de respostas às emergências para as barragens de controle de cheias da Prefeitura de Belo Horizonte – MG.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. Gestão de Riscos e Desastres

Os sistemas automatizados de gestão são importante ferramentas para a coordenação e apoio às tomadas de decisão, pois permitem o compartilhamento e a disseminação de informações, além de garantirem melhor entendimento da situação e melhor avaliação dos riscos associados às ocorrências (FORREST et al., 2014).

O maior desafio dessas ferramentas é garantir que os sistemas desenvolvidos sejam eficientes e eficazes no armazenamento, no acesso e na disponibilização de informações, e ainda sejam incorporados às rotinas de trabalho. Além disso, os sistemas de tornam-se mais eficazes quando: a informação é confiável e é gerada automaticamente; os comunicados são disponibilizados de forma agregada; o sistema é amigável e desenhado com o apoio dos profissionais envolvidos na atuação das respostas e; quando são incorporados fluxos de trabalhos operacionais de cada situação específica (CHOW et al., 2016).

Para Laudon & Laudon (2004), um sistema inteligente de gestão de informações pode ser definido tecnicamente como um conjunto de componentes inter-relacionados que coleta, processa, armazena e distribui informações destinadas à gestão e ao apoio às

tomadas de decisões, bem como na coordenação e no controle das situações a serem enfrentadas.

No contexto de segurança de barragens, propostas de sistemas de gestão são relatadas há algumas décadas e em diversas partes do mundo. Inicialmente, a maioria dessas iniciativas se limitou ao armazenamento e disponibilização das informações de operação e de monitoramento de barragens, como relatado por Litrico (2002) na França, por Jeon et al. (2009) na Coreia e Bobat et al. (2015) na Turquia.

Contudo, ferramentas como essas vêm sendo otimizadas, dada a evolução tecnológica e o aumento considerável da quantidade de dados gerados na operação e monitoramento de barragens.

O Departamento de Serviço de Conservação dos Recursos Naturais de Agricultura (NRCS) dos Estados Unidos, que apoia o gerenciamento de 47 barragens em todo país, desenvolveu um sistema denominado DamWatch. Esse sistema permite o armazenamento de diversos de dados das barragens, como desenhos, dados de projetos, relatórios de inspeção, dados de operação e manutenção, planos de ação de emergência, mapas de inundação fotos e vídeos. O DamWatch pode ser acessado remotamente e permite que os usuários interajam com funcionários locais e especialistas em diversas localidades. O sistema também emite notificações de alerta aos gestores de barragens, socorristas e outros, frente uma ameaça ou em situações de emergência (HAND, et al. 2016; GOLDSMITH et al., 2021).

Experiência de destaque é também relatada em Portugal, onde o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com apoio de outras instituições portuguesas, vem desenvolvendo e implementando sistemas de informação para monitoramento e gestão de barragens desde 1970. Em um contexto mais atual, o LNEC desenvolveu um sistema denominado GESTBARRAGENS, cuja concepção foi iniciada nos anos 2000, que consiste em um programa modular que fornece componentes para gerenciar as informações das barragens, das inspeções visuais e até realizar simulações. Além disso, o sistema permite a gestão de documentos técnicos e disponibiliza um conjunto de documentação, como

relatórios, gráficos etc. O GESTBARRAGENS possui ainda a funcionalidade de gestão de riscos e a emissão de alertas que, dependendo de condições pré-definidas para operação de um ou mais elementos estruturais da barragem, o módulo de segurança é acionado com emissão de mensagens, via e-mail ou SMS (Short Message Service), às entidades responsáveis pela segurança das estruturas. A arquitetura do GESTBARRAGENS permite o aumento das suas funcionalidades de acordo com o aparecimento de novos tipos de instrumentos e o desenvolvimento de novas ferramentas. É um sistema baseado na web. O GESTBARRAGENS é atualmente utilizado para gestão das grandes barragens de Portugal, mas outros países já aderiram ao sistema (CAMILO, et. al, 2015; CASTRO & BARATEIRO, 2015).

No Brasil, um sistema bastante utilizado para gestão de segurança de barragens é o SYSDAM, desenvolvido e comercializado pela empresa Pimenta de Ávila Consultoria, com acesso web e por aplicativo. O SYSDAM é um software de apoio à Gestão de Risco, Segurança e Emergência de Barragens aos setores de geração de energia, mineração, indústria e outros. O sistema permite realizar o acompanhamento das estruturas geotécnicas, de qualquer lugar, a qualquer momento. Possui 8 módulos independentes, indicados na Figura 1 – Módulos do SYSDAM

Fonte: Pimenta de Ávila, que promovem a coleta, organização e gestão dos dados, o apoio à rotina de inspeções, ao monitoramento, à gestão de ações corretivas e à emissão de ALERTAS (PIMENTA DE ÁVILA, 2023).



Figura 1 – Módulos do SYSDAM
 Fonte: Pimenta de Ávila (2023)

A Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG S.A. que opera diversas barragens em usinas hidrelétricas, vem também desenvolvendo ferramentas para gerenciamento de suas barragens. Neste contexto a empresa desenvolveu um sistema denominado Inspetor para gestão de riscos de suas barragens e estruturas associadas. O sistema é utilizado para monitorar a segurança e planejamento das atividades de manutenção civil de todas as barragens mantidas e operadas pela CEMIG e funciona com dois módulos integrados: web (Web Inspetor) e de dispositivos móveis (Inspetor Mobile). O sistema permite, por meio de perguntas direcionadas e por indicadores, obter informações gerais e rápidas da situação de operação das barragens (Figura 2). É possível ainda acompanhar a evolução da segurança condições de cada barragem, o planejamento das manutenções, a emissão de alertas e pode ser integrado a outros sistemas da CEMIG (BALDI et al., 2018).

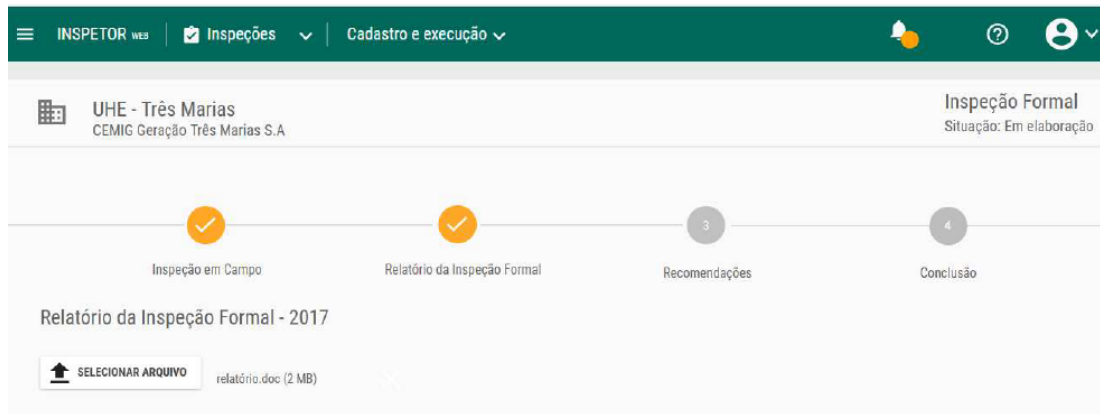


Figura 2 – Tela do Inspetor CEMIG
 Fonte: Balbi et al. (2018)

Dentre os sistemas da Cemig, destaca-se também o *Plant Information Management System* – PIMS (Figura 3), que realiza a gestão e análise dos dados de instrumentação instaladas nas barragens operadas pela companhia. Além de permitir o acesso ao banco de dados do monitoramento das barragens, há também uma funcionalidade de emissão de alertas e notificações, que são encaminhados ao correio eletrônico do gerente e/ou responsável por aquela estrutura (MELO et al., 2019).

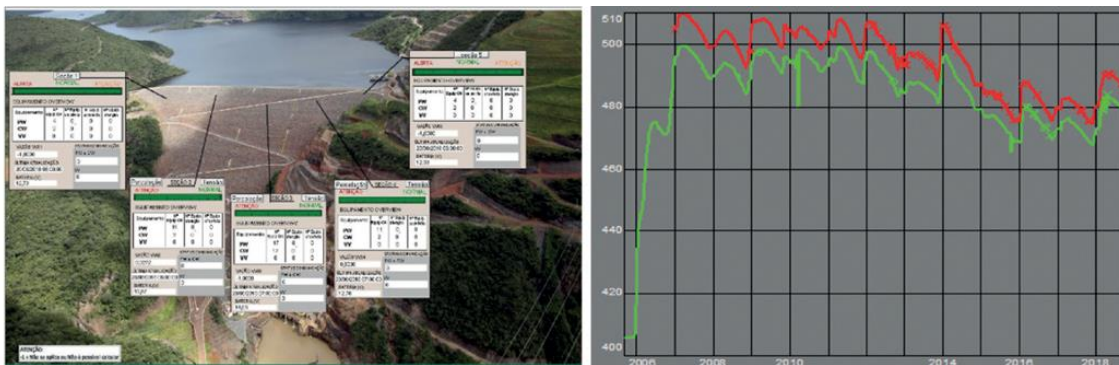


Figura 3 – Tela do PIMS CEMIG
 Fonte: Melo et al. (2019)

3. METODOLOGIA

3.1. BARRAGENS DAS BACIAS DE DETENÇÃO DE CHEIAS DE BH

Há atualmente implantadas 11 barragens nas bacias de controle de cheias da PBH, conforme indicado na Figura 4 e detalhado na Tabela 1. Dessas, 6 barragens já possuem

PSB e PAE concluídos e em implementação, e para as outras 5, que entraram em operação mais recentemente, os planos estão em fase de elaboração.

Os planos definem as regras de operação, as rotinas de manutenção, instrumentação, monitoramento das barragens, além de classificar as emergências, mapear as áreas afetadas em caso de ruptura e os protocolos a serem seguidos.

O sistema de gestão de segurança de barragens da PBH tem a expectativa de contemplar a todo o universo de barragens das bacias de controle de cheia existentes e a implantar.

Tabela 1– Barragens das Bacias de Controle de Cheias de BH

Barragem	Volume do Reservatório (m³)
Barragem da Pampulha	10.000.000
Barragem do Córrego Bonsucesso	290.000
Barragem do Parque Lagoa do Nado	23.000
Barragem do Engenho Nogueira	130.000
Barragem Santa Lúcia	153.000
Barragem do Parque 1º de maio	10.000
Conjuntos de Barragens Córregos Olaria e Jatobá	250.000
Barragem do Córrego Túnel Camarões	400.000
Conjuntos de Barragens Barragem do Córrego Lareira	35.000

Fonte: Prefeitura de BH, 2023

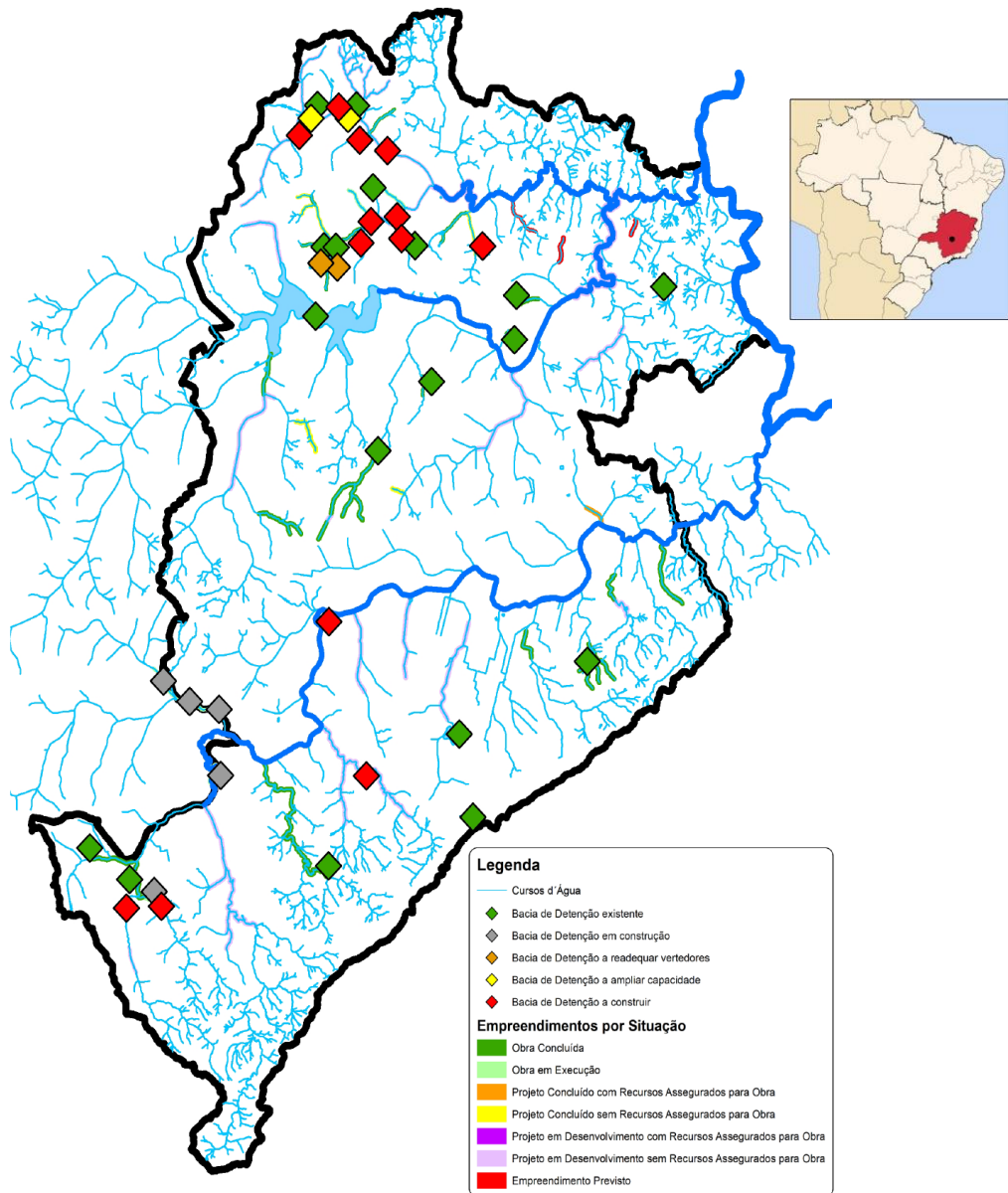


Figura 4 – Localização das Bacias de Controle de Cheias de Belo Horizonte
(Fonte: Prefeitura de BH, 2023)

3.2. POLÍTICA DE GESTÃO DE RISCO E DESASTRES DE BH

A metodologia desenvolvida para a construção do sistema para gestão das emergências de barragem em Belo Horizonte considerou todas as premissas da Política Municipal de Proteção e Defesa Civil. O município já vivenciou momentos de grandes calamidades, sendo os recorrentes resultados desastrosos de inundações, que vêm se tornando mais frequentes e com impactos cada vez maiores.

Em virtude desses acontecimentos, a Administração Municipal vem adquirindo importantes experiências no enfrentamento de desastres, estruturadas por meio da Política Municipal de Proteção e Defesa Civil de Belo Horizonte. A Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil – SUPDEC coordena a Política Municipal de Proteção e Defesa Civil de Belo Horizonte e o Sistema Municipal de Proteção e Defesa Civil – SIMPDEC. O SIMPDEC é formado por todos os órgãos e empresas da PBH, articulando-se, em caráter cooperativo, com outros órgãos e entidades públicas e/ou privadas que atuam no município (PBH, 2018).

Planos de contingência são instrumentos política de defesa civil, cuja elaboração e implementação cabe aos municípios, segundo Lei Federal 12.608 (BRASIL, 2012), e têm por objetivo orientar as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, nos desastres recorrentes na cidade. O Plano de Contingência para enfrentamento de riscos e desastres em Belo Horizonte, cuja coordenação é da SUPDEC e elaboração do SIMPDEC, é atualizado periodicamente, incorporando as adequações que se fazem necessárias, em virtude do dinamismo urbano das grandes cidades. Em relação ao conteúdo, de maneira resumida, o plano contempla (PBH 2018):

- Coleta de Informações de formas de monitoramento disponíveis no município, sejam de ordem tecnológica (hidrometeorológicas da rede municipal e parceiros, dados de radar meteorológico e de satélites, dados de aeroportos e postos avançados etc.) ou de informações de campo dos diversos órgãos da PBH e da população.
- Classificação das ocorrências e emissões de alerta e alarme de prevenção, cujas informações são divulgadas via e-mail, telefone aos gestores da PBH, SMS e TELEGRAM aos destinatários cadastrados. São ainda utilizadas as redes sociais disponíveis na página institucional da PBH e outras tecnologias disponíveis para ampliação da socialização dos alertas.
- No contexto de prevenção, há atendimento 24 horas nos sete dias da semana, inclusive feriados, principalmente via telefone; realização de vistorias em 100% dos endereços que solicitaram atendimento; notificações às edificações que apresentam riscos; monitoramento dos locais identificados como de risco alto

e muito alto; intervenções mitigadoras em áreas; interdição de edificações; campanhas educativas etc.

- Durante a ocorrência de qualquer desastre, as atividades de socorro e assistência serão imediatamente desenvolvidas a partir do acionamento dos órgãos do SIMPDEC, com vocação específica para cada atividade.

3.3. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BARRAGENS – SIMBA

A PBH, por meio da Secretaria de Obras e Infraestrutura (SMOBI) e da Empresa de Informática e Informação do Município (PRODABEL), está desenvolvendo e implementando um sistema próprio para monitoramento das suas barragens de controle de cheias, que contempla também ferramentas para comunicação de emergências. O Sistema de Gestão de Barragens – SIMBA foi concebido basicamente com 2 funcionalidades: monitoramento, comunicação e emissão de alertas, sendo esta última o foco deste trabalho.

A metodologia aplicada na construção desse sistema constitui-se em uma estrutura padronizada de desenvolvimento em etapas sequenciais, na qual o resultado de uma fase é a entrada da etapa seguinte. Segundo Pressman (1995), esse método é o mais utilizado atualmente na engenharia de software.

3.4. PROCESSO DE SOFTWARE

O processo de Software da Prefeitura de Belo Horizonte – PSP, desenvolvido pela PRODABEL, e aplicado ao SIMBA, é baseado no “Guia de Projetos de Software com Práticas de Métodos Ágeis para Sistema de Administração dos Recursos de Informação e Informática - SISP” (BRASIL, 2015). Essa estrutura de projetos tem foco no trabalho em equipe (*Scrum*) e na Esteira de Integração Contínua (EIC). É considerado um dos métodos mais modernos e eficientes para publicação e manutenção de sistemas na infraestrutura de TI (PRODABEL, 2021).

O PSP está organizado em ciclos de atividades de desenvolvimento iterativos e incrementais: atividades de planejamento e análise inicial da demanda (requisitos); atividades de desenvolvimento (construção); atividades de transição (codificação); atividades de gestão de ambientes (teste e homologação).

3.5. PLANEJAMENTO DO SISTEMA

Na atividade de planejamento do SIMBA foi feita uma análise inicial da demanda para identificação e compreensão das necessidades, dos requisitos, dos problemas, dos objetivos, das características-chaves do produto e oportunidades.

Foi também realizada a elaboração do *Roadmap de Releases*, um roteiro para desenvolvimento de cada entrega ou parte do sistema, com previsão de prazos e datas, definidos por meio de critérios de priorização e de importância junto às equipes da PRODABEL e SMOBI.

3.6. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Na fase de desenvolvimento do SIMBA, foram apresentados 04 *Releases*, com conjunto de 10 *Sprints* das atividades executadas pela equipe de programação da PRODABEL.

Cada *Release* contemplou lançamento de uma determinada versão de SIMBA, ou parte dele, incrementada com novas funções, as quais satisfizeram determinados objetivos iniciais e características-chaves.

Em cada *Sprint* foram realizadas as atividades necessárias para o desenvolvimento e incremento de SIMBA:

- Definição/especificação dos requisitos;
- Desenvolvimento das histórias de usuário;
- Criação e execução de testes automatizados e execução de testes manuais;

- Criação / execução dos scripts de teste de desempenho;
- Criação / alteração de modelos de dados conforme necessidades dos usuários;
- Alterações no modelo de arquitetura, e;
- Implementação do código fonte.

Ao final de cada *Sprint*, uma parte executável do SIMBA foi apresentada, sendo a parte executável homologada aceita ou não pela equipe da SMOBI.

3.7. TRANSCRIÇÃO DO SISTEMA

O grupo de atividades de transcrição do projeto viabilizou a disponibilização das *Release* nos ambientes de homologação e/ou produção. Essas atividades garantiram a publicação de versões do SIMBA, ou parte delas, no ambiente de TI, além possibilitar a capacitação e treinamentos de usuários e dos responsáveis pelo processo de sustentação do sistema.

3.8. GESTÃO DE AMBIENTE DE TI

A publicação do SIMBA, a execução, seu armazenamento e manutenção se deu no ambiente de TI da PBH durante os ciclos de desenvolvimento, homologação, produção e manutenção do software.

Como já descrito, para a publicação do sistema nesse ambiente, a equipe de programadores da PRODABEL utilizou a metodologia EIC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. NECESSIDADES E REQUISITOS DO SIMBA

Na execução do planejamento do SIMBA foram concebidas 2 funcionalidades distintas: monitoramento e comunicação. Na funcionalidade monitoramento, a necessidade

delimitada foi o armazenamento das informações coletadas nas inspeções de campo e da instrumentação instalada nas barragens, a geração de relatórios, de gráficos e, a mais importante delas, a classificação das condições de operação das estruturas.

A classificação das condições de operação das barragens seguiu as diretrizes preconizadas pelo Instituto Mineiro de Águas – IGAM, órgão fiscalizador de barragens de usos múltiplos, outorgadas pelo Estado de Minas Gerais (IGAM, 2023). A classificação, denominada do Nível de Perigo Global (NPG), é conteúdo obrigatório dos relatórios de inspeção, e é uma gradação decorrente do efeito conjugado das anomalias identificadas nas estruturas da barragem, da seguinte forma:

- NPG 0 - Normal: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem;
- NPG 1 - Atenção: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada;
- NPG 2 - Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las;
- NPG3 - Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

Além dessa classificação, nessas mesmas diretrizes, há ainda a exigência de definição dos Níveis das Respostas (NR) esperadas às emergências:

- NR Verde: quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem não compromete a sua segurança, mas deve ser monitorada, controlada ou reparada ao longo do tempo;
- NR Amarelo: quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem não compromete a sua segurança no curto prazo, mas deve ser controlada, monitorada ou reparada;

- NR Laranja: quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem representa ameaça à segurança da barragem no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;
- NR Vermelho: quando a situação encontrada ou a ação de eventos externos à barragem acarreta alta probabilidade de acidente ou desastre, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos decorrentes do colapso da barragem.

O NPG e o NR devem ser o parecer final registrado nas inspeções cadastradas na funcionalidade de monitoramento do SIMBA.

A funcionalidade de comunicação tem como *input* os resultados finais das inspeções (NPG e NR), que são *outputs* da funcionalidade de monitoramento. A funcionalidade de comunicação e a emissão de alerta do SIMBA somente é iniciada para as situações de emergência - NPG 3.

Na construção da funcionalidade de comunicação do SIMBA, a necessidade estabelecida foi a execução do fluxo de emissão de alertas e de comunicação das ações a serem empreendidas, ambos definidos no Plano de Ação de Emergência (PAE) de cada barragem. O protótipo inicial foi concebido para a Barragem da Pampulha, uma vez que essa barragem já possui PAE elaborado desde o ano de 2019.

No PAE da barragem da Pampulha, que foi utilizada para concepção do SIMBA, há 3 grandes grupos que têm a responsabilidade de executar o plano: Grupo de Intervenção Direta (GID), Grupo de Apoio Interno (GAI) e Grupo de Apoio Externo (GAE). A Figura 5 ilustra a composição do GID e GAI definidos no PAE, com seus respectivos subgrupos.



Figura 5 – Grupo de Intervenção Direta e de Apoio Interno
Fonte: PAE Pampulha (PBH, 2021)

O GAE contempla diversos órgãos que não fazem parte da Administração Municipal, mas que têm atuações definidas no PAE, tais como Corpo de Bombeiros, Concessionárias de Serviços Públicos, órgãos fiscalizadores etc.

Além dos órgãos que compõem os grupos, para o PAE da barragem da Pampulha foi definido um fluxograma de comunicação e de emissão de alertas, apresentado na Figura 6.

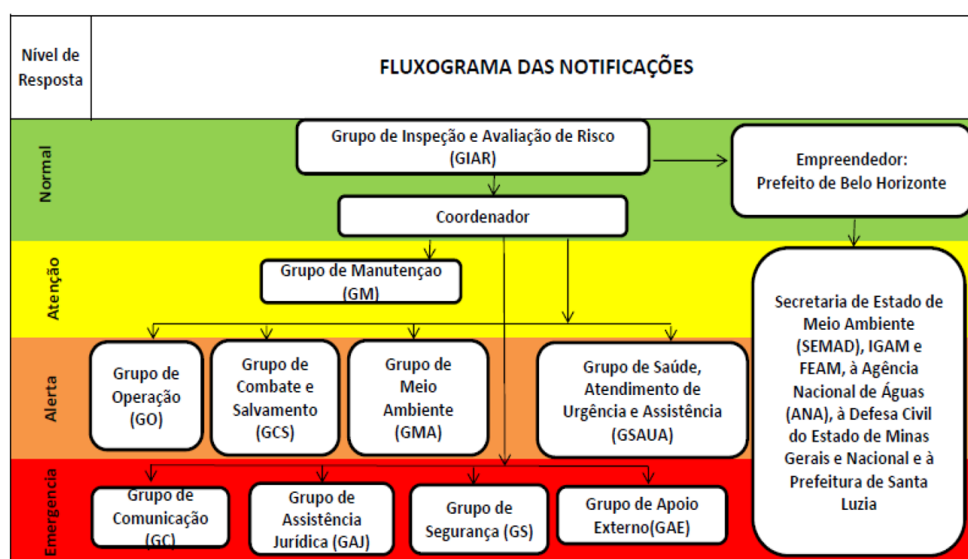


Figura 6 – Fluxograma das Notificações
Fonte: PAE Pampulha (PBH, 2021)

Também no PAE foram definidas as ações a serem executadas para cada subgrupo. O Quadro 1, ilustra as definições estabelecidas no PAE da barragem da Pampulha para o Subgrupo de Meio Ambiente (GMA).

As necessidades estabelecidas para o módulo de comunicação do SIMBA foram: a emissão de comunicados e alertas aos grupos específicos definidos no PAE, quando o módulo de monitoramento classificar uma situação de emergência NPG 3 e definir o nível de resposta NR esperado. Além disso, há também o requisito de informar as ações a serem empreendidas pelos membros de cada subgrupo do PAE, ações essas que variam de acordo com cada nível de resposta.

Quadro 1 – Ações a Empreender do Grupo de Meio Ambiente (GMA)

Nível de Resposta	Ações a empreender
NR 1: Amarelo	a) Avaliar possíveis impactos ambientais para o nível de resposta amarelo e propor ações mitigadoras.
NR 2: Laranja	a) Avaliar possíveis impactos ambientais para o nível de resposta laranja e propor ações mitigadoras; b) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência;
NR 3: Vermelho	a) Avaliar possíveis impactos ambientais para o nível de resposta vermelho e propor ações mitigadoras; b) Contribuir para a elaboração do Relatório de Encerramento de Emergência; c) Apoiar as ações emergenciais de limpeza, desobstrução e descontaminação da área diretamente atingida pelo trânsito da onda de ruptura da barragem.

Fonte: PAE Pampulha (PBH, 2021)

4.2. CONFIGURAÇÃO GERAL DO SISTEMA

O SIMBA foi desenvolvido na linguagem de programação PHP. Segundo Dall’Oglio (2015), PHP é uma linguagem que se destaca na programação pela facilidade de criar aplicações dinâmicas, com suporte à maioria dos bancos de dados existentes.

Para administração do banco de dados foi utilizada a ferramenta PostgreSQL, por ser um gerenciador de código aberto e livre distribuição. O PostgreSQL também foi adotado por ter melhor desempenho que outros sistemas livres disponíveis (SILVA, 2023).

O SIMBA foi desenvolvido como um sistema WEB e que pode ser acessado de qualquer dispositivo móvel (Android e IOS): <https://simba.pbh.gov.br>.

O acesso inicial é feito com usuário e senha do e-mail institucional da PBH. No caso de usuários que não são funcionários da PBH, a equipe de sustentação do sistema deverá viabilizar a criação de login e senha.

Há 3 perfis básicos de usuários com habilitações distintas: administrador, inspetor e usuário externo. Somente o perfil de administrador tem autorização para cadastrar usuários, ajustar autorizações e inserir dados dos contatos que receberão comunicados e alertas (nome, órgão de origem, grupo do PAE, e-mail, telefone celular etc.). O perfil de administrador e de inspetor podem cadastrar inspeções das barragens, classificar situação de operação (NPGB), nível de resposta (NR) e ainda emitir relatórios. O usuário externo, que pode ser funcionário da PBH ou membro do GAE, somente poderá acessar como leitor as informações das inspeções e relatórios.

4.3. FUNCIONALIDADE COMUNICAÇÃO E EMISSÃO DE ALERTAS

A funcionalidade comunicação e alerta somente se inicia quando há uma classificação NPG 3 (emergência), com respectiva definição de NR (Verde, Amarela, Laranja e Vermelha), que são registradas pelo inspetor (ou administrador), ao final do cadastro de cada inspeção, como indicado na Figura 7 – Tela de Cadastro de Inspeção do SIMBA:

The screenshot shows the 'Edição de Inspeção' form in the SIMBA system. The form is divided into several sections. At the top, there are navigation links: 'Home', 'Inspeção', 'Relatório', 'Configurações', and a user profile icon. Below the navigation, the breadcrumb trail reads 'SIMBA > Pesquisa Inspeção Administrador > Cadastro Inspeção'. The main form area is titled 'Edição de Inspeção' and contains several tabs: 'Empreendimento', 'Dados Gerais' (selected), 'Medições', 'Análise', 'Observações', and 'BH Digital'. The 'Dados Gerais' tab contains the following fields: 'Data e hora de Início' (14/10/2020 13:56), 'ID' (20201014135600003), 'Inspetor' (JAIME LOURENCO LAGE), 'Tipo Inspeção' (Rotineira selected, Regular and Especial unselected), 'Evento Chuvoso Extremo' (checkbox unselected), 'Cota do nível d'água do reservatório (m)' (801.05), and 'NPG (Nível de perigo global)' (3 - (EMERGENCIA LARANJA) selected). A 'CANCELAR' button is located at the bottom right of the form.

Figura 7 – Tela de Cadastro de Inspeção do SIMBA

Após a conclusão da inspeção em uma emergência (NPG3, comunicados são disparados automaticamente por meio de: mensagens de texto via SMS, Telegram e e-mail, aos contatos cadastrados no SIMBA, considerando o fluxograma apresentado na Figura 6 e os níveis de resposta do PAE (verde, amarelo, laranja ou vermelho).

Para esta funcionalidade do SIMBA foram desenvolvidos fluxo iterativos e incrementais para emissão de comunicados e alertas a todos os níveis de resposta – NR. A Figura 8 ilustra os fluxos desenvolvidos para o SIMBA em situação de Emergência NR Verde e NR Amarelo.

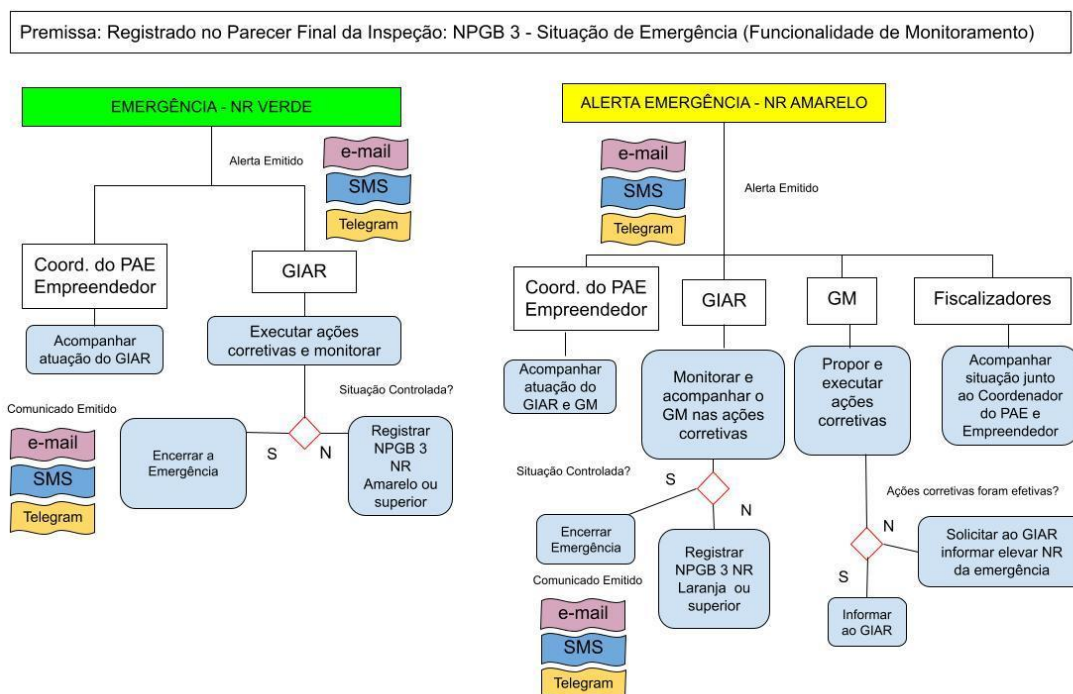


Figura 8 – Fluxograma para Emergências – NR Verde e Amarelo: Barragem da Pampulha
 Fonte: Adaptado do PAE Pampulha (PBH, 2021)

O envio de SMS via celular foi viabilizado pela plataforma Zenvia, de disparo automático de mensagens em massa, já utilizada pela PBH. O conteúdo do texto enviado para os números de celulares cadastrados no SIMBA é simples e objetivo (Figura 9), com mesmo conteúdo, para todos os destinatários previstos no fluxograma para cada NR:

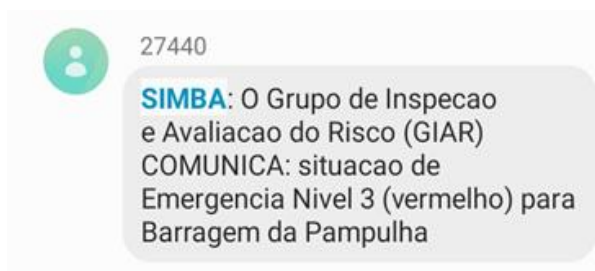


Figura 9 – Texto de Alerta emitido por SMS

Além disso, foi configurado um BOT (ferramenta para realizar ações automáticas) no aplicativo Telegram, que permite o envio de mensagens de texto com os alertas aos grupos (GID, GAI e GAE), criados e configurados previamente no aplicativo (Figura 10).



Figura 10 – Texto de Alerta enviado ao Telegram

O envio do e-mail foi configurado por protocolos do servidor de hospedagem de e-mail da PBH. Somente no conteúdo das mensagens do e-mail são detalhadas as ações a serem empreendidas nas situações de emergência, que variam para cada grupo de atuação e para cada nível de resposta, como mostra a Figura 11.

O Grupo de Inspeção e Avaliação do Risco (GIAR) COMUNICA: situação de Emergência Nível 2 (laranja) para Barragem da Pampulha.

Ações a empreender
a) Executar as ações de resposta previstas no PAE para os níveis de resposta Laranja e Vermelho.
b) Efetuar o bloqueio de vias e o desvio do trânsito para as rotas de fuga;
c) Liberar as rotas de fuga para assegurar a eficiência da evacuação;
d) Realizar a alocação de pessoas removidas em abrigos, com o fornecimento de alimentos, de medicamentos e assistência psicológica, segundo o nível de alerta.
e) Realizar a remoção de pessoas e, caso a antecedência o permita, a remoção de veículos e equipamentos das áreas sujeitas à inundação prevista para os níveis de resposta laranja e vermelho.
f) Realizar a remoção de ocupantes de escolas, asilos e, se necessários, hospitais, o que requer ações e meios específicos, segundo os níveis de resposta laranja e vermelho.

Figura 11 – Texto de alerta enviado por e-mail

Após encerrada a emergência, um comunicado é enviado pelos mesmos canais e aos mesmos destinatários que receberam os alertas, com o seguinte conteúdo:

“Grupo de Inspeção e Avaliação de Risco (GIAR) COMUNICA: encerrada a situação de emergência para a Barragem da Pampulha.”

4.4. TESTES

Diversas atividades de teste, para as duas modalidades do SIMBA, foram realizadas com os membros que compõem o Grupo de Atuação Direta (GAD) e o Grupo de Apoio Interno (GAI) do PAE da Barragem da Pampulha, como ilustra a Figura 12.

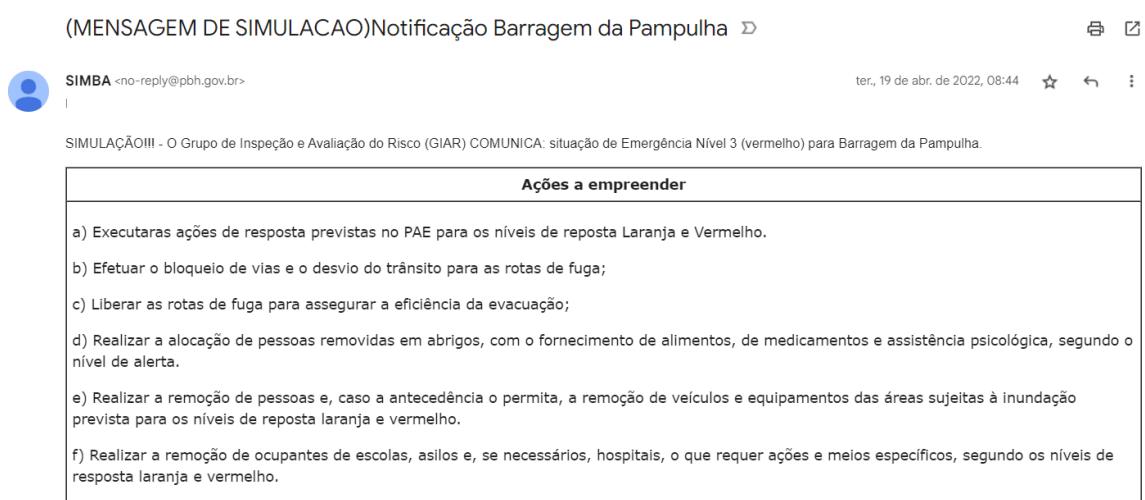


Figura 12 – Imagem de e-mail emitido durante a realização dos testes

Os testes no ambiente de homologação foram promissores, mas foi identificada a necessidade de alguns ajustes, que já foram realizados.

Após esses ajustes, em setembro de 2022 o SIMBA foi liberado para operação, e atualmente está sendo realizada a alimentação do banco de dados, com a inserção das informações de monitoramento e inspeções para a Barragem da Pampulha, que já vinham sendo realizadas desde 2019. Além disso, estão sendo planejadas as simulações que utilizarão o sistema em suas dinâmicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Há, em várias partes do mundo, diversos casos bem-sucedidos de desenvolvimento e implantação de sistemas de monitoramento e de gestão de segurança de barragens.

Contudo, essas experiências reforçam a importância do componente humano no processo, sendo esse um fator preponderante para que os sistemas sejam realmente eficientes (HAND, et.al, 2014).

A proposta do SIMBA, desenvolvido pela PBH, incorporou de forma simplificada, as rotinas de manejo das barragens e, adaptou algumas funcionalidades dos sistemas existentes, com a proposta de aprimorar a gestão e operação das barragens da PBH, bem como para facilitar a comunicação e emissão de alertas em emergências.

A metodologia utilizada no desenvolvimento do SIMBA permitiu que o sistema fosse concebido, testado e colocado em produção, com a participação das equipes de desenvolvimento de software e de engenharia de barragens da PBH, o que foi essencial para alcançar os resultados esperados. Os testes realizados nas etapas de homologação e as atividades iniciais do SIMBA em produção, se mostraram promissores.

No entanto, é preciso realizar novos testes e treinamentos, para que os operadores e aqueles que necessitam acessar o SIMBA cotidianamente, possam ter mais familiaridade com o sistema, e que este faça parte da rotina de trabalho efetivamente.

Como recomendação, propõe-se a inclusão de uma funcionalidade ao SIMBA que permita o acompanhamento contínuo das ações a serem executadas durante as emergências, com intuito de avaliar a eficácia das medidas de resposta e os resultados alcançados. Esta nova funcionalidade deverá ter como objetivo o compartilhamento de informações das ações de resposta em tempo real. Espera-se que essa funcionalidade possa ser viabilizada por meio da conexão do SIMBA com outro sistema já operado pela PBH: o BH Digital.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S.B. Administração de desastres: conceitos e tecnologias. SYGMA–SMS Gestão de Risco. 3ª ed., Rio de Janeiro, 2012.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 21022: Gestão de Riscos – Diretrizes para Gestão de Riscos Legais. Rio de Janeiro, 2020.

BALBI, D. A. F. et al. Inspeção – Dam Safety Management System. In: 3 th International Dam Word, Foz do Iguaçu, 2015.

BOBAT, A., Gezgin, T., & Aslan, H. The SCADA system applications in management of Yuvacik Dam and Reservoir. Desalination and Water Treatment, 2015.

BRASIL. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, dentre outras providências. Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012: Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos estados, Distrito Federal e municípios para a execução de ações de resposta e recuperação nas áreas atingidas por desastre (...). Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20as%20transfer%C3%Aancias%20de,%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias.%E2%80%9D. Acesso em: 17 abr. 2024.

RASIL. Guia de Projetos de Software com práticas de métodos ágeis para o SISP: versão 1.0. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Brasília, 2015.

BRASIL. Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020: Altera a Lei 12.334, dentre outras providências. Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#art2. Acesso em: 20 nov. 2023.

CAMILO, V. et al. Towards a Dams Safety Management System for Angola. In: 2 th International Dam Word, Lisboa, 2015.

CASTRO, A. T. & Barateiro, J. Sistemas de informação no controlo de segurança de barragens de betão. Construção Magazine, Lisboa, 2015.

CHOW, A.L. et al. Implementation hurdles of an interactive, integrated, point-of-care computerised decision support system for hospital antibiotic prescription. International Journal of Antimicrobial Agents, v.47, 2016.

CHUA, A. Y. K. et al. An analysis of the delayed response to Hurricane Katrina through the lens of knowledge management. Journal of the American Society for Information Science and Technology, v. 58, 2007.

DALL’OGLIO, P. PHP Programando com Orientação a Objetos 3ª Edição. Novatec Editora, 2015,

FORREST, G.N. et al. Use of electronic health records and clinical decision support systems for antimicrobial stewardship. Clin Infect Dis., 59, 2014. 11p. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/266253469_Use_of_Electronic_Health_Records_and_Clinical_Decision_Support_Systems_for_Antimicrobial_Stewardship. Acesso em: 18 jan. 2024.

GOLDSMITH, S. et al. Toward a Better Future: Building Back Better with Intelligent Civil Infrastructure—Smart Sensors and Self-Monitoring Civil Works. HKS Working Paper no. RWP21-023, 2021.

HAND, et al. The human factor in an effective structure management system. In: 8th International Conference on Scour and Erosion, Oxford, 2016.

JEON, J. et al. Development of dam safety management system, Advances in Engineering Software, Volume 40, 2009.

LAUDON, K. C. & LAUDON, J. P. Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004. Disponível em: https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201601/INTERATIVAS_2_0/SISTEMAS_DE_INFORMACAO_GERENCIAL/U1/LIVRO_UNICO.pdf. Acesso em 18 jan. 2024.

LITRICO, X. Robust IMC flow control of SIMO dam-river open-channel systems. IEEE Transactions on control systems technology, v. 10, 2002.

MELO, et. al. Aplicação de sistema PIMS no gerenciamento e análise de dados da instrumentação de auscultação de barragens. Revista Brasileira de Engenharia de Barragens. Ano V no 7, 2019.

PIMENTA DE ÁVILA. SYSDAM. Disponível em <https://www.pimentadeavila.com.br/sysdam>. Acesso em: 23 nov. 2023.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE-PBH. Plano de Ação e Emergência da Barragem da Pampulha. UFMG/FCO, 2021.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE-PBH. Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana. Belo Horizonte, 2023.

PRODABEL-PBH. Processo de software da PBH. Desenvolvido pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://psp.pbh.gov.br/artefatos/Processo_de_Software_da_PBH.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024.

SILVA, J. F. de S. Comparação de desempenho entre os bancos de dados PostgreSQL e Neo4j para acesso a dados complexos, Universidade Federal de Uberlândia, 2023.