

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E BARRAGENS

ISSN: 2594-7451

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

ANO VII Nº 10 JUNHO 2021 R\$ 30,00

FOTO: ANDRÉ SCHULER (CHESF)

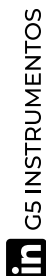


PRECISÃO

SOLUÇÕES PARA INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA,
estrutural, automação e monitoramento online de obras
de infraestrutura.



WWW.G5INSTRUMENTOS.COM.BR



(41) 3402.1707

- GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
- PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO ONLINE DE BARRAGEM
- SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
- FORNECIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO

- FORNECIMENTO DE SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS
- INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO E SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO
- START-UP E COMISSONAMENTO DO SISTEMA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM
- MODERNIZAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO MECÂNICA PARA AUTOMATIZADA
- CURSOS E TREINAMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO



COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB
REPRESENTANTE DA COMISSÃO INTERNACIONAL DE
GRANDES BARRAGENS (ICOLD-CIGB) NO BRASIL

DIRETORIA

PRESIDENTE - JOSÉ BERNARDINO BOTELHO

VICE-PRESIDENTE - ALBERTO DE SAMPAIO FERRAZ JARDIM SAYÃO

DIRETOR-SECRETÁRIO - LEONARDO DE OLIVEIRA GUERRA DEOTTI

DIRETOR DE COMUNICAÇÕES - DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI

DIRETOR TÉCNICO - RICARDO AGUIAR MAGALHÃES

NÚCLEOS REGIONAIS - DIRETORES

BA - CARLOS HENRIQUE MEDEIROS

CE - SILVRANO ADONIAS DANTAS NETO

GO/DF - HABIB SALLUM

MG - TERESA CRISTINA FUSARO

NT - ADRIANO FRUTUOSO DA SILVA

PR - KIRONI OLIVEIRA PIRES

PE - PATRÍCIA NEVES SILVA

RJ - ANDRÉ PEREIRA LIMA

RS - LÚCIA WILHELM VERAS DE MIRANDA

SC - RAFAEL FERNANDES PEREIRA

SP - SIDNEI ONO

COMISSÕES TÉCNICAS NACIONAIS - COORDENADORES

CT 01 - REGISTRO DE BARRAGENS

ÉTORE FUNCHAL DE FARIA

CT 02 - SEGURANÇA DE BARRAGENS

CARLOS HENRIQUE MEDEIROS

CT 03 - BARRAGENS DE CONCRETO

JOSÉ MARQUES FILHO

CT 04 - HIDRÁULICA EM BARRAGENS

DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA

CT 05 - BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO

VANDA TERESA COSTA MALVEIRA

CT 06 - BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO

FERNANDO DIAS RESENDE

CT 07 - BARRAGENS DE REJEITOS

JOAQUIM PIMENTA DE ÁVILA

CT 08 - FORMAS DE CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO

RICARDO HEY ANDRZEJEWSKI

CT 09 - IMPACTO AMBIENTAL DE BARRAGENS E RESERVATÓRIOS

SANDRA ELISA FAVORITO RAIMO

CT 10 - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TÉCNICA

RICARDO AGUIAR MAGALHÃES

CT 11 - OBRAS DE PROTEÇÃO E CONTENÇÃO DE FLUXO DE DETRITOS

DIMITRY ZNAMENSKY

CT 12 - USOS MÚLTIPLOS DE RESERVATÓRIOS

ADRIANA VERCHAI DE LIMA LOBO

CT 13 - CONDICIONANTES REGULATÓRIOS À REALIZAÇÃO DE BARRAGENS E RESERVATÓRIOS

RAYMUNDO GARRIDO

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens

Av. Rio Branco, 124 | 13º andar

Centro - Rio de Janeiro/RJ - Brasil

CEP 20040-001 TELEFONE 055 21 2286.8674

E-MAIL cdbb@cdbb.org.br WEB www.cdbb.org.br

EDITORIAL



Por Alberto Sayão

Esta é a edição 10 da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens (RBEB) do CBDB. Desde sua primeira publicação, em abril de 2014, ainda na gestão do presidente Erton Carvalho, tem cumprido o objetivo de divulgar artigos científicos sobre barragens, mantendo atualizados os associados e a comunidade técnica em geral. Nestes sete anos, vem mostrando evolução crescente em quantidade e qualidade no conteúdo técnico.

A presente edição atesta que já se tornou o melhor veículo para divulgar, em português, informações, pesquisas e projetos nos diversos campos da Engenharia de Barragens. A imagem na capa mostra instalações das usinas Paulo Afonso 1, 2 e 3, integrantes do Complexo Paulo Afonso, construído pela CHESF para o aproveitamento energético da famosa Cachoeira de Paulo Afonso, no Rio São Francisco, na divisa dos estados de Alagoas e Bahia.

O conteúdo inicia-se com uma discussão breve e oportuna do experiente engenheiro José Donadon, na Coluna Holofote, sobre o impacto do erro estratégico do Brasil em construir grandes hidrelétricas a fio d'água. Ou seja, com pequenos reservatórios, desperdiçando parte do potencial hidroelétrico e desprezando energia limpa, renovável e mais barata. O tema é relevante, atual e faz jus a cada vez mais espaço na agenda do CBDB.

Em seguida, temos 12 belos artigos técnicos que merecem leitura atenta.

- Dr. Hugo Morais e coautores, tratam da padronização da gestão da segurança da população nos vales a jusante de barragens. A discussão se baseia nos estragos causados pelo rompimento de duas barragens de terra de hidroelétricas em Michigan (EUA), em 2020.
- O engenheiro João Francisco apresenta interessante análise da eficiência ao longo do tempo de sistemas de drenagem nas fundações rochosas de 13 barragens de concreto, nos EUA e Brasil, com base nos dados de instrumentação e de limpeza dos drenos.
- O engenheiro Francisco Gomes e coautores propõem um novo modelo, em sistema fuzzy, para quantificar a probabilidade de ocorrer piping em barragens de terra do semiárido cearense.
- Os engenheiros Thaís Abatti e Cícero Alberton discutem os entraves causados pelo licenciamento ambiental para a expansão da geração hidroelétrica com PCHs, enfatizando os benefícios da prática recente de audiências públicas em ambiente virtual.
- O engenheiro Ruben Cardia traz um relato bem ilustrado sobre casos de projetos hidrelétricos com e sem o uso de pontes para travessia do vale.
- Gustavo Andrade e coautores propõem um novo método de análise de risco integrado ao Plano de Segurança de Barragens, visando à melhoria do controle operacional de usinas hidrelétricas. O método permite priorizar as ações e o monitoramento dos possíveis modos de falha.
- Amanda Ricardi e coautores trazem sugestões sobre o texto da Lei nº 14.066 de 2020, com vistas à definição de um Plano de Ações Emergenciais com processos que aproximem o empreendedor dos órgãos de defesa civil.
- Logo depois, Michel Fontes e coautores sobre o uso de drenos fibroquímicos em projetos de descaracterização de depósitos de rejeitos arenosos fofos.
- Olavo Tercini e coautores, tratam das exigências da Lei nº 8.466, de 2020, mostrando opção rápida e prática para disponibilizar de forma online os dados do Plano de Ação de Emergência.
- O engenheiro Eduardo Simões e coautores descrevem um sistema inteligente de monitoramento remoto da UHE Dona Francisca para agilizar a resposta aos fatores de risco geotécnicos, ambientais e hidráulicos.
- Andretta e Campioni tratam da segurança geotécnica de pequenas barragens de terra.
- Candice Garcia e coautores descrevem um novo sistema de módulos integrados para gestão e monitoramento da segurança de barragens, com base na Lei nº 12.334 de 2010.

Para concluir, neste ano do 60º aniversário, o CBDB organiza 12 cursos técnicos e 5 eventos de debate de temas atuais, e finaliza em outubro de 2021 com o 33º SNGB, e o III ETIAB – Encontro Técnico sobre Incidentes e Acidentes em Barragens. Estes últimos eventos serão marcados por homenagens especiais ao ex-presidente do CBDB, Professor Carlos Henrique Medeiros, recentemente falecido, vítima da Covid-19. Carlos Henrique foi o organizador das duas primeiras edições do ETIAB.

Boa leitura a todos.

10 **NORMATIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS E VALES A JUSANTE***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Vitor Hugo Pereira de MORAIS, Tiago Zenker GIRELI, Édino Pereira de MORAIS**16** **SUBPRESSÕES E EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGENS NA FUNDAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONCRETO***Tema:* Barragem de Concreto | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autor:* João Francisco Alves SILVEIRA**26** **MODELO QUANTITATIVO PARA A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE PIPING EM BARRAGENS DE TERRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO***Tema:* Barragem Terra Enrocamento | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Francisco Hlago GOMES, Silvano Dantas NETO, Vanda MALVEIRA**33** **LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: DIFUSÃO DE AMBIENTE VIRTUAL PARA A REALIZAÇÃO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS***Tema:* Meio Ambiente | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Thais ABATTI, Cícero ALBERTON**40** **COMENTÁRIOS SOBRE O USO DE PONTES EM BARRAGENS***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autor:* Ruben José Ramos CARDIA**45** **APRESENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO INTEGRADA COM A GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Gustavo Salum ANDRADE, Luiz Gustavo Fortes WESTIN, Esther DYCK, Rodrigo Moraes da SILVEIRA**53** **TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DA LEI 14066 NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Amanda RICARDI, Marielly ANACLETO, Arthur ANDREETTA, Euclydes CESTARI JR**62** **APLICAÇÃO DE DRENOS VERTICAIS PARA TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO DE UMA PILHA DE REJEITOS DURANTE PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM: UM ESTUDO DE CASO***Tema:* Rejeitos | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Michel FONTES, Gladys Céila AQUINO, Naiala GOMES, Anderson MILAGRES**71** **UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE BUSINESS INTELLIGENCE PARA DISPONIBILIZAÇÃO ONLINE DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA DE BARRAGENS***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Olavo Tozete TERCINI, Pedro Afonso Barbosa SISIMOTO, Henrique de Carvalho SIQUEIRA, Willerson Antonio CESTARI**76** **UHE DONA FRANCISCA - BARRAGEM 4.0***Tema:* Instrumentação | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Eduardo SIMÕES, Murilo FONSECA, Ivan BOESING, Camila SMIDERLE**84** **IMPORTÂNCIA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA A ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE TERRA***Tema:* Geotecnia e Fundação | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Arthur ANDREETTA, César CAMPIONI**92** **SISTEMA INTEGRADO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS PARA GESTÃO DE INFORMAÇÕES DE BARRAGENS DE DIFERENTES PORTES***Tema:* Segurança de Barragens | *País / Edição:* Brasil / 2021*Autores:* Candice Schaufert GARCIA, Laertes Munhoz da CUNHA, Artur Cerveira BERTONE

REVISTA BRASILEIRA DE

ENGENHARIA DE BARRAGENSPublicação de responsabilidade do CBDB
COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

A Revista Brasileira de Engenharia de Barragens (RBEB) é uma publicação técnica aperiódica do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), distribuída em todo o território nacional e direcionada aos profissionais que atuam na Engenharia de Barragens em geral e em obras associadas. Os artigos assinados são de expressa responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, a opinião do CBDB. Todos os direitos reservados ao CBDB. Nenhuma parte de seus conteúdos pode ser reproduzida por qualquer meio sem a autorização, por escrito, dos editores.

COMITÊ EXECUTIVO

JOSÉ BERNARDINO BOTELHO

RICARDO AGUIAR MAGALHÃES

DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI

COORDENAÇÃO EDITORIAL

DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI

JORNALISTA RESPONSÁVEL

CLÁUDIA RODRIGUES BARBOSA

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

URSULA FUERSTENAU

FOTOLITO / IMPRESSÃO

GRÁFICA COMUNICAÇÃO IMPRESSA

TIRAGEM

500 EXEMPLARES

A Revista Brasileira de Engenharia de Barragens (RBEB) tem por objetivo a publicação de artigos científicos e de relatos técnicos inerentes à Engenharia de Barragens em geral, de modo a explicitar os conhecimentos técnicos atualizados, que sejam úteis tanto para a operação das empresas que projetam, constroem ou operam barragens, como para os centros de pesquisa e as universidades que se dedicam ao desenvolvimento da Engenharia de Barragens.

O Conselho Editorial, abaixo nominado, é o órgão responsável pela definição da linha editorial e pela qualidade técnica dos trabalhos. Está composto por membros selecionados entre os sócios do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) com comprovada experiência profissional ou acadêmica em cada um dos 17 temas a seguir relacionados.

TEMAS E COMPOSIÇÃO DO CONSELHO EDITORIAL**HIDRÁULICA E VERTEDORES**

MARCELO GIULIAN MARQUES E NELSON LUIZ DE SOUZA PINTO

GEOTECNIA E FUNDAÇÕES

ALBERTO DE SAMPAIO FERRAZ JARDIM SAYÃO

GEOLOGIA DE ENGENHARIA

RICARDO ANTÔNIO ABRAHÃO

HIDROLOGIA

HEINZ DIETER FILL E MÁRIO CICARELLI PINHEIRO

ENERGIA

FLAVIO MIGUEZ DE MELLO, JERSON KELMAN E FRANCISCO LUIZ SIBUT GOMIDE

CONCRETO, TECNOLOGIA E MATERIAIS

SELMO CHAPIRA KUPERMAN, WALTON PACELLI DE ANDRADE E JOSÉ MARQUES FILHO

EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

PAULO CEZAR FERREIRA ERBISTI E JOÃO CARLOS MATHEUS

BARRAGENS DE TERRA E DE ENROCAMENTO

CIRO HUMES, PAULO TEIXEIRA DA CRUZ E CÁSSIO BAUMGRATZ VIOTTI

BARRAGENS DE FACE DE CONCRETO E DE NÚCLEO ASFÁLTICO

BAYARDO MATERÓN E CIRO HUMES

INSTRUMENTAÇÃO

JOÃO FRANCISCO ALVES SILVEIRA E RUBEN JOSÉ RAMOS CARDIA

BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO – CCR

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO E WALTON PACELLI DE ANDRADE

MEIO AMBIENTE

MARÍLIA PIRONI SCOMBATTI

SEGURANÇA DE BARRAGENS

CARLOS HENRIQUE DE A. C. MEDEIROS E TERESA CRISTINA FUSARO

TÚNEIS

TARCÍSIO BARRETO CELESTINO

RECURSOS HÍDRICOS

BENEDITO PINTO FERREIRA BRAGA JUNIOR

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MARIA ASSUNÇÃO FAUS DA SILVA DIAS

BARRAGENS DE REJEITOS

JOAQUIM PIMENTA DE ÁVILA

A Crise Hídrica de 2021

José Marcos Donadon | Engenheiro Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/1978 – CAIXA Econômica Federal

Para iniciar, uma breve cronologia dos principais apagões no Brasil no século XXI:

* Crise do Apagão, ocorrida entre 2001 e 2002

O principal motivo foi a ausência de investimento e planejamento na geração e distribuição de energia, somado com a escassez de chuvas. Foi criado então o “Ministério do Apagão”, cuja principal medida foi um racionamento voluntário nas Regiões Sudeste, Noroeste e Centro-Oeste. O órgão premiava com descontos quem gastasse pouco e punia com tarifas mais altas, e até corte, quem gastasse muito. Findou em fevereiro de 2002.

* Apagão de 2009, em 10 de novembro de 2009

Um blecaute deixou 18 estados brasileiros e parte do Paraguai sem energia elétrica entre três e sete horas. O motivo foi um curto-circuito na SE de Itaberá, que derrubou todas as 20 unidades geradoras de 700 MW de Itaipu, provocando o efeito cascata em outras usinas hidroelétricas.

* Crise de 2014

Naquele ano, o nível dos principais reservatórios do País ficou nos patamares mais baixos em mais de dez anos. A estiagem somou-se a outros fatores, como o atraso em obras no setor elétrico e uma medida publicada em 2012, que reduziu as tarifas artificialmente. O consumo disparou e o SIN teve que despachar massivamente as térmicas, elevando a inflação acima dos níveis de 2002.

* Apagão do Amapá, em 3 de novembro de 2020

Na referida data, um apagão atingiu 13 dos 16 municípios do Amapá e deixou 90% da população sem ou com energia limitada. Foram 22 dias de problemas de distribuição. Houve falha num transformador que aguardava manutenção havia 11 meses e provocou o incêndio de outros dois. E, naquele ano, até junho houve mais cinco apagões no Amapá.

* A Crise Hídrica de 2021

Quando este texto foi redigido, em julho de 2021, estava sendo divulgado pela mídia que havia 91 anos que não se via tão pouca água nos reservatórios do País, e que especialistas temiam nova “Crise do Apagão”, como a de 2001.

Há 91 anos começou a ser registrada a Série Histórica. Ou seja, isso foi em 1930, quando quase não havia reservatórios. Começo por aí a questionar essa afirmação da “maior seca da história”.

Em uma simulação para cálculo da energia firme de um sistema hidroelétrico, o período crítico é o maior intervalo de tempo em que o sistema passa da situação de máximo a mínimo armazenamento, sem reenchimentos intermediários. Em outras palavras: a situação de máximo é menor a cada ano.

O período crítico atualmente utilizado no setor elétrico, no processo de cálculo dos certificados de garantia física de usinas hidroelétricas, pela EPE, compreende o horizonte de junho de 1949 a novembro de 1956.

Não encontrei qualquer bibliografia ou trabalho acadêmico/científico que prove que a atual estiagem é pior do que aquela dos sete anos consecutivos. Até porque não faz sete anos, ou seja, desde 2013/2014 que a situação de máximo é menor a cada ano! Mas admitamos que estamos numa estiagem muito severa. Porém, até que se prove o contrário, não a maior de todas.

Voltando a julho de 2021, o volume útil (ou energia armazenada) dos reservatórios (EAR), segundo o ONS, era: Sudeste/Centro-Oeste – 27,79% (70% do nosso parque hidroelétrico); Sul – 60,55%; Nordeste – 57,49% e Norte – 81,87%.

Hidroelétricas sem reservatórios ou a fio d’água

A crise hídrica atual poderia estar muito minimizada se todas as UHEs existentes tivessem sido construídas com reservatórios de acumulação ou plurianuais, aliás, como eram nos seus projetos originais, que foram mutilados. Se somarmos a área de todos os reservatórios do País, incluindo a calha dos rios antes das hidroelétricas, e dividirmos pela área do Brasil, teremos 0,42%. É como se tirássemos um quarteirão de 238 quarteirões de uma cidade.

Ventos alísios entram pelo Nordeste e se carregam de umidade ao atravessar a Floresta Amazônica. Conduzidos pelos Andes, descem e precipitam no Sudeste e Centro-Oeste. Ocorre que o desmatamento está secando o Rio Voador, de modo que as vazões dos rios dessas regiões estão diminuindo. Esse fato está, sem dúvida, trabalhando para agravar a atual crise hídrica.

Finalizando, temos assistido, constrangidos, os leilões de energia dos últimos anos, onde não existem UHEs, apenas PCHs e CGHs que não totalizam 1% da energia vendida. Somos o 2º país do mundo em potencial hidroelétrico (China 600 GW, Brasil 260, com apenas 46% aproveitados).

Gerações futuras vão pagar e nos responsabilizar por: 1) construção de UHEs sem reservatórios; 2) desmatamento da Amazônia, e 3) o mais absoluto desprezo da energia mais limpa, de porte, renovável e barata dentre todas as fontes existentes.

Em julho de 2021, “oficialmente” se garantia que não haveria racionamento, mas, na realidade, pairavam dúvidas sobre conseguir chegar ao final do ano com energia e água suficientes.



JOSÉ MARCOS DONADON

Engenheiro Civil formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1978). Trabalhou durante 42 anos na construção das hidroelétricas de Itaipu, Porto Primavera, Salto Caxias, Passo São João e Belo Monte. É concursado desde 2010 e trabalha na área de Engenharia da Caixa Econômica Federal. Filiou-se ao CBDB em 1989 e tem 40 trabalhos publicados em Seminários Nacionais de Grandes Barragens.



Complexo Paulo Afonso

FOTO: ANDRE SCHULER (CHESF)

O Complexo Paulo Afonso é formado pelas usinas hidrelétricas Paulo Afonso I, II, III, IV e Apolônio Sales. Fica no chamado “coração” da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), em Paulo Afonso, na Bahia – sendo Apolônio Sales localizada na margem alagoana. De 1954 a 1979, foram inauguradas as usinas que formam o Complexo, que tem potência instalada total de 4.279,6MW.

SYSDAM

O SYSDAM é um sistema web voltado à gestão de risco, segurança e emergência de barragens, desenvolvido em consonância com as melhores práticas de engenharia e legislações vigentes. Possui inúmeras funcionalidades que objetivam registrar informações, operar, monitorar, planejar ações de correção e manutenção, facilitando o acompanhamento rotineiro das estruturas destinadas à acumulação de rejeitos/resíduos e armazenamento de água de múltiplos usos.

Temos orgulho da nossa trajetória e buscamos sempre inovação e superação das adversidades, com valorização e respeito às pessoas, clientes e meio ambiente.

sysdam.com.br



+70 Barragens
MONITORADAS

+ 6.500
INSTRUMENTOS

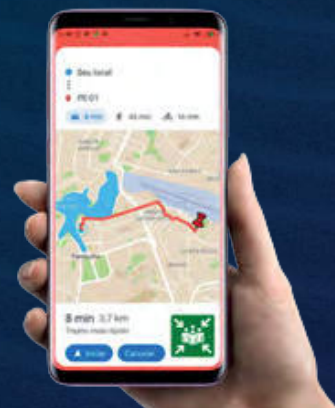
+ 5.000.000
LEITURAS

+ 50.000
DOCUMENTOS
CADASTRADOS

ALERT

Módulo de Gestão de Emergência, o SYSDAM ALERT disponibiliza de forma organizada as ações a serem adotadas em caso de emergência na barragem, com recurso de envio de alertas aos agentes internos e externos. Através desta ferramenta é possível acessar as informações disponíveis sobre o processo de evacuação, características da população cadastrada, rotas de fuga, pontos de encontro, recursos requeridos para pronta atuação, dentre outras funcionalidades.

O SYSDAM ALERT conta com aplicativos que auxiliam o cadastramento das pessoas nas áreas estabelecidas pela mancha de inundação e da população fixa/flutuante, no caso da necessidade de evacuação. Na emergência a agilidade nas decisões é fundamental, pois preservar vidas vem em primeiro lugar!



Al. Oscar Niemeyer, 420, Vale do Sereno, Nova Lima, MG, CEP 34.006-056
Telefone: +55 31 3286 1711 - pimentadeavila@pimentadeavila.com.br

PIMENTA DE AVILA
CONSULTORIA LTDA

PATROCÍNIO



PATROCÍNIO



Venha caminhar conosco no que ainda está por vir!

PRÓXIMOS EVENTOS | 2021

EVENTO	DESCRIÇÃO	DATA/LOCAL
EVENTO 5	Barragens de Aterro: Zoneamento, Fundações, Interfaces, Segurança	
	5.1 Investigação Geológico-Geotécnica e Tratamentos de Percolação e Fragilidades	6 de outubro
	5.2 Maciço Argiloso, Núcleo Argiloso	7 de outubro
	5.3 Sismicidade e Resistência ao Galgamento (manhã)	8 de outubro
	5.4 Maciços, Transições, Drenos, Barragens sem Filtro e Controles de Compactação e Método de Hilf (tarde)	8 de outubro
EVENTO HÍBRIDO <i>Presencial + Online</i>	DamsWeek 2021	
	III STDS - Symposium on Risk Management for Tailings Dams Safety - International Edition	25 e 26 de outubro Belo Horizonte/MG
	I SP&D - Simpósio de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica na Área de Barragens	26 de outubro São Paulo/SP
	XXXIII SNGB - Seminário Nacional de Grandes Barragens + INCA Meeting - ICOLD National Committees for the Americas	27 e 28 de outubro Rio de Janeiro/RJ
	III ETIAB - Encontro Técnico sobre Acidentes e Incidentes em Barragens	29 de outubro Brasília/DF

GRADE DE CURSOS ONLINE | 2021

CURSOS JORNADA 60 ANOS DO CBDB	DATA (2021)	HORÁRIO	CURSO	INSTRUTORES
Curso 01	22 a 25 de março	Tarde	Análise de Instrumentação de Barragens de Terra e Enrocamento	João Francisco Alves Silveira
Curso 02	26 e 27 de abril	Tarde	Hidráulica de Vertedouros	Diego Baptista de Souza, Bruno Victor Veiga, Renato Grube, Aloysio Portugal Maia Saliba, Marcos Vinicius Andriolo
Curso 03	26 de maio	Dia todo	Instalação e Análise de Inclínômetros em Barragens	Pierre Chouquet
Curso 04	21 a 24 de junho	Tarde	Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração - PAEBM: desafios considerando novos temas incluídos nas legislações de 2020/2021	Sueli Kakinami, Luis Sayão, Elisângela Silva, Fernanda Laham, Tatiana Pavão, Cristina Almeida, Fernando Soltys, Luanna Guimarães
Curso 05	19 e 23 de julho	A definir	Patologia e Reparo de Obras Hidráulicas de Concreto	José Marques Filho, Walton Pacelli Andrade, Arnaldo Forti Battagin, Armando Camelo, Carlos Alberto de Brito Pina
Curso 06	13 de outubro	Dia todo	Formas de Contratação de Serviços de Engenharia e Construção de Barragens e Hidrelétricas	Marco Aurélio Escobar, Sérgio Abu-Jamra Misael, Ricardo Andrejewski
Curso 07	13 a 17 de setembro	Tarde	Barragens de Enrocamento com Face de Concreto e com Núcleo Asfáltico	Afonso Freire Portela, Alex Martins Calcina, Bayardo Materón, Ciro Humes, Fernando Resende, Manoel de Sousa Freitas, Paulo Teixeira da Cruz
Curso 08	14 e 15 de outubro	Tarde	Métodos Geofísicos e Remotos para Monitoramento da Segurança de Barragens	Rodrigo Alves Ortega
Curso 09	16 e 17 de novembro	Dia todo	Estudos de Ruptura Hipotética de Barragens (Dam Break) - Teoria, Incertezas e Aplicação (HEC-RAS e RiverFlow2D)	Adolfo Tribst Correa
Curso 10	18 e 19 de novembro	Dia todo	Simulação de Vazões em Ruptura de Barragens com Fluidos Newtonianos e Não Newtonianos (FLOW3D Hydro)	Luciano A. Santana, Aurélio Fushiki
Curso 11	22 de novembro	Dia todo	Sensoriamento Remoto	Antônio Rocha e outros da GroundProbe
Curso 12	13 a 17 de dezembro	Tarde	Proteção e Contenção de Corridas Detriticas	Dimitry Znamensky, Bruno Denerdin, Felipe Gobbi, Marcelo F. Gramani

TABELA DE DESCONTOS | CURSOS TÉCNICOS

DESCONTOS PROMOCIONAIS PARA MAIS DE UM CURSO TÉCNICO VÁLIDO PARA INSCRIÇÕES REALIZADAS PARA O MESMO PARTICIPANTE (CPF)	CATEGORIAS	ATÉ A VÉSPERA DO INÍCIO DO CURSO EXCETO CURSO 09 E 10 - 15 DIAS ANTES <i>Solicite seu CUPOM desconto através do e-mail ou WhatsApp no rodapé deste documento.</i>
2 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	5 % sobre o valor total da Tabela
3 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	10 % sobre o valor total da Tabela
4 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	15 % sobre o valor total da Tabela
5 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	20 % sobre o valor total da Tabela
6 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	25 % sobre o valor total da Tabela
7 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	30 % sobre o valor total da Tabela
8 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	35 % sobre o valor total da Tabela
9 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	40 % sobre o valor total da Tabela
10 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	45 % sobre o valor total da Tabela
11 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	50 % sobre o valor total da Tabela
12 Cursos	Conforme o valor para cada categoria, aplicar como desconto	55 % sobre o valor total da Tabela

TABELA DE DESCONTOS | CURSOS ONLINE

CURSOS ONLINE JORNADA 60 ANOS DO CBDB	CATEGORIA	ATÉ A VÉSPERA DO INÍCIO DO CURSO EXCETO CURSO 09 E 10 - 15 DIAS ANTES
QUALQUER CURSO DA GRADE	Sócio CBDB em dia	R\$ 770,00
	Não Associado	R\$ 1.100,00
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	R\$ 275,00
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	R\$ 550,00
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	R\$ 550,00

(*) Apresentar comprovante no ato da inscrição. (**) Profissional de nível técnico atuando em Barragens (diploma técnico ou declaração da empresa)

GRADE DE EVENTOS | 2021

EVENTO OU PACOTE DAMWEEK VÁLIDO PARA INSCRIÇÕES REALIZADAS PARA O MESMO PARTICIPANTE (CPF)	CATEGORIAS	INSCRIÇÕES
		VALORES
DAMSWEK 2021 COMPLETA STDS + P&D + SNGB + ETIAB	Sócio CBDB em dia	R\$ 1.540,00
	Não Associado	R\$ 1.870,00
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	R\$ 330,00
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	R\$ 660,00
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	R\$ 660,00
DAMSWEK 2021 TEMÁTICO OPÇÃO REJEITOS STDS + P&D + ETIAB OPÇÃO BARRAGENS SNGB + P&D + ETIAB	Sócio CBDB em dia	R\$ 1.210,00
	Não Associado	R\$ 1.540,00
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	R\$ 275,00
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	R\$ 550,00
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	R\$ 550,00
EVENTO INDIVIDUAL ETIAB ou STDS ou SNGB ou P&D	Sócio CBDB em dia	R\$ 660,00
	Não Associado	R\$ 990,00
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	R\$ 165,00
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	R\$ 330,00
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	R\$ 330,00
EVENTO 5 Geologia e Geotecnia	Sócio CBDB em dia	R\$ 1.210,00
	Não Associado	R\$ 1.540,00
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	R\$ 275,00
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	R\$ 550,00
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	R\$ 550,00

TABELA DE DESCONTOS | EVENTOS

DESCONTOS PROMOCIONAIS EVENTOS ESPECIAIS e/ou DAMWEEK VÁLIDO PARA INSCRIÇÕES REALIZADAS PARA O MESMO PARTICIPANTE (CPF)	CATEGORIAS	DATA DA INSCRIÇÃO ATÉ Solicite seu CUPOM desconto através do e-mail ou WhatsApp no rodapé deste documento.
		Até a data do início do evento
2 EVENTOS Evento Especial e/ou DamWeek	Sócio CBDB em dia	0% sobre o valor total da tabela
	Não Associado	
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	
3 EVENTOS Evento Especial e/ou DamWeek	Sócio CBDB em dia	10% sobre o valor total da tabela
	Não Associado	
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	
4 EVENTOS Evento Especial e/ou DamWeek	Sócio CBDB em dia	20% sobre o valor total da tabela
	Não Associado	
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	
5 EVENTOS Evento Especial e/ou DamWeek	Sócio CBDB em dia	30% sobre o valor total da tabela
	Não Associado	
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	
6 EVENTOS Evento Especial e/ou DamWeek	Sócio CBDB em dia	40% sobre o valor total da tabela
	Não Associado	
	(*) Estudante não Graduado (Isento 01 ano de anuidade no CBDB)	
	(*) Universidade (Professor e Pós-Graduando)	
	(**) Profissional de nível técnico de Barragens	

(*) Apresentar comprovante no ato da inscrição. (**) Profissional de nível técnico atuando em Barragens (diploma técnico ou declaração da empresa)

NORMATIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS E VALES A JUSANTE

Vitor Hugo Pereira de MORAIS | Doutor em Engenharia Civil – Universidade de Campinas

Tiago Zenker GIRELI | Doutor em Engenharia Civil – Universidade de Campinas

Édino Pereira de MORAIS | Consultor em Gestão Ambiental de Riscos e Emergências

RESUMO

A utilização de padrões definidos em Normas Técnicas internacionais de gestão, tradicionalmente aplicadas aos diferentes segmentos e áreas de atuação, permite a padronização e uniformização de um Sistema Integrado de Gestão para vales a jusante de barragens. O objetivo é dar a robustez necessária para uma efetiva gestão da segurança.

ABSTRACT

It is assumed that the use of standards defined in international technical management standards, and traditionally applied to different segments and areas of activity, allows the standardization and uniformity of an integrated management system to be applied in values and downstream of dams with a view to give the necessary strength to the effective security management.

1. INTRODUÇÃO

Na ocorrência da ruptura de uma barragem, o volume liberado pode atingir comunidades que, na maioria dos casos, desconhecem a proximidade com a barragem- e, por consequência, se consideram seguras. A título de ilustração, abaixo estão imagens de barragens de acumulação de água para fins de geração de energia elétrica. No local, no dia 22 de maio de 2020, ocorreu o rompimento em cascata das duas barragens de *Endeville e Sanford* (Figura 1). Ao todo foram evacuados 10 mil residentes e os danos estimados são de US\$ 200 milhões (cerca de R\$ 1 bilhão) (CLAIMS, 2020).



FIGURA 1 – Rompimento de barragem de acumulação de água para fins de geração de energia elétrica / Fontes: DN, 2020 - esquerda e ABC, 2020 - direita

É evidente que o foco da segurança de barragens não deve abranger apenas aspectos relacionados com a segurança estrutural e operacional da barragem. As consequências do rompimento de qualquer barragem devem ser analisadas com o objetivo de determinar regras operacionais de reservatórios, planos de evacuação da população e critérios para a ocupação das áreas que podem ser atingidas em caso de acidentes.

O poder público tem papel relevante nas ações de prevenção e contingência. A Lei nº 12.608/2012 aborda de forma prática alguns aspectos relacionados ao Plano de Contingência Municipal (PLANCON). Dentre as competências estabelecidas aos municípios pode-se destacar as atribuições de fiscalizar áreas de risco, impedir novas ocupações, e manter a população informada sobre áreas de risco, ocorrência de eventos extremos, protocolos de prevenção e alerta, e ações emergenciais em circunstância de desastres.

É competência da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ser o agente fiscalizador da segurança das barragens. Em 15 de dezembro de 2015 foi publicada a Resolução Normativa nº 696, que estabelece critérios para classificação e formulação do Plano de Segurança da Barragem. Um dos principais instrumentos criados é o Plano de Ação de Emergência (PAE).

De fato, a inclusão do PAE como instrumento de gestão de risco pode ser considerada um avanço. Entretanto, é notório que apenas o cumprimento das exigências legais e regulatórias não é suficiente em caso de emergência. Além disso, não garante a segurança das pessoas localizadas em áreas de risco em caso de emergência na barragem.

Os denominados “planos”, seja o de Contingência (PLANCON) ou o de Ação de Emergência (PAE), não englobam todas as atividades requeridas para dar consistência ao denominado ciclo de gerenciamento, instrumento reconhecidamente necessário frente aos desafios de prover segurança na amplitude e complexidade da barragem associada ao vale de jusante.

Diante das lacunas existentes para integração da segurança da barragem e do vale de jusante, torna-se latente a necessidade de desenvolver solução diferenciada em termos de princípios, estrutura e processos, que seja promotora da efetiva gestão da segurança nas áreas a jusante de barragens, e, especialmente, orientadora e garantidora dos investimentos eventualmente realizados pelos agentes envolvidos.

Por hipótese, adota-se que a utilização de critérios e conceitos consolidados em gestão e definidos nas Normas Técnicas da Organização Internacional de Padronização (*International Organization for Standardization - ISO*), aplicados ao contexto de provimento de segurança aos vales a jusante de barragens, em toda sua magnitude e amplitude, pode permitir a compreensão e a prática do gerenciamento dos processos inter-relacionados e interdependentes, resultando em uma elevação do desempenho da gestão da segurança da barragem e vale de jusante.

Uma abordagem estruturada de gestão de segurança que engloba risco e emergência, também estimula e aprimora a identificação de melhores oportunidades para qualificação contínua através da inovação no gerenciamento de segurança. A gestão estruturada e padronizada pode aparentar complexidade por ser uma temática nova na cultura de segurança em barragens, entretanto, considerada por estes autores como factível e exequível.

2. OBJETIVOS

Estabelecimento de diretrizes de modo a auxiliar na integração da segurança de barragens do setor elétrico brasileiro e do vale a jusante valendo-se de critérios e conceitos estabelecidos por meio de normas técnicas da Organização Internacional de Padronização (ISO).

Ressalta-se que o objetivo não é trazer à luz solução pronta, o que seria de fato inviável em virtude das particularidades de cada caso. Deste modo, buscou-se prover, às instituições responsáveis, uma estrutura para proteção e segurança de vales a jusante de barragens e possibilitar uma abordagem eficaz antes, durante e após uma situação de emergência.

A Diretiva Técnica proposta pretende auxiliar empreendedores de barragens e órgãos de proteção e Defesa Civil na definição de soluções adequadas para o desenvolvimento sustentável, estimulando-os a irem além da conformidade legal. Afinal, é preciso reconhecer que conformidade com a lei é uma obrigação fundamental de qualquer organização e parte essencial de sua responsabilidade social.

3. METODOLOGIA

Propõe-se a estruturação de um de Sistema Integrado de Gestão como instrumento para a integração da segurança de barragens e vales a jusante. Para atingir esse objetivo optou-se pelo estabelecimento de diretrizes técnicas para definição, implantação e aplicação do Sistema Integrado de Gestão Segurança (SIGS). Essas diretrizes foram organizadas na forma de uma Diretiva, onde são abordados os elementos e aspectos necessários à uma adequada gestão de segurança em vales a jusante de barragens.

Dentre as referências normativas adotadas para fundamentar a elaboração da referida Diretiva Técnica, elencou-se: a NBR ISO 14001, que trata de requisitos para Sistemas de Gestão Ambiental; a EN ISO 22300, que aborda o vocabulário voltado à segurança e resiliência; a NBR ISO 22320 e a NBR ISO 22322, que tratam, respectivamente, de diretrizes para gestão de incidentes e diretrizes para aviso público em situação de emergência; a NBR ISO 26000, que trata de aspectos intrínsecos a responsabilidade social; e, por fim, a NBR ISO 31000, que apresenta os princípios e as diretrizes relacionadas à gestão do risco.

4. NORMATIZAÇÃO TÉCNICA

Uma Norma Técnica é um documento estabelecido e aprovado por um organismo reconhecido que fornece regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus

resultados, visando obter um grau ótimo de ordenação em um dado contexto (MARIANI, 2006).

Segundo a ABNT (2020), as Normas têm uma contribuição enorme e positiva para a maioria dos aspectos de nossas vidas. São inúmeros os benefícios trazidos pela normalização para a sociedade. No contexto da globalização, em que as transações comerciais sofrem a influência crescente de considerações de natureza política e social, por motivos legítimos ou estratégicos, a adoção de Normas oferece, no mínimo, um sinal de obediência às melhores práticas.

5. DIRETIVA TÉCNICA

A Diretiva Técnica fornece elementos que permitem o gerenciamento da segurança de áreas a jusante de barragens de acumulação de água para fins de geração de energia elétrica, independentemente do porte ou da localização do empreendimento. A aplicação das diretrizes deverá ser customizada por empreendimento, a partir de avaliação de diversidades culturais, tecnológicas, ambientais, políticas e outras que predominem no empreendimento e/ou nas áreas circunvizinhas da barragem.

A solução integrada em segurança de barragens está fundamentada na incorporação e interação das dimensões apresentadas a seguir:

- Contexto
- Requisitos legais
- Liderança e estrutura
- Abordagem de processos
- Avaliação de desempenho

Uma definição clara e objetiva em relação aos termos utilizados pelas partes interessadas do vale a jusante de barragens pode ser considerada como a base para alicerçar a construção de qualquer ação preventiva ou corretiva. A Diretiva Técnica propõe termos e definições buscando a padronização de linguagem.

É notório que a uniformização de conceitos contribui para o entendimento das partes interessadas e traz ganhos do ponto de vista de produtividade e efetividade nas ações a serem planejadas e executadas. Relacionado com uniformização de conceitos e definição de linguagem comum, a Diretiva Técnica propõe o estabelecimento de terminologia padronizada internacionalmente e de acordo com a Norma ISO 22322 (2020).

Tais diretrizes vão ao encontro do preconizado pela Norma ISO 31000 (2018), que estabelece a necessidade de considerar

o relacionamento com outros projetos, processos e atividades. Além disso, considera como etapa importante a clareza na definição do escopo.

Por premissa, não há segurança de forma integrada se não houver participação do empreendedor da barragem e da Defesa Civil atuando juntos e de forma alinhada e convergente. Tal premissa vai ao encontro da diretriz estabelecida na Norma ISO 22320 (2020), que sugere a criação de um quadro operacional comum para permitir o compartilhamento ativo de informações entre organizações- e que as informações sejam acessíveis entre organizações.

As temáticas contexto e liderança são abordadas nas Normas ISO 14001 e ISO 31000 como parte da estruturação dos Sistemas de Gestão Ambiental e de Gestão de Risco, respectivamente. Desta forma, a Diretiva Técnica estabelece os conceitos de entendimento dos contextos internos e externos, bem como o de liderança ativa, como pressupostos de uma gestão eficaz em segurança no vale a jusante de barragens.

No contexto de liderança surge uma discussão a respeito das responsabilidades de cada agente, seja o empreendedor da barragem ou os órgãos de proteção e Defesa Civil. De concreto e vigente, por meio de instrumentos legais e regulatórios, há atribuições claramente definidas à Defesa Civil e ao empreendedor.

Do ponto de vista do empreendedor da barragem, o que se observa é uma iniciativa originada da obrigatoriedade de atendimento aos requisitos legais. Talvez, sem a imposição da lei e de resoluções específicas dos agentes fiscalizadores, muitos empreendedores deixariam em segundo plano ações voltadas à segurança do vale a jusante de suas barragens, sob a justificativa da realização de uma adequada gestão de risco da barragem associada ao argumento da baixa probabilidade de ocorrência de eventos desta natureza.

Segundo a Norma ISO 22320 (2020), convém que as organizações se comprometam a contribuir e se esforcem para alcançar uma direção conjunta.

Como parte das diretrizes, propõe-se uma abordagem a partir do estabelecimento de uma matriz de competências institucionais para determinar as fases, o processo e a fase associada, as relações e interdependências, os coordenadores, as atribuições de cada parte e as atividades a serem desenvolvidas, bem como os produtos a serem entregues como parte fundamental do processo de implementação do Sistema de Gestão de Segurança do vale a jusante.

Adicionalmente, é fundamental dispor de processos-chaves de comunicação entre as equipes da liderança compartilhada (nível institucional), bem como processos-chave de consultas às partes interessadas, a exemplo das pessoas localizadas no vale a jusante. As consultas permitem conhecer as expectativas e favorecem as decisões de planejamento. A necessidade de processos de comunicação e consulta são estabelecidos nas

Normas ISO 14001 e ISO 31000. Elas fornecem informações suficientes para facilitar a supervisão e a tomada de decisões, além de assegurar que a informação comunicada seja coerente com a gerada dentro do Sistema de Gestão de Segurança entre a barragem e o vale a jusante.

Do ponto de vista de registros e documentações, a Norma ISO 14001 estabelece que o Sistema de Gestão deve incluir informação documentada para permitir a sua eficácia. Esses aspectos foram definidos como diretrizes básicas para atingir os objetivos em segurança.

A responsabilidade social envolve uma compreensão mais ampla das expectativas da sociedade. Um princípio fundamental da responsabilidade social é o respeito pelo estado de direito e conformidade com requisitos legais. A responsabilidade social, entretanto, também implica ações que vão além da conformidade legal e do reconhecimento de obrigações para com os outros que não sejam exigências legais.

Segundo a Norma ISO 26000 (2010), a característica essencial da responsabilidade social é a disposição da organização de incorporar considerações socioambientais em seus processos decisórios, bem como a prestação de contas e a autorresponsabilização pelos impactos de suas decisões e atividades na sociedade e no meio ambiente. Desta forma, princípios e diretrizes sobre responsabilidade social foram estabelecidos como diretrizes para uma eficaz gestão de segurança do vale a jusante de barragens.

De nada valerão os esforços prévios de planejamento e preparação se não houver a avaliação de desempenho com foco na busca por melhorias. A Norma ISO 14001 (2015) estabelece que a organização deve avaliar seu desempenho e a eficácia do Sistema de Gestão Ambiental, bem como deve reter informação documentada apropriada, como evidências de monitoramento, medição, análise e resultados da avaliação.

A Norma ISO 31000 (2018) destaca que o propósito do monitoramento e análise crítica é assegurar e melhorar a qualidade e eficácia da concepção, implementação e resultados do processo. Ela vai além: recomenda que as fases de monitoramento e análise crítica ocorram em todos os estágios do processo. Ainda segundo a Norma, monitoramento e análise crítica incluem planejamento, coleta e análise de informações, registro de resultados e fornecimento de retorno.

Tais conceitos foram implementados na Diretiva Técnica estabelecida para a gestão integrada de segurança, ou seja, a eficácia do SIGS pressupõe a busca contínua de melhoria em termos de qualidade de processos e produtividade operacional para qualificar a expectativa de desempenho. Deste modo, devem ser determinados, em relação ao monitoramento e medição, o que precisa ser monitorado e medido, os métodos a serem utilizados, a periodicidade e outros parâmetros desejados.

6. RESULTADOS

Para a estruturação da Diretiva Técnica proposta buscou-se manter a estrutura e o padrão adotado em Normas do padrão ISO, modelo tradicionalmente utilizado e de fácil manuseio e consulta. Em geral, pode-se observar nas Normas ISO a objetividade e o fácil entendimento sobre os assuntos tratados.

A estruturação do documento utilizou tópicos presentes nas referências normativas para compreender o contexto da barragem e do vale a jusante, bem como sua gestão dentro das principais dimensões contidas nas Normas de Gestão padrão ISO.

A seguir é apresentada a estrutura de tópicos utilizada para a estruturação da Diretiva Técnica para a integração da segurança de barragens e vales a jusante.

- Introdução
- Escopo
- Referências normativas e outras
- Termos e definições
- Princípios
 - » Generalidades
 - » Abordagem de processo
 - » Ciclo PDCA
- Contexto
- Vale a jusante
 - » Organização e estrutura de proteção e Defesa Civil
- Barragem
 - » Organização e estrutura do empreendedor da barragem
- Liderança e estrutura
 - » Comprometimento
 - » Matriz de competências institucionais
 - » Responsabilidade Social
 - » Comunicação e consulta a nível institucional
 - » Informação documentada
- Gestão de risco barragem e vale a jusante
 - » Amplitude
 - » Identificação de riscos
 - » Análise de riscos
 - » Avaliação de riscos
 - › Valoração econômica dos danos
 - » Tratamento de riscos
- Sistema Integrado de Gestão de Segurança (SIGS)
 - » Planejar globalmente e desenvolver pontualmente
 - » Avaliação de risco integrada
 - › Processos do SIGS

- Planejamento
- Preparação
 - » Conscientização e capacitação
 - › Sistema de comando em operações
 - › Proteção e Defesa Civil
 - › Empreendedor da barragem
 - › Povoamento a jusante
 - » Engajamento das pessoas
 - › Percepção do risco
 - › Cultura de segurança
 - » Caracterização do vale a jusante
 - » Logística de salvamento e acolhimento
 - › Infraestrutura de emergência
 - › Cadastro geral dos recursos
 - › Plano de atendimento aos vulneráveis
 - › Investimentos
- Resposta
 - » Comando em operações em emergências
 - » Salvamento e autossalvamento
- Avaliação de desempenho
- Melhoria

7. CONCLUSÕES

Ausência de regulamentos efetivos, leis recentemente publicadas, desestruturação de órgãos de proteção e Defesa Civil municipais e ausência de uma cultura de segurança são os fatores que potencializam as carências e lacunas existentes no Brasil no que diz respeito à segurança dos vales a jusante de barragens.

A partir da hipótese aventada de utilização de critérios e conceitos de gestão e definidos nas Normas Técnicas da Organização Internacional de Padronização (ISO) aplicados ao contexto de prover segurança aos vales a jusante de barragens, foi possível compreender, em toda sua magnitude e amplitude, os processos inter-relacionados e interdependentes, contribuindo para uma elevação do desempenho da gestão da segurança. Uma abordagem estruturada de gestão de segurança, que engloba risco e emergência, também estimula e aprimora a identificação de melhores oportunidades para qualificação contínua através da inovação no gerenciamento de segurança.

A garantia de qualidade, segurança e confiabilidade associada à inexistência de norma específica relacionada ao contexto segurança de vales a jusante de barragens permitiram a elaboração de uma Diretiva Técnica contendo as diretrizes necessárias para a adoção de um Sistema de Gestão de Segurança que permita integrar as variáveis existentes.

A Diretiva Técnica foi construída utilizando-se critérios e conceitos das Normas ISO 14001, ISO 22300, ISO 22320, ISO 22322, ISO 26000 e ISO 31000.

Desta forma, pode-se concluir que, apesar das diferentes características entre as estruturas das barragens e de vales a jusante, as suas essências são as mesmas e, portanto, a modelagem e normalização deste contexto é factível e pode agregar positivamente contribuindo para a efetividade das ações de segurança em vales a jusante de barragens. Afinal, isso traz padronização à abordagem e estabelece premissas fundamentais.

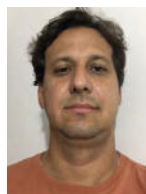
Esta Diretiva pretende auxiliar empreendedores de barragens e órgãos de proteção e Defesa Civil na definição de soluções adequadas para o desenvolvimento sustentável, estimulando-os a irem além da conformidade legal, reconhecendo que conformidade com a lei é uma obrigação fundamental de qualquer organização e parte essencial de sua responsabilidade social.

8. PALAVRAS-CHAVE

Gestão de risco, normatização, organização internacional de padronização, vale de jusante, emergência.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CLAIMS. Claims Journal. Dam Failure Cause \$200M in damage; Michigan Seeks Disaster Declaration. Disponível em: https://www.claimsjournal.com/news/midwest/2020/06/10/297559.htm?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter. Acessado em 18 de julho de 2020.
- [2] MARIANI, E. J. As normas ISO. Revista Científica Eletrônica de Administração – ISSN: 1676-6822. Ano VI – Número 10 – 2006.
- [3] ABNT, 2020. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <http://www.abnt.org.br/normizacao>. Acessado em 5 de julho de 2020- 09:34h.
- [4] NBR ISO 14001. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso. ISBN 978-85-07-05822-9. 41p. 2015.
- [5] NBR ISO 22320. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Segurança e resiliência – Gestão de emergências – diretrizes para gestão de incidentes. 22p. 2020.
- [6] NBR ISO 22322. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Segurança da sociedade- Diretrizes para aviso público. 14p. 2020.
- [7] NBR ISO 26000. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Diretrizes sobre responsabilidade social. ISBN 978-85-07-02363-0. 110p. 2010.
- [8] NBR ISO 31000. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Gestão de risco - Diretrizes. 17p. Segunda edição. 2018.



Vitor Hugo Pereira de MORAIS

Engenheiro Civil. Doutor em Segurança de Barragens e Mestre em Engenharia Hidráulica pela Universidade Estadual de Campinas. Experiência em empresas de consultoria e projetos voltados aos setores de mineração e elétrico. Atuação em construção e operação de modelos hidráulicos, bem como operação e manutenção de usinas hidrelétricas.



Tiago Zenker GIRELI

Docente na Universidade Estadual de Campinas. Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tem experiência nas áreas de Engenharia Civil e Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia portuária, engenharia costeira, ondas, hidráulica marítima, processos litorâneos, hidráulica fluvial, transporte de sedimentos, transporte hidroviário, planejamento energético, sistemas prediais elétricos, sistemas prediais hidráulico-sanitários, modelação física e numérica e segurança de barragens.



Édino Pereira de MORAIS

Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos. Consultor em Gestão da Qualidade, Segurança e Meio Ambiente. Consultor em Certificação ISO 9001, ISO 14001 e SASSMAQ (ABQUIM) de indústrias químicas e respectiva cadeia de suprimentos. Atua em Gestão de Riscos e Emergências integrando PSB, PAE e PLANCON de empreendimentos de barragem e vale a jusante em Sistemas de Gestão com base em normas de certificação.

PIONEIRA NO DESCOMISSIONAMENTO DE BARRAGENS

RESPONSABILIDADE E CONFIABILIDADE



Geotecnia



Meio Ambiente



Segurança



Sig

SUBPRESSÕES E EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGENS NA FUNDAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONCRETO

João Francisco Alves SILVEIRA | Diretor Técnico SBB Engenharia Eireli

RESUMO

Apresenta-se nesse trabalho uma análise da eficiência do sistema de drenagem do maciço rochoso de fundação em um total de 13 barragens de concreto, que apresentaram comprometimento de seu desempenho após alguns anos de operação. A maioria das barragens aqui analisadas localiza-se na região Centro-Sul do Brasil, sobre maciços basálticos, permitindo obter informações importantes sobre a frequência recomendada para as operações periódicas de desobstrução dos drenos de fundação.

ABSTRACT

An analysis of the drainage system of the foundation rock mass in a total of 13 high concrete dams is presented, showing partial loss of efficiency after a few years of operation. Most of the dams are located in the Center-South region of Brazil, on basaltic rock masses, allowing important information on the recommended frequency for the periodic clean operations of these foundation drain system.



1. INTRODUÇÃO

Apresenta-se neste trabalho uma análise do desempenho dos sistemas de drenagem executados na fundação das barragens de concreto. Procurou-se investigar seu desempenho ao longo do tempo e verificar, através da instrumentação, como acompanhar a perda de eficiência da drenagem, quais as técnicas empregadas na sua recuperação e quais os materiais geralmente encontrados no interior dos drenos (em função das características dos maciços rochosos de fundação).

2. PERDA DE EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM – CASOS OBSERVADOS

A experiência americana é uma das mais antigas, tendo por base trabalhos publicados pela ICOLD (*International Commission on Large Dams*) e uma série de grandes barragens construídas na década de 40. Esses aspectos revelaram que a colmatagem dos drenos de fundação podia ser física ou química. A colmatagem física era provocada pela deposição de partículas sólidas no interior dos drenos, tendo sido responsável pela elevação de subpressão na fundação das Barragens de Fontana (fundada em quartzito), Chief Joseph (fundada em granodiorito, com alguns falhamentos) e Hiwassee (fundada em xistos e quartzitos). Já a colmatagem química era provocada, geralmente, pela deposição de precipitados carbonáticos, como na Barragem de Douglas (fundada em dolomito).

Na Barragem de Fontana constatou-se que após oito anos de operação, cerca de 45 % do comprimento total de todos os drenos estavam preenchidos com depósitos, enquanto que na Barragem de Douglas, após nove anos de operação, 44 % dos drenos estavam preenchidos com depósitos carbonáticos (Lacy e Van Schoick, 1967 [1]). Na Tabela 1 apresenta-se uma relação desses casos, conjuntamente com outros vivenciados pelo autor.

Para as barragens localizadas no Centro-Sul do Brasil, em região de derrames basálticos, importante destacar que para aquelas com sistemas de drenagem bem executados e mantidos, o percentual de drenos obstruídos foi de apenas 2% a 5%, após 10 anos de operação. Já aquelas que tiveram problemas de inundação da galeria ao final da construção, ou com drenos localizados dentro do canaleta de drenagem, o percentual de drenos obstruídos atingiu valores de 50% a 70%, após poucos anos em operação.

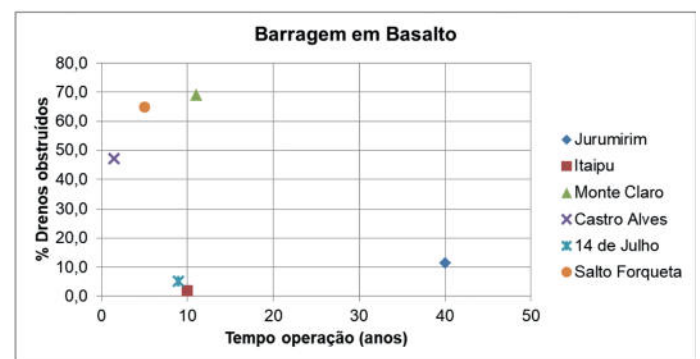


FIGURA 1 – Barragens de concreto sobre maciços basálticos

Barragem	Fundação	Tempo de operação (anos)	Percentual de drenos colmatados	Tipo de obstrução (material)	Medida corretiva
Fontana	quartzito	8	45	partículas sólidas	
Hiwassee	quartzito e xistos	9	44	partículas sólidas	
Douglas	dolomito	6	44	crostas carbonato	(*)
Jurumirim	basalto c/ diques diabásio	40	11,3	partículas sólidas	lavagem dos drenos
Itaipu	basalto	10	2 (*)	pó, pedra e carbonato	
Dona Francisca	arenito/basalto	2	--	pó e pedra sólidas (**)	
Monte Claro	basalto	11	69	partículas sólidas	
Castro Alves	basalto	1,5	47	partículas sólidas	
14 de Julho	basalto	9	5	partículas sólidas	
Salto Forqueta	basalto	5	65	partículas e blocos rocha	reperfuração
Barragem X1	meta-calcário e meta-siltito	0,4	--	crostas carbonato	
Barragem X2	migmatito	2	70 (*)	crostas carbonato	reperfuração drenos
Barragem X3	riolito e gnaiss	1	12,5	carbonato cálcio	

TABELA 1 – Barragens com perda de eficiência dos sistemas de drenagem

(*) Representa o percentual de drenos com obstrução, mas não o comprimento de drenos obstruídos

A Barragem X2, localizada em região de migmatito, apresentou cerca de 70% dos drenos com obstrução em virtude da rápida deposição de carbonato de cálcio devido ao alto teor de carbonato de cálcio nas águas de drenagem, o que consistiu em um caso único dentre os analisados. Importante destacar que esse percentual de 70% representa o total de drenos com alguma obstrução, mas não o comprimento total de drenos obstruídos (Figura 2).

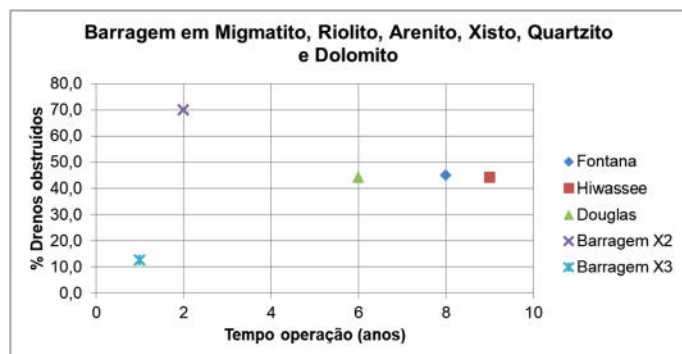


FIGURA 2 – Barragens de concreto sobre maciços de rochas granito-gnáissicas, sedimentares e metamórficas

- **Barragem de Fontana (USA):** Barragem de gravidade em CCV com início de operação em 1944, com 147 m de altura máxima e 721 m de comprimento. Drenos com Φ 3" a cada 3,0 m e com 15,0 m de profundidade. Cortina de injeção com 46 m de profundidade.

Em 1952, a investigação da profundidade dos drenos de fundação revelou que 45 % de sua extensão estava comprometida com sedimentos, ao mesmo tempo em que se verificou um aumento gradual das subpressões e redução das vazões de drenagem. Na fundação do bloco B26, as subpressões atingiam maiores valores, o que causou a reperfuração de todos os drenos de fundação em 1953, com sonda rotativa com coroa diamantada. Em 1956, novos furos de drenagem foram executados no B26, desta vez mais profundos e inclinados para jusante a partir da galeria de drenagem. O tratamento extensivo do maciço rochoso de fundação, que havia sido executado a jusante desses blocos, através de furos de injeção de cimento, foi considerado como o responsável por certo bloqueio do fluxo de água, causando esse aumento de subpressões a jusante.

- **Barragem de Hiwassee (USA):** Barragem de gravidade em CCV com início de operação em 1940, com 94 m de altura máxima e 419 m de comprimento. Drenos com Φ 3" a cada 2,4 m e com 12,0 m de profundidade. Cortina de injeção com 24 m de profundidade.

No início da década de 40, as subpressões na fundação do bloco 7, na ombreira direita, começaram a indicar certa elevação, na metade jusante do bloco. Em 1949 constatou-se aumento de cerca de 10 % em relação aos três anos anteriores. As subpressões foram aliviadas através de um leque de drenos executados a partir do pé de jusante, como mostrado na Figura 3, na qual são apresentadas as subpressões medidas antes e após a execução dos drenos. Conforme referência [1], a causa desse aumento de subpressão não chegou a ser determinada.

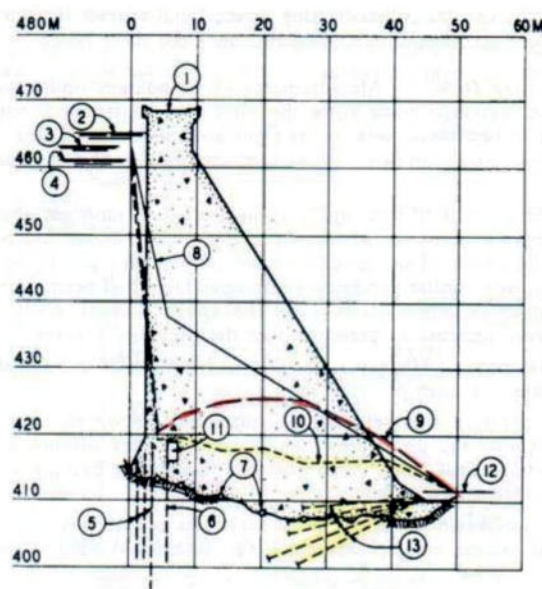


FIGURA 3 – Seção da barragem de Hiwassee, bloco B7, com nível das subpressões antes (9) e após (10) o leque de drenos a jusante (Ref. [1])

- **Barragem de Douglas (USA):** Barragem de gravidade em CCV com início de operação em 1943, com 62 m de altura máxima e 520 m de comprimento. Drenos com Φ 3" a cada 2,4 m e com 12,0 m de profundidade. Cortina de injeção com 61 m de profundidade.

Pouco tempo após a barragem ser posta em operação, passou-se a observar a deposição de carbonato de cálcio nos drenos de fundação. Em 1950, após seis anos em operação, uma quantidade significativa de carbonato havia se depositado nos drenos. Em 1953, as subpressões continuavam, gradualmente, a incrementar, com redução das vazões de infiltração. Constatou-se, na época, que 44 % da extensão dos drenos apresentavam deposição de material carbonático. Em 1957, as subpressões eram ainda inferiores aos valores de projeto, mas o aumento de subpressões a jusante do bloco B11 causou reperfuração de drenos para assegurar que toda deposição de carbonato de cálcio fosse removida.

(Figura 4). Tomou-se a decisão de perfuração dos drenos em profundidade, provavelmente mais 1,0 a 2,0 m, com resultados satisfatórios, observados através do aumento da vazão, assim como da quantidade de drenos vertendo água.

- Ibitinga: 1969-1982 (13 anos de observação)
- Barra Bonita: 1966-1983 (17 anos de observação)
- Jupiá: 1969-1981 (12 anos de observação)
- Ilha Solteira: 1973-1981 (8 anos de observação)

Constatou-se, então, que com exceção de alguns piezômetros localizados em uma “junta-falha” mais profunda, na fundação da Barragem de Ibitinga, que acusou elevações piezométricas da ordem de 2 a 7 m.c.a. (metros de coluna d’água), todos os demais instrumentos apresentaram-se estabilizados, ou indicaram pequenas reduções de subpressão com o tempo. Uma vez que o aumento de subpressões na fundação da Barragem de Ibitinga não foi atribuído à perda de eficiência do sistema da drenagem, os drenos de fundação não atingiram o nível da referida “junta-falha”.

- **Barragem de Concreto de Jurumirim (Brasil):** Barragem de gravidade em CCV com início de operação em 1962, com 53,0 m de altura máxima e 390 m de comprimento. Drenos de fundação com Φ 21/2” a cada 3,0 m e com 10 a 22 m de profundidade.

Em 2004, após 40 anos da barragem em operação, passou-se a investigar melhor as características da fundação, pois as baixas vazões pelo sistema de drenagem da fundação levantaram suspeitas sobre sua eficiência. Cabe salientar que na época da construção o maciço rochoso de fundação foi prospectado através de sondagens com apenas Φ 3/4” e Φ 7/8” de diâmetro.

Decidiu-se, então, proceder à execução de três furos de sondagem rotativa Φ 86 mm, com recuperação de testemunhos e com execução de ensaios de perda d’água a cada 3,0 m, com os seguintes objetivos básicos:

FIGURA 4 - Seção da Barragem de Douglas, bloco B11, com nível das subpressões antes (9) e após (10) reperfuração dos drenos (Ref. [1])

Há cerca de 40 anos, com a colaboração da CESP (Companhia Energética de São Paulo), foi feita uma análise das subpressões nas fundações das seguintes barragens da bacia do Alto Paraná, fundadas em maciços basálticos:

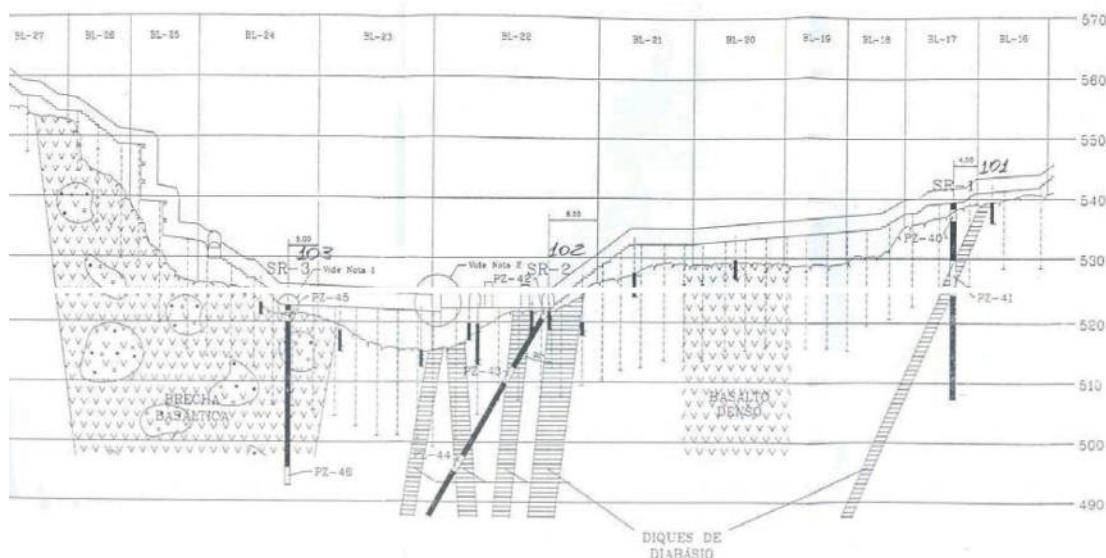


FIGURA 5 - Seção geológica longitudinal de projeto, com a localização das novas sondagens e piezômetros de fundação (Ref. [10])

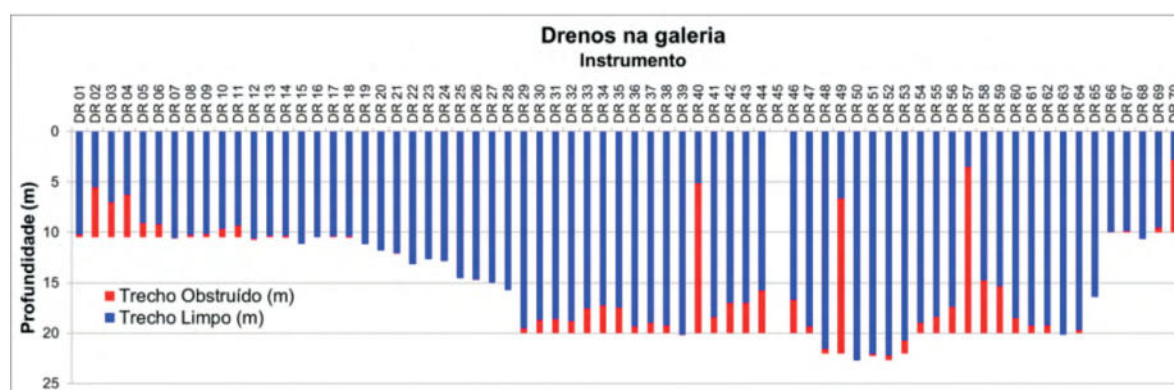


FIGURA 6 – Profundidade dos drenos após 40 anos de operação – Barragem Jurumirim

Com relação aos diques de diabásio, pôde-se constatar que não ocorriam diques com 1,0 a 3,0 m de espessura, conforme informações de projeto, mas sim pequenos diques com espessuras de alguns centímetros a poucos decímetros apenas (média de 0,30 m). Algumas fissuras no basalto apresentavam-se com material betuminoso, geralmente com espessura da ordem de 1,0 mm no máximo, o qual não teria, em seu estado natural, como se deslocar para os drenos de fundação. Os ensaios de perda d'água executados durante as sondagens vieram confirmar, quase em todos os trechos ensaiados, perda de água nula e maciço rochoso de fundação praticamente impermeável, em sintonia com as baixas vazões do sistema de drenagem.

Procedeu-se também uma operação geral de medição da profundidade dos drenos e de limpeza dos mesmos com jatos de água sob pressão de 0,30 MPa para os blocos do leito do rio. Constatou-se que 11,3 % deles apresentavam obstruções após 40 anos de operação (Figura 6).

- **Barragem Principal de Itaipu (Brasil/Paraguai):** Barragem de gravidade aliviada em CCV com início de operação em 1982, com 180 m de altura máxima e 612 m de comprimento. Drenos profundos entre a superfície e os túneis de drenagem na fundação com Φ 4" a cada 2,0 m, com profundidade variadas (20 a 60 m). Cortina de injeção com profundidades similares.

A primeira operação de limpeza do sistema de drenagem foi realizada entre setembro de 1991 e outubro de 1993, média de 10 anos após o enchimento do reservatório. Consistiu na verificação da profundidade dos drenos e na lavagem com jato de água sob pressão com nova determinação da profundidade após a inspeção [11]. Foi constatada nessa operação apenas 2,0 % de drenos com alguma obstrução, não tendo sido realizada nenhuma reperforação de dreno na época.

Tipo de dreno	Total drenos	Obstruídos	Porcentagem (%)
Drenos normais sem interligação com os túneis	2006	38	1,9
Drenos do piso dos túneis	332	17	5,1
Drenos do teto dos túneis	322	8	2,5

TABELA 2 – Barragem de Itaipu /Drenos obstruídos após 11 anos de operação

A maior porcentagem de drenos obstruídos no piso dos túneis de drenagem refletiu, provavelmente, nos materiais carreados para o seu interior durante a eventual inundação dos túneis por ocasião do período construtivo, quando o sistema definitivo de bombeamento não estava ainda instalado. Para os demais drenos, entretanto, o percentual obstruído em 11 anos foi da ordem de apenas 2 %, não tendo maiores consequências nas subpressões medidas pela piezometria.

Em 1999 e 2002 foram realizadas novas operações de limpeza, mas os resultados obtidos foram muito pouco conclusivos em termos de drenos obstruídos, pois não houve comparação de profundidade dos drenos antes e após limpeza. Houve apenas medição de NA nos drenos e medição de vazão antes e após com resultados muito dispersos e pouco conclusivos [12]. Em termos de redução das vazões de drenagem, na Barragem Principal de Itaipu, localizada inteiramente sobre derrames basálticos, a redução de vazão nos túneis de drenagem atingiu cerca de 40 % após 20 anos de operação (1984/2004) através de um processo natural de deposição de sedimentação a montante.

- **Barragem Dona Francisca (Brasil):** Barragem de gravidade em CCR com enchimento do reservatório ao final de 2000, com 51 m de altura máxima e 610 m de comprimento, com 335 m soleira vertente. O maciço rochoso de fundação é constituído por arenitos, com intercalações de argilito e siltito, com rocha basáltica nas ombreiras.

Logo após o enchimento do reservatório foi realizada uma operação geral de limpeza dos drenos de fundação com água e ar sob pressão, removendo dos drenos material arenoso na região do leito do rio, e nas ombreiras, material de cor mais escura, proveniente do basalto, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8. Não se dispõem de informações nessa barragem sobre a verificação da profundidade dos drenos antes e após essa operação de limpeza, assim como sobre seu reflexo nos níveis piezométricos e nas vazões de drenagem na galeria.

Como essa operação de limpeza foi realizada logo após o término da construção, os materiais são provenientes da própria perfuração dos drenos ou de eventual inundação da galeria durante a construção, quando o sistema de esgotamento definitivo não estava ainda instalado.



FIGURA 7 – Material retirado dos drenos na região em arenito



FIGURA 8 – Material retirado dos drenos nas ombreiras (basalto)

- **Barragem de Castro Alves (Brasil, RS):** Barragem de gravidade em CCR com enchimento do reservatório no início de 2008, com 45 m de altura máxima e 350 m de comprimento, sendo 240 m soleira vertente.

O maciço rochoso de fundação é constituído por derrames basálticos da Formação Serra Geral. Após o enchimento do reservatório, passou-se a observar que sete piezômetros de fundação, ou seja, 41% do total, indicavam níveis acima dos Valores de Atenção de projeto.

Cerca de 100 drenos de fundação com profundidades da ordem de 26 m foram submetidos a uma operação de limpeza através da injeção de água sob pressão de 200 m.c.a. (metros de coluna d'água), retirando-se cerca de 0,6 m³ de lama e pó de pedra dos drenos. Cabe ressaltar que em 2007, durante a construção da barragem em CCR, a mesma foi galgada por três vezes em função da rápida subida do NA no Rio das Antas (RS), em região montanhosa. Essa operação de limpeza foi realizada em setembro de 2009, após 1,5 anos em operação, tendo sido bem sucedida. Ao final se constatou que 94 % dos drenos estavam limpos, sendo que 6 % estavam com obstrução mínima no fundo (Figura 9).

- **Barragem de Monte Claro (Brasil, RS):** Barragem de gravidade em CCR com enchimento do reservatório ao final de 2004, com 25 m de altura máxima e 250 m de comprimento, sendo 160 m em soleira vertente. O maciço rochoso de fundação é constituído por derrames basálticos da Formação Serra Geral.

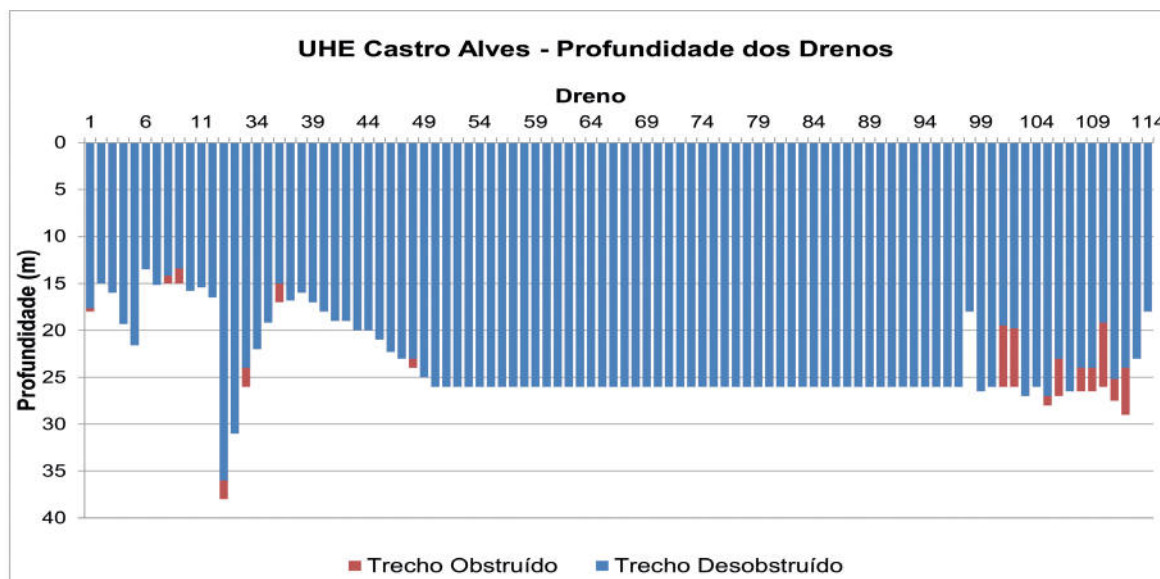


FIGURA 9 – Profundidade dos drenos após limpeza - UHE Castro Alves [12]

As tubulações de drenagem da barragem em CCR e da fundação da UHE Monte Claro passaram a apresentar indícios de carbonatação desde o início da operação, assim como sintomas da presença de ferro-bactérias em alguns locais da galeria. Nesse período, realizaram-se algumas limpezas e troca de tubulação, como mostrado a seguir (Figuras 10 e 11).



FIGURA 10 – Tubulação de drenagem do CCR parcialmente obstruída por carbonato de cálcio (JUN/2010)



FIGURA 11 – Detalhe de dreno com seção bem comprometida pela carbonatação (JUN/2010)

Um total de 57 drenos de fundação com profundidades da ordem de 15 m foram submetidos à injeção de água sob pressão de 25 e 50 m.c.a. (metros de coluna d'água), retirando-se cerca de 1,0 m3 de pó de pedra e pequenos fragmentos de rocha, provavelmente resultantes da inundação da galeria durante o final da construção. O resultado dessa operação de limpeza e reperfuração de drenos nessa usina foi muito bom, pois ao final se constatou que 95% deles apresentavam desempenho adequado.

- **Barragem 14 de Julho (Brasil, RS):** Barragem de gravidade em CCR com enchimento do reservatório ao final de 2008, com 42 m de altura máxima e 395 m de comprimento, sendo 200 m em soleira vertente. O maciço rochoso de fundação é constituído por derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Em 2017, ou seja, após nove anos de operação, houve uma verificação da profundidade dos 97 drenos de fundação, constatando-se que apenas 5% apresentavam obstrução na barragem, exceto na fundação do vertedouro, onde 36% estavam obstruídos por terem sido perfurados a partir do piso das adufas. Foi recomendada, então, uma operação de limpeza e reperfuração, a qual foi realizada no início de 2019, injetando-se água sob pressão de 200 m.c.a. (metros de coluna d'água). Foi retirado cerca de 0,6 m3 de lama e pó de pedra dos drenos. O resultado final dessa operação de limpeza e reperfuração de drenos na UHE 14 de Julho foi bem sucedido, pois ao final se constatou que 94% dos drenos estavam desobstruídos (Figura 12).

- **Barragem Salto Forqueta (Brasil):** Barragem em concreto ciclópico com início de operação em 2003, com 25 m de altura máxima e 165 m de comprimento, com 98 m soleira vertente. O maciço rochoso de fundação é constituído por derrames basálticos da Formação Serra Geral. Os drenos de fundação foram perfurados com Φ 60 mm, espaçados a cada 3,0 m.

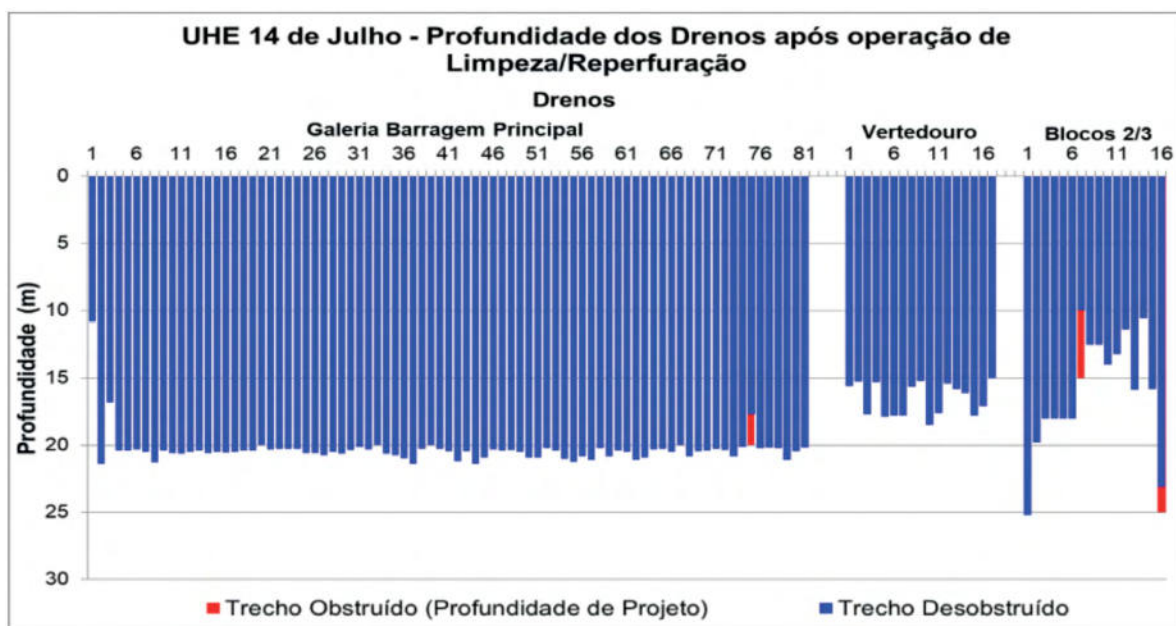


FIGURA 12 – Profundidade dos drenos após operação de limpeza/reperfuração - UHE 14 Julho

Teve-se a oportunidade de inspecionar essa barragem em março de 2008, após cinco anos de operação, constatando-se que os drenos tinham sido executados dentro do canaleta de drenagem. Como não havia sido realizado o prolongamento de suas tubulações acima do piso do canaleta, os mesmos estavam recebendo todo tipo de material sólido acumulado durante as limpezas da galeria.

Recomendou-se, então, a limpeza dos mesmos, empregando-se lavagem com água sob pressão, visto que a maioria estava com grandes trechos obstruídos. Havia um trecho com 22 m de extensão na galeria sem nenhum dreno. O total de drenos obstruídos após cinco anos em operação atingiu 65,2 % da barragem, conforme a Figura 13.

pelo autor em outras barragens. Uma explicação provável foi atribuída à rápida carbonatação observada em alguns drenos de fundação totalmente carbonatados poucos meses após o enchimento do reservatório.

- **Barragem X2 (Brasil):** Barragem de gravidade em CCR com enchimento do reservatório em 2016, com 70 m de altura máxima e 630 m de comprimento. Drenos com Φ 4" a cada 3,4 m e com cerca 20,0 m de profundidade, interligando o piso da galeria ao túnel de drenagem na fundação.

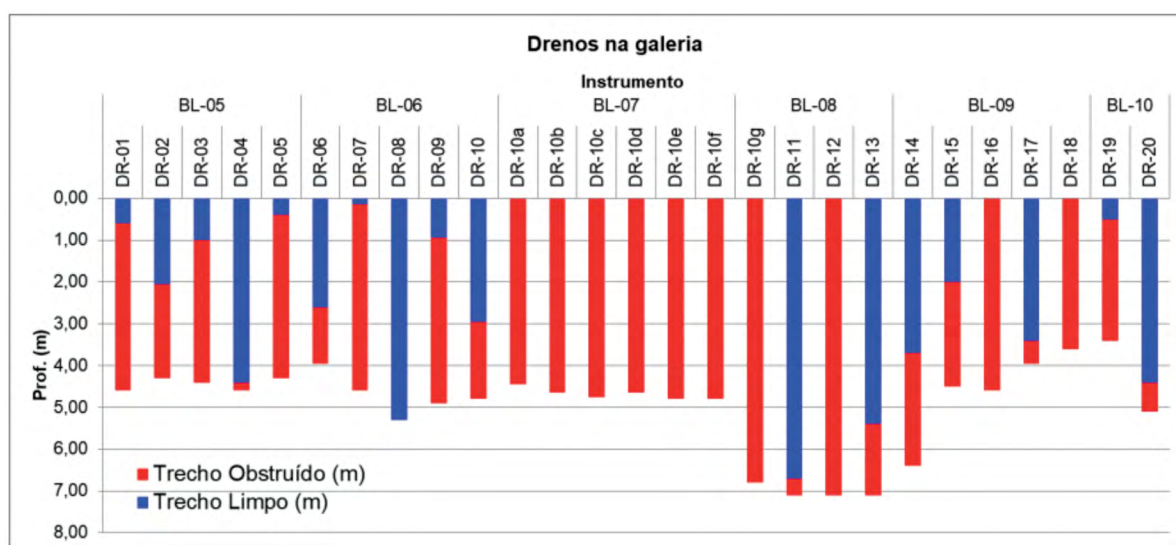


Figura 13 – Profundidade dos drenos antes da operação de limpeza - PCH Salto Forqueta

- **Barragem X1 (Brasil):** Barragem de gravidade em CCV com início de operação em 2016, com 44 m de altura máxima e 175 m de comprimento. Drenos com Φ 3" a cada 3,0 m e com 20 m de profundidade.

Essa barragem localiza-se em região de rochas metamórficas constituídas por uma intercalação de camadas de metacalcário com meta-siltito, com acamamento vertical e orientado aproximadamente paralelo ao eixo da barragem. Por razões de cronograma de obra, decidiu-se realizar a cortina de injeção de cimento a partir de uma laje de concreto (plinto) a montante.

Logo após o enchimento do reservatório, os drenos de fundação apresentaram altas infiltrações, registrando vazão máxima de 1.520 l/min, o que correspondeu a uma vazão específica $Q_{sp}=15$ l/min/m, valor considerado bem alto. Apenas dois meses após, essa vazão havia apresentado uma redução para 820 l/min, e um ano após, para 270 l/min, ou seja, apenas 18% da vazão inicial, sem qualquer tratamento. Redução rápida de vazão como essa nunca foi registrada

O maciço de fundação é constituído por migmatito, que é um tipo de gnaiss, constituído na fundação da barragem por rocha sã, pouco fraturada e de ótima qualidade. Entretanto, um ano após o enchimento do reservatório começaram a surgir alguns drenos de fundação vertendo água na galeria, confirmando que já estavam obstruídos- caso contrário, a água deveria estar sendo drenada para o túnel de drenagem. Sinais de carbonatação eram observados tanto na saída dos drenos de fundação (não interligados ao túnel) quanto em alguns drenos no teto do túnel. Cerca de dois anos após o enchimento do reservatório foi feita uma investigação sobre a profundidade dos drenos com uma haste apropriada. Constatou-se que 70% dos drenos apresentavam obstruções em seu interior, necessitando reperforação.

- **Barragem X3 (Brasil):** Barragem de gravidade em CCV com enchimento do reservatório em outubro de 2017, com 25 m de altura máxima e 220 m de comprimento. Drenos com Φ 4" a cada 4,8 m e com 18,0 m de profundidade. Cortina de injeção com 20 m de profundidade.

De um total de 62 drenos de fundação, pode-se verificar, um ano após o enchimento, que 12,5% deles apresentavam obstrução, sendo que alguns aparentemente não haviam sido perfurados até a profundidade de projeto (Figura 14). Recomendou-se, então, que todo dreno com menos de 18 m de profundidade fosse submetido a uma operação geral de limpeza, injetando-se água e ar sob pressão a partir da extremidade inferior (ou reperfuração, caso a limpeza não se mostrar eficiente).

fazendo-se necessária a operação de limpeza e de reperfuração de drenos de fundação antes de a estrutura ter completado dois anos do enchimento do reservatório.

A experiência americana, particularmente do TVA (Tennessee Valley Authority), tem mostrado que barragens localizadas sobre rochas do tipo quartzito, xisto ou granito-gnaiss com falhamentos podem apresentar 40% a 50% de trechos nos drenos de fundação obstruídos após oito a 10 anos de operação.

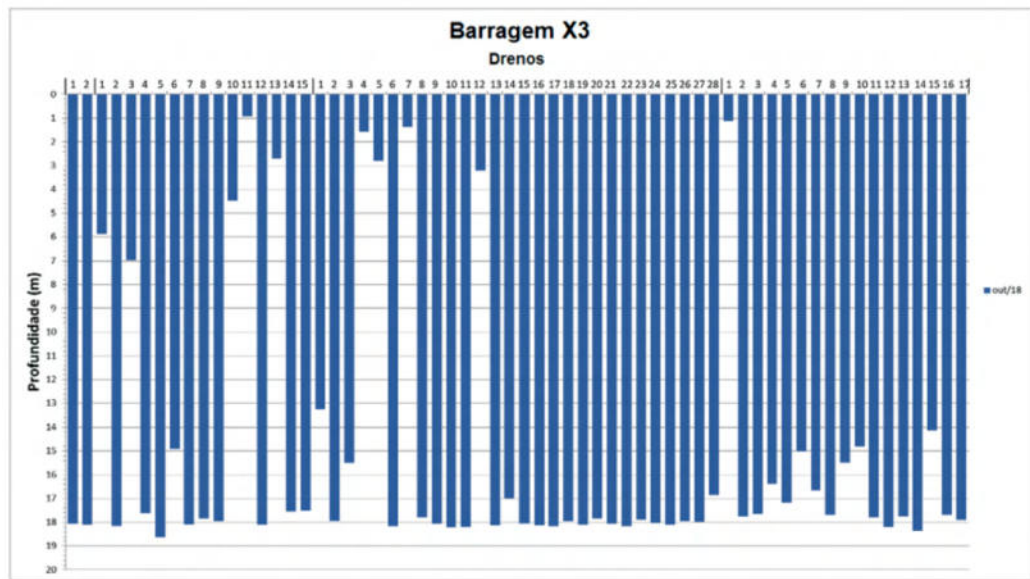


FIGURA 14 – Comparação da profundidade dos drenos de fundação - Barragem X3

3. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Tendo por base a experiência no acompanhamento detalhado de inspeção e limpeza dos sistemas de drenagem da fundação de um total de 13 barragens de concreto, procurou-se verificar o desempenho ao longo do tempo, confirmar as técnicas empregadas em sua recuperação e quais os materiais (geralmente) encontrados no interior dos drenos.

Para as barragens localizadas na região Centro-Sul do Brasil, tendo como rocha de fundação os derrames basálticos da Formação Serra Geral, importante destacar que para aquelas com sistemas de drenagem bem executados e mantidos, o percentual de drenos obstruídos foi de apenas 2% a 5%, após 10 anos de operação (Figura 1).

Já aquelas que tiveram problemas de inundação da galeria ao final da construção, ou com drenos localizados dentro do canaleta de drenagem, o percentual de drenos obstruídos atingiu valores de 50% a 70%, poucos anos após o enchimento do reservatório. Na Figura 2 apresentam-se resultados para barragens de concreto sobre tipos diversos de maciços rochosos.

Em barragens localizadas sobre rochas metamórficas (tipo meta-calcário) e migmatito verifica-se a rápida obstrução dos drenos de fundação pela deposição de carbonato de cálcio,

Com uma boa investigação imediatamente após o enchimento do reservatório, as operações de limpeza dos drenos de fundação podem ser feitas com as seguintes frequências:

Maciço Rochoso de Fundação	Frequência Recomendada*
Barragens na região Centro-Sul sobre derrames basálticos e sistemas de drenagem bem executados	A cada 10 anos
Barragens sobre rochas graníticas, sedimentares e metamórficas	A cada 5 anos
Barragens sobre rochas graníticas, sedimentares e metamórficas com elevado teor de cálcio	A cada 2 anos
Barragens sobre rochas tipo calcário ou dolomito	A cada 2 a 3 anos

TABELA 3 - Frequência recomendada para limpeza de drenos para diferentes situações

(*) Essas frequências deverão ser acompanhadas através de seus reflexos nas vazões de drenagem, subpressões na fundação da barragem e inspeções visuais de campo, podendo ser alteradas sempre que necessário.

Uma das principais questões com relação às subpressões em fundações de barragens de concreto diz respeito à possibilidade de perda de eficiência do sistema de drenagem durante a vida útil da obra, o que vem enfatizar a importância da instrumentação da fundação das barragens com piezômetros *standpipe* e medidores de vazão nas galerias de drenagem.

4. PALAVRAS-CHAVE

Cortina de drenagem; subpressão, instrumentação, piezometria, obstrução de drenos, eficiência na drenagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LACY JR, P.; VAN SCHOICK, L. (1967) - "T.V.A. Concrete Gravity Dams Uplift Observations and Remedial Measures", Anais IX Congresso ICOLD, Q.32, R.30 - Istambul;

[2] OLIVEIRA, A.M.S.; SILVA, R.F.; GUIDICINI, G. (1976) - "Comportamento Hidrogeotécnico dos Basaltos em Fundações de Barragens", Anais I Congresso Brasileiro da ABGE, Vol. II- Rio de Janeiro;

[3] RHODES, J.; DIXON, N. (1976) - "Performance of Foundation Drain Systems for Concrete Gravity Dams", Anais XII Congresso ICOLD, Q.45, R.5- México;

[4] CRUZ, P.T.; SILVA, R.F. (1978) - "Uplift Pressures at the Base and in the Rock Basaltic Foundation of Gravity Concrete Dams", Anais Int. Symp. on Rock Mechanic Related to Dam Foundations, ISRM, Tema III- Rio de Janeiro;

[5] ALVES FILHO, A.; SILVEIRA, J.F.A.; GAIOTO, N.; PINCA, R.L. (1980)- "Controle de Subpressões e de Vazões na Ombreira Esquerda da Barragem de Água Vermelha - Análise Tridimensional de Percolação pelo MEF", XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Anais Volume II, Tema IV, Abril, Rio de Janeiro, RJ;

[6] SILVEIRA, J.F.A.; MIYA, S.; CARDIA, R.J.R. (1981)- "Análise do Comportamento Hidrogeotécnico do Maciço Basáltico de Fundação das Estruturas de Concreto da Usina de Água Vermelha", Anais XIV SNGB, Tema II, Vol. VI- Recife, PE;

[7] PAES DE BARROS, F.; SILVEIRA, J.F.A.; ABRAHÃO, R.A.; (1982)- "Fundações da Barragem Principal de Itaipu: Projeto e Desempenho Durante a Construção e Enchimento Parcial", Anais VII COBRAMSEF, Tema IV, Vol. VI, Recife, PE;

[8] ABRAHÃO, R.A.; SILVEIRA, J.F.A.; PAES DE BARROS, F. (1983)- "Itaipu Main Dam Foundation: Design and Performance During Construction and Preliminary Filling of the Reservoir", Proc. 5th ISRM Congress- Melbourne, AUS;

[9] GUIDICINI, G.; ANDRADE, R.M. (1983)- "Considerações sobre o Tratamento das Fundações de Estruturas Hidráulicas em Basaltos", Anais do Simp. Geotecnia da Bacia do Alto Paraná, Tema II A, Vol. I A- São Paulo, SP;

[10] SANTOS R.P.; PEREIRA, P.N.; SILVEIRA, J.F.A. (2006) - "Importância da Re-Instrumentação de Barragens – Experiência com a Barragem de Jurumirim", III Simpósio sobre a Instrumentação de Barragens - CBDB, 12 a 14 de Setembro, São Paulo, SP;

[11] BETIOLI, I.; PORTO, E.C.; PIASENTIN, C.; SILVEIRA, J.F.A.; SUCHAROV, M. (1999) - "Comportamento das Estruturas de Concreto da Usina Hidrelétrica de Itaipu após 16 anos de Operação", XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Anais Volume I, Março, Belo Horizonte, MG;

[12] SILVEIRA, J.F.A. (2017)- "Experiência na Operação de Limpeza de Drenos de Fundação em três Barragens de CCR", Anais XXXI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte, MG.



João Francisco Alves SILVEIRA

Atua na área de Instrumentação e Segurança de Barragens desde 1973. Presidiu a Comissão Internacional da ICOLD- *Ad Hoc Committee on Small Dams* entre 2005 e 2011, publicando o Boletim no 157. É autor de dois livros técnicos sobre Instrumentação e Segurança de Barragens de Concreto e Terra, editados em 2003 e 2006, assim como de 132 trabalhos técnicos publicados.

MODELO QUANTITATIVO PARA A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE *PIPING* EM BARRAGENS DE TERRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Francisco Hiago GOMES | Mestre em Geotecnia - Companhia de Gestão do Recursos Hídricos do Ceará (COGERH)

Silvrano Dantas NETO | Doutor em Geotecnia - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Vanda MALVEIRA | Doutora em Recursos Hídricos - Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

RESUMO

Este trabalho propõe um modelo quantitativo para a probabilidade de ocorrência de *piping* em barragens de terra do semiárido nordestino por meio de um modelo baseado em uma abordagem fuzzy. O intuito é usar o produto da análise como uma ferramenta de suporte para a tomada de decisões sobre intervenções em barragens. O modelo proposto utiliza um controlador Mamdani e é fruto de uma análise realizada por um sistema especialista onde são consideradas as características do material do maciço, o nível do reservatório, o tempo, a situação estrutural da barragem e a visão dos modeladores. O modelo foi aplicado para validação nas barragens Cipoada, Martinópolis e Quandú. Os resultados fornecidos pelo modelo demonstram que a probabilidade de ocorrência de *piping* preenche uma lacuna existente na análise qualitativa, permitindo estabelecer uma priorização e um planejamento para manutenções.

ABSTRACT

This work proposes a quantitative model for the probability of piping occurring in earth dams in the northeastern semi-arid of Brazil, using a model based on a fuzzy approach, foccusing to use the product of the analysis as a support tool for decision making regarding to dam interventions. The model presented in this work uses a Mamdani controller and is the result of an analysis carried out by a specialist system, where the characteristics of the mass material, the level of the reservoir, the weather, the structural situation of the dam and the view of the modelers are considered. The validation is according to cases in the Cipoada, Martinópolis and Quandú dams. The results provided by the model demonstrate that the probability of the occurrence of piping fills a gap in the qualitative analysis, allowing to establish a prioritization and planning for maintenance.



1. INTRODUÇÃO

Barragens são obras destinadas à contenção de corpos d'água, podendo ser constituídas por diversos materiais e utilizadas para diferentes finalidades, como abastecimento, controle de enchentes, mineração, entre outras. No estado do Ceará, situado no semiárido brasileiro, há uma predominância em sua infraestrutura hídrica de barragens utilizadas, prioritariamente, para abastecimento humano. Devido à grande variabilidade da oferta hídrica disponível a cada ano, as barragens do semiárido nordestino são frequentemente submetidas a carregamentos e descarregamentos sucessivos. Nesse contexto, barragens de terra, que são construídas por materiais que podem apresentar significativa heterogeneidade, são submetidas a condições favoráveis ao desenvolvimento de anomalias.

Barragens de terra possuem, historicamente, grandes índices de ocorrência de incidentes relacionados a processos erosivos, destacando-se a ocorrência de *piping* como uma das principais causas de falhas nesse tipo de barragem [1]. Das falhas causadas por *piping*, a maioria ocorre pelo aterro [2].

Considerando a importância e a dimensão dessas grandes obras hídricas e a necessidade de fiscalização e auxílio aos proprietários, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instaurada pela Lei Federal nº 12.334, veio salientar a relevância da execução de inspeções de rotina e avaliações de segurança, visando a manutenção e preservação da barragem e de todos os seus usos [3]. O protocolo instaurado pela legislação fornece uma avaliação de risco que gera uma classificação qualitativa (alto, médio, baixo) para o mesmo. Esse tipo de análise dificulta o entendimento dos cenários de risco, tendo em vista que a classificação qualitativa impossibilita a ponderação de prioridades dentro de um mesmo grupo. Um fator agravante surge quando um grande número de barragens está sob a responsabilidade de um único empreendedor que poderá ter que realizar uma priorização para alocação de recursos de manutenção.

Com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento de uma ferramenta gerencial, privilegiada pelo embasamento científico e legal, capaz de dar suporte ao processo de tomada de decisões, atuando no auxílio da hierarquização de prioridades de intervenção em barragens do semiárido, foi desenvolvido um modelo quantitativo que gera como resposta um parâmetro representativo da probabilidade de ocorrência de *piping* (POP) nas estruturas analisadas. Esse modelo é baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* [4] [5], utilizando variáveis linguísticas em um processo inferencial executado por meio de um controlador do tipo *Mamdani* [6]. Para aplicação e validação do modelo foram selecionadas três barragens do estado do Ceará: Cipoada, Martinópolis e Quandú.

2. MECANISMO DE FORMAÇÃO DO PIPING

A anomalia *piping* é fruto da evolução de um processo erosivo de carreamento de material em uma barragem. Seu desenvolvimento depende de um alinhamento de condições relacionadas com a situação de carregamento e fluxo, com a situação física e operacional da barragem, com o Sistema de Drenagem Interna (SDI), se existir, e com o material constituinte do maciço. É uma erosão interna regressiva que inicia a jusante e caminha para montante dentro da barragem, caracterizada pela formação de tubos (pipes) conforme o material constituinte da barragem vai sendo carregado pela água. Essa migração de partículas forma uma pequena tubulação que altera a estrutura da barragem e torna-se um caminho preferencial para a passagem de água, causando instabilidade no maciço e podendo levá-lo à ruptura [7].

O desenvolvimento da anomalia *piping* em uma barragem de terra está diretamente relacionado com a mobilidade das partículas de solo. O requisito necessário para uma partícula se tornar móvel é que a força de arraste seja maior do que as forças que seguram a partícula dentro do solo, de modo que o grão possa se desprender de seu material de origem [8] [9]. As forças de resistência ao arraste dependem da coesão, do efeito de intertravamento e do peso das partículas do solo [9]. Quando a resistência ao arraste é superada, a partícula se moverá ao longo de um caminho que é predeterminado pela estrutura interna da camada (se o espaço vazio permitir).

A natureza do solo da barragem determina sua vulnerabilidade à erosão [1] [8] [10]. O deslocamento das partículas menores e mais finas, que apresentam menor resistência ao movimento, cria zonas de maior porosidade e permeabilidade dentro da massa de solo, causando o aumento do fluxo de água e da força de arraste atuando sobre o solo constituinte do maciço. A consequência é a ampliação da erosão. Pode-se concluir que os solos finos e não coesivos apresentam menor resistência ao carreamento e, portanto, maior susceptibilidade ao desenvolvimento de *piping*.

3. MODELO FUZZY DE QUANTIFICAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE PIPING EM BARRAGENS TERRA

Zadeh definiu que um conjunto *fuzzy* A em X é caracterizado pela função de pertinência $f_A(x)$ que associa a cada ponto em X um número real no intervalo $[0, 1]$, com o valor de $f_A(x)$ em x representando o “grau de pertencimento” de x em A [4]. Assim, quanto mais próximo for o valor de $f_A(x)$ da unidade, maior será o grau de pertencimento de x em A . As funções responsáveis

por caracterizar um conjunto *fuzzy* são denominadas funções de pertinência. Funcionam como uma ferramenta que permite estabelecer uma conexão entre conceito e valor, onde cada elemento do conjunto é associado a um grau de pertinência (pertencimento) entre zero e um.

Um modelo *fuzzy* descrito por variáveis linguísticas de entrada passa por um processo de inferência para gerar uma variável de saída, dentro do âmbito de um controlador *fuzzy*. Essa descrição conceitua um sistema de controle *fuzzy*, também denominado de sistema especialista, pois utiliza conhecimento e raciocínio de um especialista na composição do processo de inferência [6] [11]. Um sistema especialista baseado em regras *fuzzy* pode ser entendido como uma memória de trabalho, uma entrada (fuzzificação), uma coleção de regras (processo inferencial) e uma saída (defuzzificação) [11]. A Figura 1 apresenta um sistema *fuzzy* na forma de um controlador *Mamdani* que fornece como resposta um valor numérico representativo do conjunto *fuzzy* agregado resultante da ativação das regras no processo inferencial.

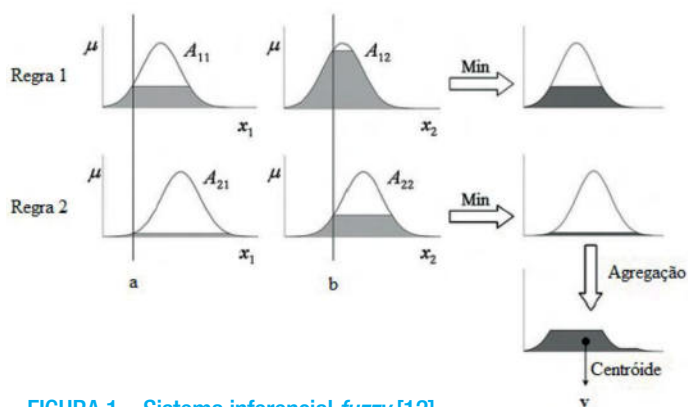


FIGURA 1 – Sistema inferencial *fuzzy* [12]

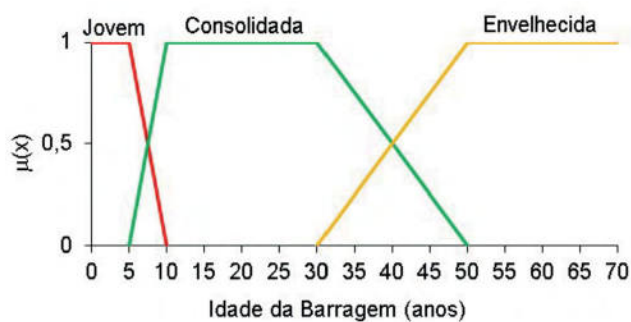
A fuzzificação dos dados é o primeiro passo para executar um sistema de controle *fuzzy*. Essa etapa pode ser entendida como o processo de transformar uma informação vaga em um conjunto *fuzzy* por meio de uma função de pertinência. Esse procedimento é realizado a partir do conhecimento de um especialista que deve julgar a melhor forma de enquadrar dados em variáveis linguísticas representativas do modelo.

O processo inferencial conecta as variáveis de entrada com a variável de saída a partir da ativação das regras de inferência, fornecidas por especialistas e armazenadas em uma base de conhecimento. Os valores das variáveis de entrada são associados de forma a gerar a resposta do modelo por meio das regras de inferência determinadas na base de conhecimento.

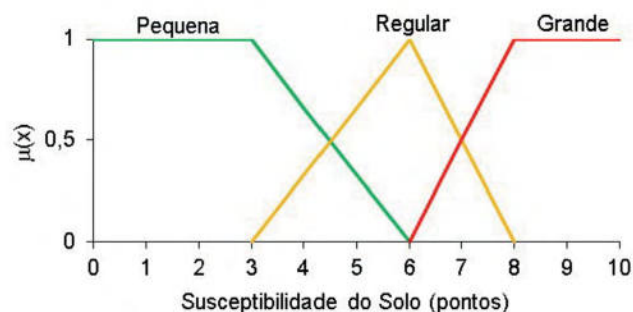
A etapa de defuzzificação consiste em transportar a variável resposta fuzzificada gerada pelo controlador para o domínio

discreto. A defuzzificação deve ser executada, pois em muitas aplicações práticas é necessária uma ação de controle discreta [13].

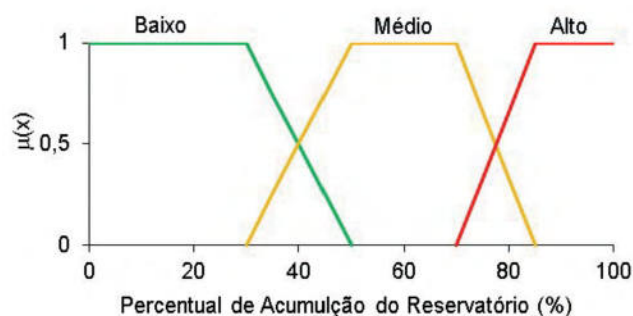
Para a elaboração do modelo de quantificação da probabilidade de ocorrência de *piping* em barragens de terra com os conjuntos *fuzzy* foram utilizados e analisados dados obtidos no Sistema de Informações dos Recursos Hídricos do Ceará, além das vistorias realizadas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) entre os anos de 2012 e 2019 nas barragens analisadas [14]. As variáveis de entrada selecionadas para o modelo proposto são: idade da barragem (IB), susceptibilidade dos solos ao *piping* (SS), percentual de acumulação do reservatório (PR) e nível de deterioração da barragem (ND). A probabilidade de ocorrência de *piping* (POP) é a variável de saída. As variáveis linguísticas fuzzificadas são representadas graficamente conforme a Figura 2.



(a)



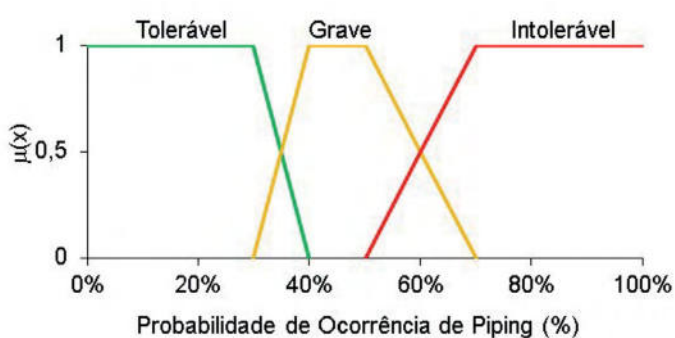
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 2 – Variáveis linguísticas de entrada e saída do modelo fuzzy proposto: idade da barragem (a), susceptibilidade do solo ao piping (b), percentual de acumulação do reservatório (c), estado de deterioração (d) e a probabilidade de ocorrência de piping (e)

Cada variável de entrada utilizada no desenvolvimento do modelo é representada por três conjuntos *fuzzy* constituindo variáveis linguísticas específicas. Tais conjuntos são definidos a partir da análise das informações coletadas por parte dos especialistas. Trata-se de uma análise subjetiva, razão pela qual a metodologia para a quantificação é baseada na fuzzificação das variáveis de entrada do modelo. Os conjuntos foram definidos com o intuito de abranger todos os cenários possíveis para as variáveis e diluir as imprecisões e incertezas pertinentes aos dados de entrada das mesmas.

A variável IB é fuzzificada com base nos intervalos descritos na Resolução nº 143/2012, que considera que a barragem apresenta maiores riscos nos dez primeiros anos e após 60 anos de operação [15]. A variável SS é fuzzificada de acordo com os dados da Tabela 1, propostos pelos autores, onde solos mais coesivos possuem menor susceptibilidade ao *piping* [10]. A variável PR é fuzzificada considerando que as condições de fluxo mais severas no interior da barragem acontecem quando ocorre ação da maior carga hidráulica aplicada à estrutura, o que se dá em maiores níveis de acumulação. A fuzzificação da variável ND é feita de acordo com as anomalias

observadas na estrutura do barramento, as quais recebem as pontuações apresentadas na Tabela 2. Por fim, a variável de saída POP é fuzzificada de acordo com a visão dos autores em relação à tolerabilidade do risco associado com a probabilidade de ocorrência de *piping* nas estruturas.

Solo	SC	CL	SM	ML	SC/SM	SC/ML	CL/SM	CL/ML
Pontuação	1	4	8	10	4,5	5,5	6	7

TABELA 1 – Pontuação para susceptibilidade ao *piping* para diferentes tipos de solo

Anomalias	Magnitude			
	I	P	M	G
Afundamentos e buracos no talude de jusante	0	1	2	3
Árvores e arbustos no talude ou região de jusante				
Erosões nas ombreiras ou nos encontros das ombreiras	1	2	3	4
Erosões ou escorregamentos no talude de jusante	1	2	4	8
Carreamento de material na água dos drenos				
Fuga d'água ou áreas úmidas no talude ou região de jusante	1	4	8	10

Onde: I = insignificante, P = pequeno, M = médio, G = grande

TABELA 2 – Pontuação para as anomalias do nível de deterioração da barragem

Para associar as variáveis de entrada com a variável de saída em um processo inferencial foram definidas 81 regras de inferência de forma a abranger todas as combinações de cenários possíveis. Para a determinação destas regras de inferência foi estabelecido um sistema de pesos para as variáveis de entrada. A cada variável de entrada é atribuído um grau de relevância (peso) em relação a formação de *piping*. A partir daí é possível fazer uma definição para a variável de saída, considerando a somatória dos pesos que representam os diferentes cenários.

Para exemplificar o funcionamento do sistema de pesos, apresentado na Tabela 3, considere o cenário: uma barragem “jovem”, com solo “grande” de susceptibilidade ao *piping*, com reservatório “baixo” e estado de “alerta” em relação a deterioração da estrutura. Somando os pesos referentes das variáveis de entrada definidos nesse cenário, soma-se 14 pontos, o que corresponde a resposta “grave” na variável de saída. Isso significa que a combinação dos conjuntos *fuzzy* de entrada ativa uma regra de inferência gerando como resposta um conjunto *fuzzy* de saída classificado como grave.

Idade da Barragem (IB)	Conjunto	Jovem	Consolidada	Envelhecida	ΣPesos	Resposta
	Peso	3	1	2		
Susceptibilidade do Solo ao <i>Piping</i> (SP)	Conjunto	Pequena	Regular	Grande	7-9	Tolerável
	Peso	1	2	3		
Percentual de Acumulação do Reservatório (PR)	Conjunto	Baixo	Médio	Alto	10-14	Grave
	Peso	2	4	6		
Nível de Deterioração da Barragem (ND)	Conjunto	Normal	Alerta	Crítico	15-21	Intolerável
	Peso	3	6	9		

TABELA 3 – Sistema de pesos (P) das variáveis de entrada e resposta da inferência

4. ESTUDO DE CASO E PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

4.1 BARRAGENS SELECIONADAS PARA APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para aplicação e validação do modelo proposto, foram selecionadas três barragens de terra inseridas no semiárido nordestino, de diferentes dimensões, idades e localizações no estado do Ceará. São elas: Cipoada, Martinópole e Quandú. A Tabela 4 apresenta algumas características técnicas das barragens.

Barragem	Solo	Possui SDI	Altura Máxima (m)	Capacidade (m³)
Cipoada	CL/ML	SIM	20,80	86.090.000
Martinópole	ML	NÃO	11,00	24.830.000
Quandú	SC/CL	SIM	19,50	3.370.000

TABELA 4 – Características técnicas das barragens analisadas

Entre os anos de 2012 e 2019 foi realizado um levantamento nos Relatórios de Segurança de Barragens da COGERH sobre anomalias no talude de jusante e na região a jusante da barragem. Tais aspectos podem estar relacionados com a ocorrência de *piping* na estrutura. Esse período foi escolhido pelo fato de o Ceará ter passado por uma severa estiagem entre os anos de 2012 e 2016. Essa situação gerou descarregamento e recarregamento nas estruturas das barragens, o que é uma condição propícia ao surgimento de anomalias.

4.2 DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROPOSTO

Definidas as variáveis de entrada e saída e a base de conhecimento constando as regras de inferência, o modelo pode ser alimentado com os valores das variáveis de entrada para gerar as respostas sobre a probabilidade de ocorrência de *piping* em cada caso. A Tabela 5 apresenta os valores utilizados para alimentar as variáveis linguísticas de entrada.

Ressalta-se que, no caso das três barragens analisadas, não foi possível localizar muitas informações relacionadas aos projetos das mesmas. Essa é uma realidade frequente e preocupante para empreendedores de um grande montante de barragens localizadas no semiárido nordestino. Para compatibilizar o modelo proposto com essa realidade, e permitir a criação de uma ferramenta de auxílio na tomada de decisões, foi considerado um cenário pessimista, onde os sistemas de drenagem interna dos maciços, nas barragens que os possuem, foram desconsiderados. Além disso, a possibilidade de ocorrência de *piping* pelo maciço só foi considerada em função da falta de mais informações sobre as fundações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definidas as variáveis linguísticas, a base de conhecimento para o processo inferencial e os dados para alimentar o modelo, viabiliza-se a execução das simulações referentes aos cenários observados. A probabilidade de ocorrência de *piping* nas estruturas é então fornecida como resposta. Essa probabilidade é uma representação quantificada dos fatores que podem indicar a presença de algum estágio da anomalia *piping* em desenvolvimento na barragem. A Figura 3 apresenta a evolução das probabilidades de ocorrência de *piping* nas três barragens analisadas durante o período de 2012 a 2019, além de evidenciar uma ordem de prioridades de intervenção considerando as probabilidades registradas em cada ano.

Barragem		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Cipoada	IB	20	21	22	23	24	25	26	27
	PR	15,73	7,54	10,24	2,97	0,45	3,47	7,99	10,24
	ND	10	8	8	8	8	8	10	11
	SS	7	7	7	7	7	7	7	7
Martinópolis	IB	28	29	30	31	32	33	34	35
	PR	27,15	21,10	12,37	13,26	11,01	24,43	51,14	87,63
	ND	18	7	11	2	10	10	5	16
	SS	10	10	10	10	10	10	10	10
Quandú	IB	22	23	24	25	26	27	28	29
	PR	88,84	52,43	22,65	92,44	82,58	93,16	98,20	99,64
	ND	10	2	2	4	1	1	15	14
	SS	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

TABELA 5 – Valores das variáveis de entrada do modelo proposto

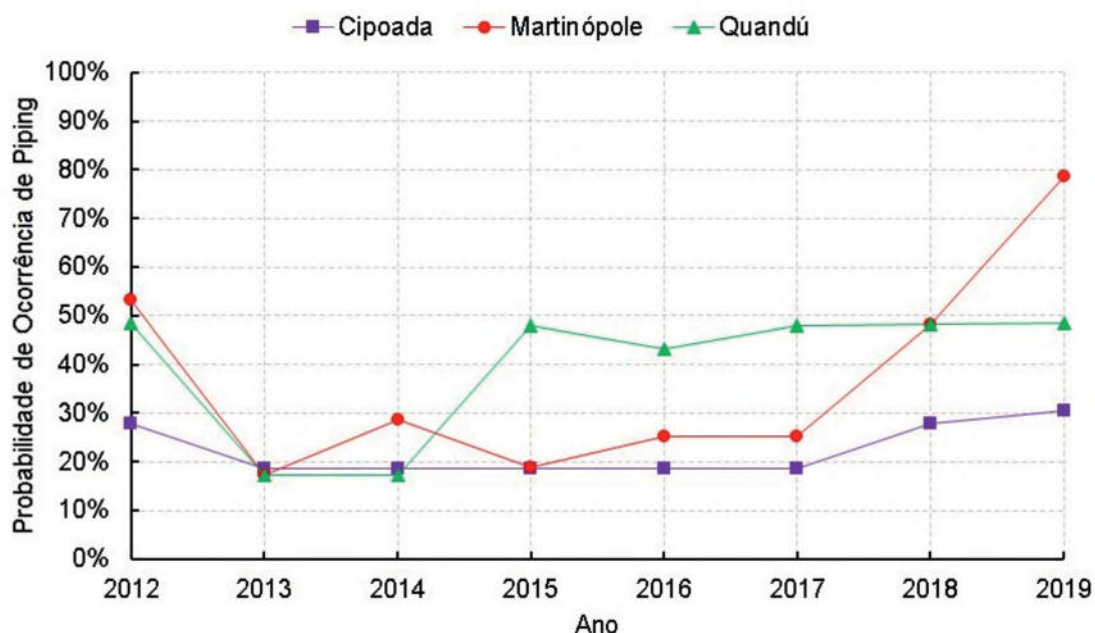


FIGURA 3 – Evolução da probabilidade de ocorrência de *piping* (POP) entre 2012 e 2019 nas barragens Cipoada, Martinópolis e Quandú

Analisando-se os resultados obtidos observa-se que a Barragem Quandú, a menos afetada no período de estiagem em relação ao volume armazenado a cada ano, manteve-se entre 2015 e 2017 com as maiores probabilidades de ocorrência de *piping*, mesmo com redução significativa na pontuação da variável ND, possivelmente associada a alguma manutenção realizada no reservatório.

Para a Barragem Martinópolis, que apresenta o solo com a maior susceptibilidade de ocorrência de *piping* entre as três barragens analisadas, constataram-se baixas probabilidades enquanto o nível do reservatório estava abaixo dos 20% de sua capacidade.

A partir do ano de 2018, os aportes recebidos foram capazes de recarregar o reservatório, elevando o nível a valores superiores a 50% e, consequentemente, aumentando a probabilidade de ocorrência de *piping*, chegando a quase 80% no ano de 2019.

A Barragem Cipoada, que não atingiu níveis superiores a 16% no período analisado, apresentou as probabilidades mais baixas em praticamente todo o intervalo de 2012 a 2019. Destaca-se, contudo, a elevação da probabilidade de ocorrência de *piping* nos anos de 2018 e 2019, associada ao aumento da pontuação na variável ND, que é representativa das condições físicas de manutenção e operação da barragem.

6. CONCLUSÕES

A proposta de quantificação da probabilidade de ocorrência de *piping* em barragens de terra no semiárido nordestino busca suprir a demanda de complementação requerida na análise qualitativa convencional, funcionando como subsídio para o correto planejamento e monitoramento dos riscos e diminuindo a incidência de casos que possam levar a acidentes mais graves.

As variáveis consideradas no modelo desenvolvido traduzem a complexidade da análise em um sistema de simples aplicação. As incertezas nos dados de entrada são absorvidas nos intervalos dos conjuntos *fuzzy* que compõem as variáveis linguísticas. Com o uso do modelo proposto, é possível visualizar a evolução da probabilidade de ocorrência de *piping* em cada uma das estruturas analisadas, permitindo a definição de prioridades ano a ano. Destaca-se a influência das condicionantes de fluxo (PR) e estrutural (ND) nas respostas do modelo. As maiores probabilidades de ocorrência de *piping* nas barragens analisadas foram obtidas a partir das elevações das pontuações da variável ND e, principalmente, da variável PR.

Se alimentado com dados atualizados e corretos, o modelo pode ajudar a produzir previsões baseadas no comportamento apresentado por cada barragem. Essas previsões também podem ser inseridas na gestão dos recursos e planejamento de atividades mitigadoras preventivas e corretivas nas barragens.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES, a UFC, a UVA e a COGERH pelo suporte ao desenvolvimento deste trabalho.

8. PALAVRAS-CHAVE

Piping, *fuzzy*, modelo quantitativo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNACIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). (2013) - Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations – Volume 1: Internal erosion processes and engineering assessment. Bulletin 120.
- [2] FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). (2015) - Evaluation and monitoring of seepage and internal erosion. Interagency Committee on Dam Safety (ICODS). U.S. Department of Homeland Security.
- [3] BRASIL. (2010)- Lei Federal nº 12.334. Presidência da República. Brasília: D.O.U. 09.20.2010.
- [4] ZADEH, L. A. (1964)- *Fuzzy Sets*. Information and Control, v. 8, p. 338-353.

- [5] ZADEH, L. A. (1975)- The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. information Sciences. v. 8, p. 199-249.
- [6] MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. (1975)- An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, v. 7, p. 1-13.
- [7] SOARES, J. P. R.; MALVEIRA, V. T. C. (2020)- Segurança contra o risco de *piping* em barragens de terra através da distribuição Weibull. *Essentia* (Sobral). v. 21, n. 2, p. 70-78.
- [8] KOVÁCS, G. (1981) - Developments in water science. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- [9] HUNTER, R. P. (2012)- Development of transparent soil testing using planar laser induced fluorescence in the study of internal erosion of filters in embankment dams. Masters Thesis- Master of Science in Engineering Geology, University of Canterbury.
- [10] SHERARD, J. L.; WOODWARD, R. J.; GIZIENSKI, S. F.; CLEVENGER, W. A. (1963) - Earth and earth-rock dams – Engineering problems of design and construction. John Wiley and Sons. New York.
- [11] BUCKLEY, J. J.; SILER, W.; TUCKER, D. (1986)- *A fuzzy expert system*. *Fuzzy Sets and Systems*. v. 20, p. 1-16.
- [12] BETTOCCHI, R.; PINELLI, M.; SPINA, P. R.; VENTURINI, M. (2007) - Artificial Intelligence for the Diagnostics of Gas Turbines— Part II: Neuro-Fuzzy Approach. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. v. 129, p. 720-729.
- [13] GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. (1994)- Modelagem, controle, sistemas e lógica *fuzzy*. *SBA Controle & Automação*. v. 4, p. 97-115
- [14] COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS (COGERH) (2012-2019). Relatórios de Segurança de Barragens – Risco e Inspeções. Fortaleza- CE, Brasil.
- [15] BRASIL. (2012)- Resolução N° 143. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de recursos Hídricos. Brasília: D.O.U. 11.17.2012.



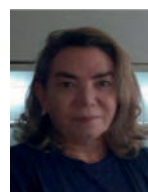
Francisco Hiago de Siqueira GOMES

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú e Mestre em Geotecnia pela Universidade Federal do Ceará. Desde de 2013 desenvolve pesquisas nas áreas de modelos quantitativos, risco em barragens e segurança de barragens. Atualmente é Coordenador do Núcleo de Operação da Gerência Regional de Sobral da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará.



Silvrano Adonias Dantas NETO

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre e Doutor em Geotecnia pela Universidade de Brasília. Possui Pós-doutorado pela University of Wollongong, Austrália. Atualmente é professor na Universidade Federal do Ceará, onde desenvolve pesquisas sobre aplicação de redes neurais artificiais em modelagens na engenharia civil, avaliação de risco de estruturas geotécnicas, estabilização de solos com materiais asfálticos, mecânica das rochas.



Vanda Tereza Costa MALVEIRA

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Foi Engenheira do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas por 26 anos. Atualmente é professora na Universidade do Vale do Acaraú na área de Solos. Atua nos seguintes temas: armazenamento superficial da água, semiárido, hidrologia, monitoramento e recuperação de barragens.



LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: DIFUSÃO DE AMBIENTE VIRTUAL PARA A REALIZAÇÃO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

Thaís ABATTI | Engenheira Civil – G5 Engenharia

Cícero ALBERTON | Diretor de Implantação – G5 Engenharia

RESUMO

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) desempenham um papel importante na matriz energética brasileira e possuem potencial para expandir ainda mais o sistema gerador nacional. No entanto, o Licenciamento Ambiental no Brasil é considerado um grande obstáculo para que a expansão da capacidade de geração oriunda de fonte hidráulica ocorra de forma previsível e dentro de prazos razoáveis. Em meio à pandemia (COVID-19), os empreendedores e os órgãos licenciadores enfrentaram desafios importantes para a realização das audiências públicas, evento que obrigatoriamente deve preceder a fase de licença prévia. O presente trabalho discorre sobre as medidas adotadas pelo setor para que as audiências públicas pudessem ser realizadas de forma virtual, analisa suas vantagens, desvantagens e oportunidades, e está subsidiado por estudo de caso referente ao licenciamento da PCH Paredinha.

ABSTRACT

Small Hydroelectric Plants play an important role in the Brazilian energy matrix and have potential to further expand within the national generator system. However, the Environmental Licensing in Brazil is considered a major obstacle for the expansion of the hydraulic power generation capacity, under the perspective of happen in a predictable way or reasonable periods. During the COVID-19 Pandemic, stakeholders faced important challenges to holding Public Hearings, an event that must precede the Preliminary Environmental License. This article presents the actions adopted by the sector that allows the Public Hearings proceed in a virtual way, discussing its advantages, disadvantages, risks and opportunities, subsidized by a real case study referring to the Licensing of PCH Paredinha.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil continua a apresentar uma matriz energética com forte predominância hidrelétrica através das grandes centrais (UHE) existentes no País, conforme indica o Relatório de Balanço Energético Anual 2020 [1]. Além desta fonte, compõem ainda a matriz as seguintes fontes de geração de eletricidade com relevância no cenário nacional: nuclear, termoeleétrica, PCH, biomassa, fotovoltaica e eólica. Com a latente necessidade de expansão do parque gerador para atendimento das demandas vindouras, a implantação de PCHs apresenta-se como uma solução complementar de grande relevância e valor agregado para contribuir de forma segura e eficaz com o crescimento da potência instalada nacional.

As PCHs são usinas com potência total instalada superior a 5 MW e igual ou inferior a 30 MW, cujos reservatórios contemplam área igual ou inferior a 3 km². Estes empreendimentos podem ser atraentes aos investidores de direito público e privado, dadas algumas características particulares que possuem: pequeno período de construção, possibilitando o início de entrada de dividendos de forma rápida; diminuto impacto ambiental, tanto em sua fase de implantação quanto no pós-operação, com o alagamento de pequenas áreas, tendendo a não sofrer uma forte resistência dos órgãos ambientais, como é comum nas hidrelétricas de grande porte (UHE); baixos custos de operação e manutenção; regulamentação específica e mais simplificada quando comparada às usinas de grande porte, inclusive com a possibilidade de existência de mecanismos legais e regulatórios que levem à incentivos econômicos e financeiros por parte do poder concedente.

Diante do vasto recurso hidro energético apto à exploração no Brasil, apresenta-se na Tabela 1 o cenário atual dos empreendimentos de Pequenas Centrais Hidrelétricas com potencial já avaliado e conhecido no País. De posse de tais números, é evidente a enorme capacidade que ainda deve ser explorada de forma a contribuir consideravelmente para o fomento sustentável da matriz energética brasileira e, ao mesmo tempo, proporcionar aos investidores do setor possibilidades de ganhos em suas atividades de interesse.

STATUS PCHs NÃO CONSTRUÍDAS - CENÁRIO NACIONAL		
STATUS	QUANTIDADE	CAPACIDADE (MW)
ACEITO / EIXO DISPONÍVEL / REGISTRO ATIVO	565	8.175,23 MW

TABELA 1 – Número e capacidade de PCHs não construídas no Brasil
Fonte: SIGA ANEEL (março/2021) [2]

Apesar de atrativa, tanto no quesito de volume de oportunidades quanto na relevância e possibilidade de retorno dos montantes investidos, a definição decisória para o investimento na implantação de novas PCHs não é uma tarefa simples. Afinal, são inúmeros os fatores a serem ponderados na obtenção de um cenário seguro e real para concretizar o investimento. Neste sentido, evidencia-se, logo no início das avaliações de viabilidade, o principal entrave para o avanço e a construção em massa do parque de PCHs disponível citado na Tabela 1: a fase de Licenciamento Ambiental.

Conforme estudo específico sobre Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil, realizado pelo Banco Mundial (Banco Mundial, 2008) [3], a maior parte da morosidade e de problemas associados ao Licenciamento Ambiental ocorre na primeira fase (Licença Prévia – LP). O processo compreende três etapas, conforme será descrito ao longo deste artigo. Estes problemas incluem a falta de planejamento adequado do poder regulador, a falta de entendimento e clareza sobre a esfera (federal ou estadual) que possui a competência para emitir as licenças, atrasos na emissão dos termos de referência, má qualidade dos EIAs elaborados pelos investidores e, principalmente, falta de profissionais e estrutura para atender um volume tão vasto de empreendimentos a serem licenciados.

Durante a fase de Licenciamento Prévio de empreendimentos hidrelétricos, objetivando garantir a ampla publicidade e direito de manifestações e contribuições de todos os interessados pelo projeto a ser implantado, como regra geral realizam-se audiências públicas específicas para cada empreendimento. De maneira geral, sem o rito da audiência efetivamente cumprido, o órgão ambiental não avança no processo de Licenciamento. Com isso, a Licença Prévia (LP) não pode ser sancionada. A necessidade de se realizar e cumprir um universo tão vasto de audiências públicas já é desafiador para a estrutura dos órgãos licenciadores em situações normais. Em meio ao isolamento social imposto pela pandemia de COVID-19, obter os processos de licenciamento tornou-se um grande empecilho.

Na esteira das medidas tomadas para mitigar tal impacto, este trabalho percorre a difusão recente das audiências públicas realizadas de modo virtual como forma de cumprimento do ato obrigatório nos processos de licenciamento de empreendimentos hidrelétricos. Fazendo-se valer de exemplo prático através do empreendimento designado PCH Paredinha, cujo processo de Licenciamento Prévio foi conduzido pelos autores deste artigo, serão abordadas suas vantagens, desvantagens, riscos, desafios e oportunidades no âmbito das audiências públicas virtuais- e sua ampla difusão para além do período em que se faz necessário o isolamento social.

2. PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PCH

O processo de Licenciamento Ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas deve ser precedido de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) sempre que a obra ou atividade possa causar significativo impacto ambiental, conforme estabelecido na Constituição Federal.

O rito processual inicia-se com a “Consulta – etapa 1” junto ao órgão ambiental a fim de obter o “Termo de Referência” para a elaboração do EIA/RIMA do empreendimento. Na sequência, submete-se a solicitação da “Licença Prévia – etapa 2”, na qual é realizado o protocolo do EIA/RIMA. Nesta etapa, é importante evidenciar a última ação que se faz necessária antes da emissão da LP- a qual trata-se da audiência pública. As últimas duas etapas consistem na obtenção da “Licença de Instalação – etapa 3” e “Licença de Operação – Etapa 4”. O fluxograma apresentado na Figura 1, disponibilizado no site do órgão ambiental do estado do Paraná (IAT) [4], detalha cada etapa e a responsabilidade da ação do empreendedor ou órgão ambiental.

O Decreto Federal nº 99.274/90 [5], complementado pela Resolução CONAMA nº 237/97 [6], estabeleceu a realização do processo de Licenciamento Ambiental em três etapas, com a concessão das licenças respectivas – Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação. As licenças ambientais se caracterizam da seguinte forma:

I - *Licença Prévia (LP)* - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - *Licença de Instalação (LI)* - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - *Licença de Operação (LO)* - autoriza a operação da atividade ou empreendimento após a verificação do efetivo cumprimento do que consta nas licenças anteriores com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

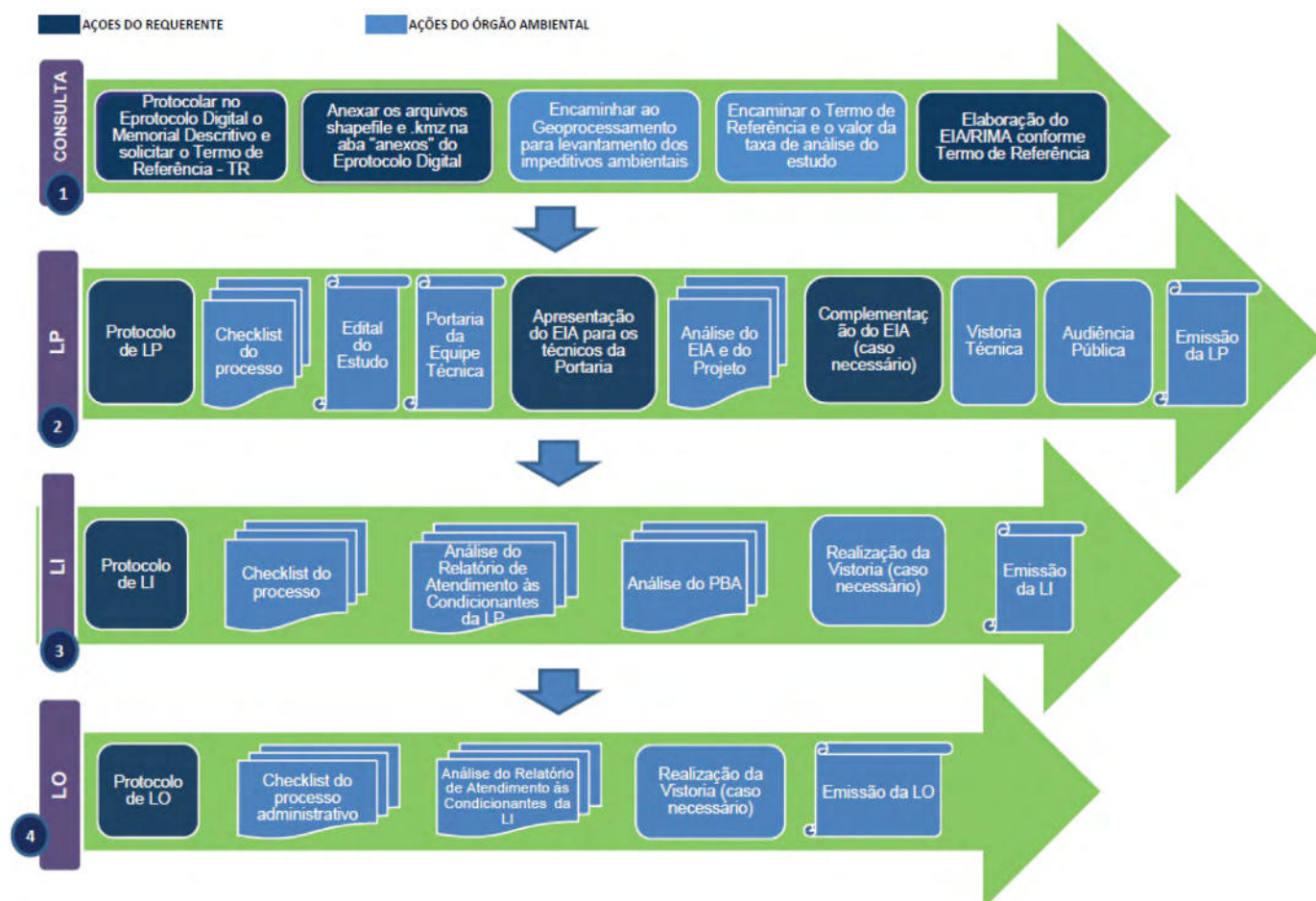


FIGURA 1 – Fluxograma contendo as etapas do licenciamento de PCH com os responsáveis indicados em cada etapa / Fonte: IAT – Instituto Água e Terra [4]

As audiências públicas no processo de Licenciamento Ambiental possuem como finalidade, conforme indica a Resolução CONAMA nº 9/87 [7], expor aos interessados o conteúdo do produto em análise e do seu referido RIMA, dirimindo dúvidas e recolhendo das presentes as críticas e sugestões a respeito.

3. VIRTUALIZAÇÃO DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

Em virtude da pandemia (COVID-19) e suas devidas restrições de encontros sociais, o Ministério do Meio Ambiente e o Conselho Nacional do Meio Ambiente estabeleceram, através da Resolução nº 494 de 11 de agosto de 2020 [8], em caráter excepcional e temporário, nos casos de Licenciamento Ambiental, a possibilidade de realização de audiência pública de forma remota.

A realização remota das audiências públicas referida no art. 11, § 2º da Resolução CONAMA 01/06 [9], e disciplinada pela Resolução CONAMA 09/87 [7], por meio da Rede Mundial de Computadores (Internet), em caráter excepcional e temporário, foi aprovada na 134ª Reunião do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no dia 22/07/2020, que resultou na Resolução CONAMA nº 494/20 [8].

Ainda, conforme tal Resolução, é dever do órgão ambiental competente definir os procedimentos técnicos relativos à realização das audiências públicas virtuais, de modo a garantir a efetiva participação dos interessados, conforme previsto na legislação, devendo ser observados os seguintes passos:

I - Ampla divulgação e disponibilização do conteúdo do produto em análise e do seu referido RIMA;

II - Viabilização, observada a segurança sanitária dos participantes, de ao menos um ponto de acesso virtual aos diretamente impactados pelo empreendimento e, caso se faça necessário, de outros pontos, conforme a análise do caso pela autoridade licenciadora;

III- Discussão do RIMA;

IV- Esclarecimento das dúvidas; e

V- Recebimento dos participantes das críticas e sugestões.

3.1 PROCEDIMENTOS - AUDIÊNCIA PÚBLICA VIRTUAL (APV)

Para garantir o cumprimento dos ritos e condicionantes do instituto audiência pública, mesmo através de ambiente virtualizado, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), através de sua Diretoria

de Licenciamento Ambiental (DILIC), instituiu um Procedimento Operacional Padrão para ser adotado nestes casos. O referido procedimento contempla os seguintes pré-requisitos para a realização de audiências públicas virtuais:

Obs.: Tal normativa poderá ser aplicada integralmente, inclusive pelos órgãos licenciadores estaduais, quando o caso assim ensejar.

- Aprovação pelo órgão licenciador do plano de comunicação e divulgação da audiência pública virtual com pelo menos 10 dias de antecedência da data marcada para o evento. O plano de comunicação deverá apresentar levantamento prévio com identificação das ferramentas remotas avaliadas como mais adequadas e capazes de fomentar uma maior participação do público-alvo;
- Divulgação pelo empreendedor da APV na imprensa local, bem como por diferentes meios de comunicação, tais como fixação de faixas em locais públicos e de grande visibilidade e nos sistemas de radiodifusão, conforme apresentado no plano de comunicação;
- A APV será presidida por um representante do órgão licenciador e deverá contar com um secretário-executivo para auxiliar o presidente;
- A APV terá início com o pronunciamento do presidente da audiência para esclarecer os objetivos do evento e os procedimentos a serem observados durante a sessão;
- O órgão licenciador apresentará o procedimento de Licenciamento Ambiental em até 20 minutos;
- O representante do empreendedor realizará apresentação sobre o empreendimento objeto do licenciamento, seus objetivos e justificativa, com duração máxima de 20 minutos;
- A equipe técnica responsável pela elaboração do EIA/RIMA terá o prazo de até 30 minutos para realizar a exposição sobre os estudos desenvolvidos;
- Será concedido um intervalo de 10 minutos para a inscrição dos interessados na discussão do RIMA e do projeto. O prazo total para inscrição dos questionamentos, críticas e sugestões será de 30 minutos a contar do início do intervalo;
- Os questionamentos, críticas e sugestões dos interessados, apresentados ao órgão licenciador ou ao empreendedor, devem ser identificados para possibilitar respostas extemporâneas;
- O órgão licenciador deverá recepcionar as manifestações e questionamentos dos interessados por meio dos canais disponíveis durante a APV, bem como por e-mail institucional específico criado para o evento pelo prazo de até 20 dias após a realização da APV;
- O empreendedor deverá repassar integralmente ao órgão

licenciador as contribuições e questionamentos registrados em suas plataformas digitais em até 48 horas;

- Caso haja alguma pergunta que não possa ser respondida durante a transmissão ao vivo, o órgão licenciador deverá encaminhar resposta formal em até 20 dias após o recebimento do questionamento;
- O presidente estabelecerá os procedimentos para resposta aos questionamentos. Os questionamentos poderão ser respondidos em bloco ou separados por temas, a critério do presidente;
- O secretário-executivo deverá lavrar ata sucinta pelo presidente da APV e pelo representante do empreendedor;
- O encerramento será realizado pelo presidente da APV mediante declaração da validade da APV;
- A gravação da APV deverá ficar disponível no site do empreendedor por 20 dias para manifestações posteriores. A disponibilização deve ser comunicada no momento da realização da APV;
- A gravação da APV poderá ficar disponível em outras plataformas de compartilhamento de vídeo;
- O empreendedor deverá protocolar no órgão licenciador, no prazo de até 30 dias após a realização da APV, a gravação de áudio e vídeo do evento, bem como a respectiva transcrição integral em arquivos de no máximo 500 MB;
- A gravação, o vídeo, a transcrição da APV, a lista dos participantes presenciais e todos os questionamentos públicos deverão compor o processo administrativo de LA do empreendimento ou atividade;
- O formato e o protocolo de transmissão utilizados pelo empreendedor deverão permitir a realização de eventual auditoria quanto ao registro dos participantes;
- Caberá ao presidente da audiência decidir situações que impeçam a regular continuidade da APV, bem como deliberar em casos omissos neste Regulamento.
- Da análise dos requisitos padrões que devem ser cumpridos, pormenorizados nos itens acima, conclui-se que a APV transfere total publicidade, isonomia e segurança na sua abrangência e finalidade sem prejuízo algum quando comparada com a forma padrão de encontros públicos presenciais desta natureza.

3.2 ESTUDO DE CASO - PCH PAREDINHA

O empreendimento denominado PCH Paredinha, do grupo econômico Ibema Participações, é um aproveitamento hidrelétrico que será objeto de repotenciação e alteamento do nível do reservatório da CGH Cachoeira em operação. As

obras possibilitarão o ótimo aproveitamento energético do Rio Cachoeira naquele eixo, incrementando a potência instalada de 2,92 MW para 23,92 MW, sem grandes impactos ambientais adicionais àqueles já gerados e mitigados durante a implantação da CGH Cachoeira. A implantação será realizada no município de Turvo, na região central do estado do Paraná.

Considerando que a PCH Paredinha: i) já possuía todos os estudos de EIA-RIMA concluídos e tramitando no órgão licenciador do Paraná (IAT – Instituto Água e Terra); ii) que o empreendimento se mostrava viável para avançar nas etapas de LA; e iii) que o empreendedor possuía interesse em avançar com o Licenciamento mesmo em meio a pandemia do Covid 19 (fazendo-se valer da Regulamentação específica estabelecida para a realização de APV), o Instituto Água e Terra do Paraná (IAT), em conjunto com o empreendedor, instituíram o evento no dia 15 de dezembro de 2020 na modalidade híbrida.

A audiência facultou as possibilidades de participação de três formas distintas, a saber:

- *Presencial:*

Local: Turvo/PR

Data: 15/12/2020 às 19h

Endereço: Câmara Municipal – Rua João Ferreira Neves, 40 – Turvo/PR

Em virtude da pandemia por COVID-19, a modalidade presencial teve quantidade limitada de pessoas conforme decretos e leis vigentes, sendo o acesso controlado por senhas a serem distribuídas na entrada do local do evento.

- *Hotsite (com inscrição):*

O empreendedor criou um ambiente virtual específico (*hotsite*) sob o endereço <https://www.pchparedinha.com.br/> para a realização da APV. Para participar e fazer perguntas escritas ou orais, os interessados deveriam realizar inscrição para acessar a área de transmissão do evento. Dentro da área de transmissão, antes mesmo da data do evento, os interessados já podiam se inscrever para enviar perguntas escritas de forma antecipada. A inscrição para perguntas orais só poderia ser realizada no dia do evento. Assim que a inscrição tinha sido realizada, o interessado recebia um link para acesso ao aplicativo Zoom, por onde se dava sua participação, quando autorizado pela mesa diretiva.

- *Youtube (sem inscrição):*

Para aqueles interessados em participar da APV apenas como ouvintes, o empreendedor também disponibilizou acesso online ao vivo pela plataforma Youtube. Neste caso, só era possível visualizar a transmissão, ou seja, para fazer inscrição para perguntas orais ou inscritas, os interessados deveriam usar a forma presencial ou via hotsite.

Além do arcabouço de informações completas e detalhadas

dentro do ambiente do *hotsite*, o empreendedor realizou ampla divulgação do evento em mídias convencionais (rádios locais, jornais de circulação local, panfletagem nas localidades de interesse, carros de som, entre outros).

Uma vez que a realização da APV era um fato novo às comunidades locais e ao próprio setor elétrico, o empreendedor não poupou esforços para orientar sobre os procedimentos que deveriam ser realizados. O objetivo era garantir, da forma mais abrangente possível, a participação direta e ativa dos interessados em conhecer, contribuir e sanar dúvidas acerca do empreendimento. Para tanto, um tutorial com o passo a passo para o cadastro foi disponibilizado no *hotsite* e demais mídias de divulgação.

A Figura 2 apresenta o passo a passo elaborado pela equipe do empreendedor.

Participaram do evento 49 pessoas (presencialmente). Desse total, quatro eram autoridades locais. Foram contabilizados 35 computadores que assistiram a transmissão via YouTube.

Foram distribuídos papéis para a elaboração de perguntas no ambiente físico e foi orientado o cadastro para efetuar as perguntas via digital. Porém, não houveram perguntas presenciais nem digitais durante o evento. Ficou disponível o canal de comunicação (via e-mail) para perguntas e comentários durante sete dias após a data da audiência.

O resultado observado com a realização da audiência pública da PCH Paredinha de forma híbrida, tal como detalhado acima, foi bastante satisfatório para comunidades locais, empreendedor e órgão

licenciador. Pois, mesmo diante de um cenário novo, possibilitou-se cumprir com o objetivo de apresentar aos interessados os impactos identificados e as medidas a serem adotadas para compensação. Para um empreendimento de reduzido impacto ambiental, foi percebida participação relevante dos interessados.

4. CONCLUSÕES

Com a experiência obtida no empreendimento PCH Paredinha, além da avaliação de casos adicionais que fizeram-se valer do ambiente virtual para a realização das audiências públicas, pode-se listar os seguintes pontos positivos sobre as APVs:

- Possibilita uma maior participação da população, uma vez que pessoas de diferentes localidades (e sem a necessidade de deslocamento) podem ser informadas e ter suas dúvidas esclarecidas. Ou seja, a demanda criada a partir da pandemia acabou se apresentando como um potencial indutor do aumento da participação popular no curso dos processos de LA;
- Garante a continuidade da análise de novos empreendimentos, a dinamização dos procedimentos e, indiretamente, o fomento da economia;
- Mantém o cronograma dos empreendimentos e de importantes atividades econômicas;



FIGURA 2 – Passo a passo para cadastro na audiência pública virtual – PCH Paredinha / Fonte: <https://www.pchparedinha.com.br/> (dezembro/2020)

- Garante maior organização e debate sobre os temas, sem trazer prejuízo quanto à publicidade e os direitos dos participantes;
- Garante a participação popular no processo de LA de um empreendimento, aprimorando os estudos e medidas ali estabelecidos;
- Pode ser gravada e disponibilizada em endereço eletrônico para posterior consulta e análise, sendo possível que se preveja um prazo para que outras pessoas possam se manifestar;
- Podem ser feitas de forma objetiva e ágil entre os agentes com os devidos cuidados de registro formal de presenças e decisões;
- Possibilita a ampliação da participação popular, pois amplia o prazo para envio de manifestações fora do período das audiências, o que melhora a qualidade da participação, da assimilação e das informações apresentadas - e tudo isso sem a perda da publicidade (que pode ser promovida de forma ainda mais clara do que uma simples ata de audiência pública presencial);
- Reduz custos e busca maior sustentabilidade na organização do evento com menor utilização de materiais físicos, local, equipamentos, entre outros aspectos.
- Por outro lado, é importante salientar as fragilidades do processo de APV. Em suma, a dificuldade está no acesso digital heterogêneo para todos os interessados em participar:
- Risco de que parte da população possa não ter as condições de acesso, informações e equipamentos necessários para participar neste formato. Por isso, o constante aprimoramento e a gravação do evento são muito importantes;
- Necessidade de normas legais permanentes para evitar um cenário de insegurança jurídica, passível de questionamentos posteriores;
- Poucas empresas especializadas e com experiência no mercado para oferecer um serviço eficiente.

De posse do contexto apresentado neste trabalho, conclui-se que a implantação de ambientes virtuais para a realização de audiências públicas obrigatórias nos processos de Licenciamento Ambiental pode ser de grande valia. Entre as justificativas estão o ganho de agilidade na tramitação dos processos e a segurança jurídica, social e regulatória que o ato, por si só, exige.

O grande desafio está em proporcionar amplo e irrestrito acesso digital para todas as comunidades de interesse, bem como levar as devidas orientações para a participação livre e ativa de todos os interessados.

Superada tal dificuldade, que pode ser fomentada pelos próprios empreendedores, e, somando-se a isso, a redação de arcabouço legal definitivo que regule tal metodologia, acredita-se que os benefícios desta forma de realização de audiências públicas promoverão ganhos relevantes a todos os envolvidos durante o Licenciamento Ambiental de empreendimentos hidrelétricos, mesmo após a retomada da normalidade dos encontros sociais (após a pandemia).

5. PALAVRAS-CHAVE

Geração de energia, hidrelétrica, Licenciamento Ambiental, audiência pública.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Relatório de Balanço Energético Anual 2020;
- [2] ANEEL. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 05/03/21;
- [3] BANCO MUNDIAL. Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate), 2008;
- [4] IAT Instituto Água e Terra do Paraná. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br>. Acesso em: 07/03/21;
- [5] DECRETO FEDERAL N° 99.274, de 06 de Junho de 1990;
- [6] RESOLUÇÃO CONAMA N° 237, de 19 de Dezembro de 1997;
- [7] RESOLUÇÃO CONAMA N° 9, de 3 de Dezembro de 1987;
- [8] RESOLUÇÃO CONAMA N° 494 de 11 de Agosto de 2020;
- [9] RESOLUÇÃO CONAMA n° 1, de 23 de janeiro de 1986.



Thaís Bavaresco ABATTI

Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná. Atua como Coordenadora de Projetos com ênfase na disciplina de Meio Ambiente na G5 Engenharia. Trabalha com gerenciamento e definição de estratégias nas atividades relacionadas ao Licenciamento Ambiental, bem como na interface direta com os órgãos ambientais e intervenientes.



Cícero José ALBERTON

Sócio e Diretor de Implantação na G5 Engenharia. É Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica do Paraná e Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia. Atua na orçamentação, planejamento e gestão de projetos e contratos relacionados com empreendimentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

COMENTÁRIOS SOBRE O USO DE PONTES EM BARRAGENS

Ruben José Ramos CARDIA | Consultor e Especialista em Segurança de Barragens (UFBa) - RJC Engenharia & Fractal Engenharia e Sistemas S. A.

RESUMO

Estão registrados a seguir alguns exemplos de situações com uso de pontes em barragens, principalmente em aproveitamentos hidrelétricos. O objetivo é tentar subsidiar futuros projetos de barragens e, talvez, servir de estímulo para melhorias em barragens e hidrelétricas existentes. A lista não se considera completa, pois podem existir outros casos não levantados e não conhecidos pelo autor. É mais uma oportunidade de se contribuir para proveito das “lições aprendidas” e para se tentar melhorar as condições de acesso na reação de eventuais urgências e/ou emergências.

ABSTRACT

Some examples of historic known facts related to the use of bridges in Dams, mainly in Hydroelectric Power Plants - HPP, are reported. It is an attempt to present some sort of subsidy to future dam design as well telling some version to conditions that may be observed in the structures of existing Dams and HPP. It is not a closed and complete list and one should know that other professionals may have important experience and those should be object of public register. This is another attempt also to present some contribution in benefit of “Lessons Learned”. It’s hoped that such information could help an improvement on access conditions, mainly in case of use upon an urgency and/or emergency situation.



1. INTRODUÇÃO

Na construção de barragens, é normal se executar estrutura de ponte auxiliar (ou de serviço) interligando trechos de ensecadeiras (por sobre o desvio do rio) e garantindo o trânsito de veículos entre as duas margens. Porém, costumam ser estruturas provisórias, desmontadas ao final da obra. Em algumas barragens, até foram deixadas pontes, mas nem sempre dão travessia total por jusante, como por exemplo, na Barragem Peixe Angical, no Tocantins. Figura disponível em:

https://c1.staticflickr.com/7/6121/5955983486_47635276e5_b.jpg

OBS: Apesar do empenho, não foi possível localizar os detentores de direitos autorais das imagens. Então, ao invés de apresentar todas as fotos, são identificados links para busca e visualização na web.

Existem casos em que por montante/crista não é possível a travessia, pois a pista de crista é interrompida por vertedouro de soleira livre, como na UHE Dona Francisca, sem a superestrutura de ponte. Mas, a instalação permanente de uma ponte na parte jusante facilita o acesso à subestação (SE) e à margem/ombreira esquerda. E ainda agiliza as atividades (principalmente em Segurança de Barragem).



FIGURA 1 – Barragem Dona Francisca sem ponte na crista (DFESA)

Em algumas barragens mais antigas, a superestrutura instalada acima dos vãos do vertedouro de superfície não é transitável para veículos, apenas para pedestres (e feita com treliça metálica). Em vários casos, dada a ausência de ponte (na crista do vertedouro e/ou a jusante), há a necessidade de se percorrer o trecho de estrada de acesso à outra margem da barragem. E, nem sempre o trecho está em condições adequadas (por economia e/ou condições de conservação municipal/estadual). Uma condição melhor e mais adequada poderia reduzir custo e tempo, ampliando a segurança da barragem.

Existem casos onde há risco de perda do acesso a jusante caso ocorra cheia que afete (ou destrua) a ponte a jusante, pois a cheia de projeto da ponte pode ser com Tempo de Recorrência

$T = 100$ anos. Mas, a defluência da barragem pode ser com Tempo de Recorrência maior: $T = 500$ anos / 1000 anos.

Em alguns casos, como em cânions profundos, a adoção de ponte (além de túnel de acesso), como na Barragem Vajon, acaba sendo obrigatória (figura disponível em: <http://www.msimages.org/italy-dam-disaster-1960s/>).

1.1 USO DE TÚNEIS

Interessante opção foi a inclusão de túnel rodoviário para a travessia de veículos pelo maciço do vertedouro na Barragem Tucuruí (figura disponível em: <https://ogimg.infoglobo.com.br/in/3053037-61b-5bf/FT1086A/652/xUsina-Hidreletrica-de-TucuruFoto-de-Fabio-Rossi.jpg.pagespeed.ic.ZIV5gANq4M.jpg>).

Anteriormente, já havia sido adotada solução em túnel rodoviário no acesso da Barragem Capivara (no Rio Paranapanema, divisa entre São Paulo e Paraná, construída pela CESP, atualmente com a CTG Brasil). Lá, a estrutura se situava em escavação na rocha (um pouco a jusante), passando sobre o rápido (ou calha) do vertedouro de superfície. Situação similar foi usada sob o vertedouro de superfície na margem direita da UHE Itaipú (figura disponível em: <https://www.radioculturafoz.com.br/wp-content/uploads/2014/05/itaipu.jpg>).

1.2 MEMÓRIAS

Conforme trabalho anterior [1] inspirado nos registros impressos de Memória Viva – Energia Elétrica [2]; Episódios da Engenharia (e da política) no Brasil [3]; História da Engenharia Geotécnica no Brasil [4]; e A História das Barragens no Brasil ([5], foram coletadas algumas observações.

Em certas barragens mais antigas no Rio Tietê, a superestrutura da ponte a jusante foi sustentada em pilares instalados sobre a laje do descarregador de fundo e/ou do vertedouro de superfície. Depois, os pilares tiveram de ser removidos .

2. ALGUMAS DAS PONTES EM APROVEITAMENTOS

Para ilustrar o conhecimento da situação (então) atual, estão apresentados comentários sobre estruturas de pontes existentes, distribuídos por alguns Aproveitamentos (nacionais e/ou internacionais). Deve ser registrado que esta apresentação não deve ser considerada como completa e/ou definitiva.

Certamente existem outras pontes que não são do conhecimento atual do autor. Além disso, podem estar em andamento ou virem a ser construídas , o que irá permitir o aumento da listagem.

2.1 ALGUNS APROVEITAMENTOS NO BRASIL

2.1.1 Barragem Lajeado (UHE Luís Eduardo Magalhães/ 'INVESTCO/ EDP BRASIL'): Situada no rio Tocantins, estado de Tocantins.

Apesar de existir uma ponte apoiada na parte jusante dos pilares do vertedouro de superfície, ela foi mais usada durante a obra. Agora, na operação, ela é usada para acesso ao terreno jusante esquerdo, mas não garante travessia total. Figura disponível em:

https://brasil.edp.com/sites/edpbr/files/styles/focal_point_content_highlight_image_430x350/public/uhe_lajeado_0.jpg?h=f1e4b449&itok=G9LQr87a

2.1.2 Barragem Limoeiro (UHE Armando de Salles Oliveira): Situada no Rio Pardo, estado de São Paulo, foi construída por Centrais Elétricas do Rio Pardo (CHERP) e depois integrada na Centrais Elétricas de São Paulo (CESP) e na Cia Energética de São Paulo (CESP) [6]. Atualmente, está na AES Tietê S.A./AES Brasil.

Existe uma ponte de pedestres, apoiada nos muros guia laterais, passando sobre a calha do vertedouro de superfície. Ela serve para garantir a travessia de operadores entre a casa de força e a subestação (na margem jusante direita). Mas, não há acesso direto para veículos.

2.1.3 Barragem Moxotó (UHE Apolônio Salles, em concessão da Eletrobras CHESF): Situada no Rio São Francisco, na divisa dos estados Bahia e Alagoas.

Apesar de existir uma ponte apoiada na parte jusante dos pilares do descarregador de fundo, não há condição de acesso (interligação) com a casa de força, pois não há ponte sobre o vertedouro de superfície.

2.1.4 Barragem Nova Avanhandava (UHE Nova Avanhandava): Situada no baixo Rio Tietê, no interior do estado de São Paulo, construída pela CESP. Agora está com a AES Tietê S.A./AES Brasil [7].

Deve ser lembrada a situação da UHE Nova Avanhandava: a ponte jusante sobre pilares do vertedouro acabou sendo removida. Ficou apenas na concepção artística (perspectiva). Ela foi usada como acesso e travessia durante a obra para apoiar a concretagem das adufas do vertedouro de superfície.

2.1.5 Barragem Porto Primavera (UHE Sergio Motta): Situada no Rio Paraná, na divisa dos estados de São Paulo e de Mato Grosso do Sul, foi construída pela Cia Energética de São Paulo (CESP), conforme projeto da THEMAG.

Existe uma ponte apoiada na parte jusante dos pilares do vertedouro de superfície interligando a casa de força com a via da berma jusante na barragem de terra da margem direita (originalmente, em ROCHA, 1993 / Foto CARLOS, J) [8]. Essa via

se liga ao trecho que desce da crista das estruturas de concreto, após alteração de projeto por aplicação de ideia de engenharia e/ou de mudança de paradigma [1] e [9]. Isso visou a redução de seção e economia (de tempo e de custo).



FIGURA 2 – Barragem Porto Primavera - ponte sobre vertedouro de superfície (José Caldas / CESP)

2.1.5 Barragem Promissão (UHE Eng. Mário Lopes Leão): Situada no Rio Tietê, no interior do estado de São Paulo, o aproveitamento hidrelétrico recebeu uso de ponte jusante.

Na parte jusante, apoiada nos pilares divisores dos vãos e acima do perfil vertente do descarregador de fundo, foi instalada a superestrutura de uma ponte de acesso (pela margem direita) até a extremidade direita (e não esquerda, como citado em CARDIA, 2019) [1] da edificação da casa de força. Mas, não foi instalada uma travessia pelo interior ou pelo patamar jusante da edificação. Do portão da ombreira direita, os veículos seguem pelo acesso jusante, passam sobre a ponte do descarregador de fundo e param na grande porta, na face direita da edificação.

No estado de São Paulo, a primeira barragem a ter o trânsito de rodovia estadual por jusante (originalmente previsto a passar pela crista no projeto inicial) foi a Barragem Promissão (UHE Mário Lopes Leão). Foi construída na década de 1970, pela CESP, com projeto de BRASCONSULT, no médio/baixo Rio Tietê. Atualmente, está na concessão da AES Tietê/AES Brasil. Foi construída uma ponte rodoviária sobre o Rio Tietê na região mais a jusante da barragem e fora do canteiro de aproveitamento.

Assim, o traçado da rodovia Transbrasiliana/BR-153 foi desviado, inclusive, porque se decidiu não instalar a ponte levadiça sobre o vão da eclusa de navegação, na crista da estrutura.

Mais recentemente, a AES Tietê teve de construir outra ponte rodoviária na Transbrasiliana/BR-153 em local mais à esquerda da original, sobre o leito do rio. Isso porque o Departamento

Hidroviário de São Paulo considerou necessária a retificação do canal (entre a saída da eclusa e o rio, a jusante da ponte original) para evitar manobras das embarcações em condição de curva reversa (ou zig-zag).

2.2. ALGUNS APROVEITAMENTOS NO EXTERIOR

2.2.1. Barragem Hoover (nos EUA)

A Barragem Hoover, originalmente denominada Barragem *Boulder*, é uma barragem de concreto gravidade com eixo curvo. Conforme projeto, era permitido o tráfego de veículos rodoviários pela crista (situada na divisa dos estados Arizona e Nevada).

Após o atentado terrorista de 11 de setembro de 2001, o governo dos EUA passou a adotar critérios rígidos de segurança e limitação de acessos. Assim, com a transferência da rodovia (tirando-a da crista da barragem), o resultado foi um interessante projeto de engenharia. Trata-se da construção de uma ponte sobre o *Black Cñion*, no Rio Colorado, em local logo a jusante da Barragem Hoover. Figura disponível em:

https://i.dailymail.co.uk/i/pix/2010/07/26/article-1297473-0A92D37400005DC-691_634x507.jpg).

2.2.2. Barragem Libby (nos EUA)

Apesar de existir uma ponte a jusante no local de redução da largura na bacia jusante para o canal de escoamento jusante do rio, há ainda outra travessia bem no início da bacia de dissipação, ao pé da calha (ingreme) do vertedouro de superfície. Esta última permite a passagem de veículos rodoviários. Figura disponível em: <https://th.bing.com/th/id/OIP.yY6s1ujhzz5hy-Nd4AXf-6gHaHS?pid=Api&rs=1>

2.2.3. Barragem Macagua (na Venezuela)

Apresenta outra atraente solução de travessia ao colocar uma ponte sobre a saída jusante do vertedouro de superfície, permitindo a passagem de veículos rodoviários por uma rodovia de pista dupla. Pode haver riscos para a segurança. Figura disponível em:

https://th.bing.com/th/id/OIP.wdyH2Vzp_Ovogkqu7je-VOgHaE6?w=239&h=180&c=7&o=5&dpr=1.25&pid=1.7

2.2.4. Barragens do Sistema de Geração Rio Nelson (no Canadá)

Nas Barragens do Rio Nelson (*Manitoba Hydro*) foram instaladas pontes apoiadas na parte jusante dos pilares dos vertedouros de superfície. Elas servem de travessia na interligação do patamar da casa de força com a barragem da margem direita. Os dois aproveitamentos são quase cópias um do outro. Figuras disponíveis em:

https://youtu.be/_IEq03whiNI e <https://www.google.com.br/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FbHb7n-vsGKBo%2Fmaxresdefault.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DbHb7nvsGK-Bo&tbnid=5CqZDSB7jnzSIM&vet=12ahUKEwjSxNLhrOT-tAhWEF7kGHcpuBC0QMygBegUIARChAQ..i&docid=POTITj80xfyibM&w=1280&h=720&q=limestone%20dam&ved=2ahUKEwjSxNLhrOT-tAhWEF7kGHcpuBC0QMygBegUIARChAQ>).

2.2.5. Barragem Yacireta (na divisa Argentina/Paraguai)

Possui outra atraente solução de travessia. A ponte está sobre a parte jusante dos pilares do vertedouro de superfície, permitindo a passagem de veículos rodoviários. Está garantida a interligação entre a casa de força e a barragem da margem esquerda. Figura disponível em:

<https://www.culturamix.com/wp-content/uploads/2010/04/291.jpg>

3. CONCLUSÕES

Se procurou apresentar algumas situações de falta e/ou uso de pontes que foram identificadas em vários aproveitamentos hidrelétricos. Não se trata de crítica, mas sim, de registro histórico de casos que apresentaram alterações de projeto ou alguma inovação. Eles indicam resultados que podem ou não ser considerados bons.

Quanto mais informações estiverem disponíveis, melhores condições poderão ser usadas para a avaliação de um tema e de um projeto, principalmente se envolver o assunto Segurança de Barragens.

Espera-se que este trabalho possa servir de subsídio em novos projetos, além de motivar outros profissionais a documentar suas experiências.

Anteriormente, o prof. Dr. Victor de Mello e o prof. Dr. Paulo Cruz questionavam a falta de trabalhos em congressos e seminários, apesar da grande quantidade de dados arquivados (e experiência) dos engenheiros envolvidos nas construções dos grandes empreendimentos hidrelétricos [10].

Nos EUA, o prof. Dr. H. Bolton Seed (em congresso da ASCE, 1981) [11] também questionava a falta de divulgação de problemas ocorridos e de suas soluções (*Lessons Learned*).

O mais importante nessa divulgação seria ter bom proveito das Lições aprendidas com a experiência. O objetivo é evitar ou reduzir a repetição dos mesmos tipos de problemas conhecidos.

4. AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos pela contribuição na obtenção de cópias de fotografias e autorizações (copyright) para uso, nas pessoas de: Eng. Paulo A. L. Kafer (DFESA), Enga. Camila S. Dahm Smiderle (CEEE), Eng. Ovídio J. Santos Jr., Enga. Mariana A. Traskurkemb e Sr. José Caldas (CESP).

5. PALAVRAS-CHAVE

Lições aprendidas, pontes, registro histórico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CARDIA, R. J. R., (2019) – “Também em Barragens, Algo Se Cria e Outro Tanto Se Copia”, Seminário Nacional de Grandes Barragens, In Anais, XXXII, CBDB, Salvador, BA, 20 a 23MAIO19;
- [2] XAVIER, A. M.; MAGALHÃES, C. E. [organização], (2013) – “Memória Viva – Energia Elétrica”, Via das Artes, São Paulo, SP,
- [3] MELLO, F. M., (2014) – “Episódios da Engenharia (e da política) no Brasil”, CBDB, Rio de Janeiro, RJ,
- [4] SAYÃO, A., (2011) – “História da Engenharia Geotécnica no Brasil: 60 Anos da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica”, ABMS, Rio de Janeiro, RJ,

- [5] CBDB, (2011) – “A História das Barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: Cinquenta Anos do Comitê Brasileiro de Barragens”, [coordenador, supervisor, MELLO, F. M.; editor, PIASENTIN, C]; CBDB, Rio de Janeiro, RJ,
- [6] SARAIVA, A. R., (1971) - “CADASTRO TÉCNICO DAS USINAS”, Diretoria de Engenharia e Planejamento- CESP, São Paulo, SP,
- [7] MEIO AMBIENTE, (2008) – “Cadastro Técnico das Usinas Hidrelétricas da AES Tietê”, AES Tietê S A, São Paulo, SP,
- [8] ROCHA, S., (1993) – “Submersa no Tempo”, Construção São Paulo, ano XLVI n. 2372, 26JUL93, PINI, São Paulo, SP,
- [9] XAVIER Fº, M.S. (1995) - “Por que mudar os Paradigmas?” Qualidade, revista n. 34, pág.68-70, MAR95, São Paulo, SP,
- [10] CRUZ, P. T., (1982) - “Onde Foram Parar os Engenheiros de Barragens?”, in Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Anais, ABMS, Olinda, PE.
- [11] SEED, H. B., (1981) - “Lecture”, in International Convention & Exposition, ASCE, Nova York, NY, EUA.



Ruben J. R. CARDIA

Engenheiro Civil (FEB-UNESP, 1974) e Especialista em Segurança de Barragens (UFBA, 2015). Autor e/ou Coautor em 61 artigos. Ministrou treinamento em Segurança de Barragens pela Fundação COGE (2003 a 2012). Realizou e/ou participou de Inspeção de Segurança Regular e Especial, Verificação da Situação e Comportamento da Instrumentação de Auscultação, Plano de Segurança de Barragens, Plano de Ação de Emergência, Manutenção Civil em Barragens.

APRESENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO INTEGRADA COM A GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Gustavo Salum ANDRADE | Engenheiro Civil - Neoenergia

Luiz Gustavo Fortes WESTIN | Engenheiro Hídrico - Neoenergia

Esther DYCK | Engenheira Civil/Pesquisadora - Lactec

Rodrigo Moraes da SILVEIRA | Engenheiro Civil/Pesquisador - Lactec

RESUMO

O cenário de segurança de barragens no Brasil se tornou fonte de atenção após as rupturas de barragens de mineração em meados e final da década de 2010, justamente em uma década na qual as regulamentações, ações de segurança e proximidade dos órgãos reguladores de geração hidrelétrica tinham sido estreitadas (Leis Federais nº 12.334 de 2010 e nº 14.066 de 2020). A procura por uma gestão mais eficaz passa pela identificação, classificação, análise e priorização dos riscos e ações de controle, o que é dificultado pelo volume de informações de uma barragem. Sendo assim, o presente artigo apresenta um método de análise de risco integrado ao Plano de Segurança de Barragens. O objetivo é que os dados para priorizar manutenções e análises requeridas possam retornar ao responsável pela barragem.

ABSTRACT

The dam safety scenario in Brazil became a source of attention after the tailings dam failures in the mid and late 2010s, precisely in a decade in which regulations, safety actions and proximity to hydroelectric generation regulators had been narrowed (Federal Laws No. 12,334 of 2010 and No. 14,066 of 2020). The search for more effective management involves the identification, classification, analysis and prioritization of risks and control actions. The volume of information in a dam is significant. Therefore, this paper presents a risk analysis method integrated with Dam Safety Plans, which can return data to the person responsible for the dam to prioritize the required maintenance and analysis.

1. INTRODUÇÃO

Grandes desastres relacionados com barragens foram presenciados no Brasil nos últimos anos, especialmente nas regiões de exploração de minério no estado de Minas Gerais. As repercussões ocorreram em várias esferas da sociedade e no meio ambiente, como apresentado por Freitas *et al.* (2019). Essas ocorrências fortaleceram o interesse nacional e o fomento de empresas por melhores técnicas e tecnologias para prevenção de risco, monitoramento das estruturas e correta gestão da emergência.

Visando o aprimoramento do controle e gestão da segurança de barragens no Brasil, foi elaborada a Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, revisada e publicada em 30 de setembro de 2020 (Lei Federal nº 14.066), subscrevendo alguns termos da lei anterior e incorporando uma publicidade maior às ações de segurança. A lei citada estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e desenvolve o conceito do Plano de Segurança da Barragem (PSB).

Nos PSBs são padronizados diretrizes e procedimentos, criando uma uniformidade de ações e análises de segurança ao longo da vida útil da estrutura. Nesse sentido, é possível estabelecer padrões e condições de análise, coleta de dados e aprimoramento do controle operacional de uma usina hidrelétrica.

A necessidade de modernizar os procedimentos e planos relacionados com a segurança de barragens, alinhado com as demandas legais e regulatórias prévias e decorrentes dos desastres ocorridos em Brumadinho e Mariana, acabou se tornando um incentivo maior para o desenvolvimento de novas plataformas e softwares para análise de risco, *big data*, modelagem tridimensional das estruturas e integração entre sistemas inteligentes.

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco que considere os cenários de risco na estrutura e permita que as demandas de modernização dos planos de segurança e gestão de barragens sejam mais efetivas. O desenvolvimento dessa metodologia resulta na diminuição do volume de trabalho, principalmente no armazenamento, catalogação e organização de documentação. Além disso, viabiliza a concentração da equipe técnica de segurança de barragens na análise de dados, documentos e desenvolvimento de projetos de engenharia ligados a soluções e comportamentos anômalos na barragem. Este artigo se encontra no contexto dos objetivos do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Sistema para Gestão da Informação e de Ações para o Plano de Segurança de Barragens”, o qual se encontra em desenvolvimento no Lactec com recursos financeiros da concessionária Neoenergia, no âmbito do programa da ANEEL.

2. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE RISCO

O uso da análise de risco e suas ferramentas em estruturas deve ser feito de forma ampla para que todas as ocorrências mapeadas que possam gerar algum dano considerável ao empreendimento sejam consideradas. Ferramentas e matrizes de decisão podem ser utilizadas para complementar a análise de risco, embasando as respostas dos responsáveis técnicos em alguma situação anômala na barragem.

De acordo com Bana (1993), as tomadas de decisões fazem parte do dia a dia e podem ser uma atividade complexa e passível de controvérsias. Faz-se necessário, portanto, que seja sustentada em métodos específicos e que retornem com a determinação do risco em estudo. Neste contexto, análises mais simples utilizando as ferramentas de análise da Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) e Análise Hierárquica de processos (AHP) podem ser utilizadas. No presente artigo, a partir dessas ferramentas, foi desenvolvido um método para analisar riscos dentro do PSB, possibilitando elencar ações vinculadas a esses riscos. A seguir, essas ferramentas metodológicas são apresentadas de forma sucinta.

2.1 MÉTODO GUT

O método GUT é muito utilizado em matrizes de risco por sua simplicidade de cálculo, fácil entendimento dos parâmetros de análise e por viabilizar uma definição a partir da sensibilidade e consideração qualitativa do avaliador. Essa ferramenta prioriza tomadas de decisão a partir de uma formulação que leva em conta a Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T) de um evento relacionado. Geralmente, o GUT é utilizado para análises que visam qualificar as situações levantadas sobre a sua prioridade para minimizar o impacto no objeto estudado.

A metodologia de cálculo da análise GUT é muito simples. A partir de atribuição de notas variando de 1 a 5 para os seus três pilares (Gravidade, Urgência e Tendência) é feita a multiplicação desses fatores (GxUxT) e, em seguida, os itens que tiverem o maior valor são os que devem ser tratados como prioridades. É possível também estabelecer uma métrica de intervalos a serem considerados e atribuir outras medidas relacionadas como prazo, previsão orçamentária, controle mais rígido da execução e status, entre outros. O funcionamento, apesar de simples, ainda é estudado e refinado nas análises de risco, tal como demonstrado nas definições propostas por Periard (2011).

2.1 MÉTODO AHP

O método AHP (sigla em inglês para Processo Hierárquico Analítico) apresentado na obra *Decision Making for Leaders* (SAATY,

1982) é destinado a organizar ações em relação a um problema ou situação identificada. O processo hierárquico possibilita uma interação simultânea de fatores, definindo prioridades, de acordo com histórico de experiências, objetivos traçados e conhecimento da situação.

Em sua concepção, o AHP é uma técnica estruturada de análise de decisão e planejamento em ambientes complexos. No AHP, diversas variáveis ou critérios são considerados para a priorização e seleção de alternativas e projetos. Segundo seu criador (Saaty, 1982), para utilização do processo é importante que os planejadores estudem a situação de forma detalhada, indicando o máximo de fatores de influência e minúcias possíveis. Isso é fundamental para delimitar a estrutura hierarquizada de acordo com esses níveis de detalhes e informações levantadas.

A metodologia do AHP se baseia no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas são, pelo menos, tão valiosos quanto os dados utilizados. A AHP consiste em três princípios básicos para a resolução de problemas: a construção hierárquica, a definição de prioridades e a consistência lógica.

A tomada de decisões está vinculada com a avaliação de alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos. Saaty (1994) fornece sugestões para elaboração de uma hierarquia, as quais seguem (1) identificar o problema geral, indicando a questão principal; (2) identificar os objetivos secundários. Caso relevante, identificar o horizonte de tempo que afeta a decisão; (3) identificar os critérios que devem ser satisfeitos na análise; (4) identificar os subcritérios de cada critério, ressaltando-se que eles podem estar em faixas de valores numéricos ou intensidades como alta, média, baixa; (5) identificar os atores envolvidos; (6) identificar os objetivos dos atores; (7) identificar opções e resultados; (8) realizar uma análise de custo-benefício usando valores marginais.

O método AHP estabelece uma comparação entre os critérios e indicadores aos pares, relacionando-os em cada nível da hierarquia. Esta relação representa o impacto relativo entre os níveis. O resultado é um vetor por nível das prioridades relativas dos pesos dos critérios / indicadores de decisão. A tomada de decisão é dada pela classificação das alternativas, ordenadas relativamente ao objetivo global.

A escala recomendada por Saaty (1991) varia entre níveis de 1 e 9, sendo 1 indicativo da indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 indicando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade se constitui nas comparações recíprocas distribuídas em uma matriz.

Por consequência, essa matriz apresenta os valores abaixo da diagonal principal como o inverso dos valores respectivamente acima. O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior? E com que intensidade? (usando a escala de níveis proposta).

3. METODOLOGIA

No Plano de Segurança de Barragens estão reunidas as rotinas de inspeção, manutenção, instrumentação, projetos e toda a história técnica da barragem. A partir das inspeções e análises das campanhas de monitoramento da instrumentação da barragem, é possível identificar eventuais anomalias e proceder com recomendações de manutenção que passam a integrar o Plano de Ação da barragem. Nesse Plano são propostas ações para cada recomendação com o intuito de controlar ou reverter a anomalia. Com isso, são desenvolvidas análises de risco para cada item do Plano de Ação visando elencar quais as ações são prioritárias e identificar, de acordo com as informações levantadas, quais os principais pontos de risco para a estrutura.

O presente artigo apresenta uma metodologia de análise de risco para o Plano de Ação da barragem com base em matrizes desenvolvidas no Excel, utilizando os métodos GUT e AHP. Para o desenvolvimento e aplicação da metodologia foi considerada uma barragem hipotética para generalizar a análise para diferentes tipos de barramentos. Sendo assim, decidiu-se considerar uma barragem de enrocamento com face impermeável de concreto. Nesse tipo de estrutura é possível observar: transições de barragem de enrocamento, fundação e técnicas construtivas de barragem de aterro e pontos de interface entre materiais construtivos (face das lajes e encontro com estruturas de concreto, como vertedouro).

A partir da barragem considerada, foi elaborado um Plano de Ação também hipotético, reunindo ações de diferentes especialidades e ocorrências nas diferentes estruturas. Para classificação das recomendações no Plano de Ação foi utilizada a análise GUT, que resulta em uma classificação numérica a partir de notas e percepções do profissional técnico avaliador. A análise GUT, no entanto, apresenta uma dificuldade no estabelecimento de critérios de avaliação, pois uma mesma anomalia pode ser classificada de forma diferente dada a percepção do avaliador e/ou ainda, em momentos diferentes, pelo mesmo responsável. Buscou-se utilizar um método que, a partir dos resultados já obtidos, retornasse quais as recomendações prioritárias para consolidar critérios de comparação. Além da análise GUT, foi desenvolvida uma matriz para aplicação do método AHP que permite efetuar comparações das recomendações e elencá-las em relação aos pesos escolhidos.

Com a identificação e planejamento dos riscos no Plano de Ação, foi verificado que algumas ações, mesmo de grupos diferentes, estavam relacionadas entre si em relação aos modos de falha da estrutura. Dessa forma, foi realizada uma análise dos modos de falha para estabelecer a quais modos a estrutura estaria sujeita. Esta análise do modo de falha, portanto, passou a incorporar a metodologia de GUT e AHP. Em outras palavras, foi elaborado o Plano de Ação com as anomalias propostas, realizado o agrupamento das ações com a identificação dos modos de falha na estrutura, análise GUT de cada recomendação e, por consequência, análise dos próprios modos de falha, finalizando com a análise AHP, que permite elencar quais dos modos de falha apresentam maior risco e demandam as ações prioritárias de manutenção.

Foi necessária ainda a seleção de uma ferramenta de análise de risco para correlacionar as ações aos respectivos modos de falhas, assim como reforçado por FEMA (2015). Esse guia expõe que uma análise por modos falhas potenciais permite identificar os modos de falha críveis e específicos do local, fornecer descrições completas dos modos em potencial e uma descrição geral da magnitude da anomalia, incluindo a identificação da probabilidade e consequências das falhas.

O PSB, bem como o Plano de Ação, não são planos estáticos. Ou seja, análises realizadas, ações identificadas e anomalias devem ser acompanhadas constantemente para avaliar sua evolução ao longo do tempo. Para essa consideração, a manutenção adequada dos meios de monitoramento é essencial, como inspeção nas estruturas, monitoramento da instrumentação e análises de projeto.

Neste sentido, para o Plano de Ação é importante que possa haver uma ponderação ou reavaliação de ações de acordo com os resultados dos meios de monitoramento, fazendo com que a análise seja real frente ao comportamento da estrutura naquele momento. Para tanto, deve ser avaliada a relação dos modos de falha com a instrumentação, inspeção e análises e, por fim, delimitar as futuras ações e recomendações de segurança.

Segundo *Central Water Commission* (2019), uma ordenação básica para identificar os modos de falha de uma estrutura estaria

ligada aos carregamentos nela atuantes. Inicialmente, os modos de falha são propostos a partir dos esforços e carregamentos na estrutura, identificando quais deles poderiam ocorrer. Após isso, foi realizado o desenvolvimento desses eventos e identificado os modos de falha resultantes.

Há diferentes ferramentas que auxiliam na identificação dos modos de falha, no entanto, dependem de características específicas da barragem. Para a análise da matriz de risco desenvolvida foi utilizado um fluxograma geral de modos de falhas apresentado por *iPresas apud Central Water Commission* (2019) (Figura 1).

A análise GUT foi realizada tanto para as ações antes da divisão em modos de falha quanto para os próprios modos de falha. Primeiramente foi desenvolvido o método GUT para as ações. Depois da reunião das ações em modos de falha, foi efetuado o cálculo da GUT dos modos. Para que as médias fossem significativas, foi utilizada uma média ponderada para o cálculo do GUT dos modos de falha. Cada recomendação foi multiplicada pelo número de risco correspondente (ex. $GUT = 15 \times R1 \times \text{Peso}$ na média ponderada = 1; $GUT = 120 \times R5 \times \text{Peso}$ na média ponderada = 5) para fazer a média ponderada. Foram utilizados valores crescentes seguindo a descrição das intensidades apresentadas na Tabela 1.

A AHP foi utilizada para tomada de decisão. Após a classificação GUT das recomendações e dos modos de falha foram realizados dois processos de análise AHP. O primeiro processo consistiu na comparação entre modos de falha e suas respectivas ações, utilizando como métrica de comparação o resultado da GUT. Ainda no primeiro processo houve análise de consistência das avaliações realizadas e dos pesos dos modos de falha.

No segundo processo utilizando a AHP foi feita a classificação com base em três parâmetros: inspeção, instrumentação e análise de projeto. Foi feita a análise dos modos de falha em relação a cada um dos meios de monitoramento. Com esse resultado, foi possível identificar qual o tipo de monitoramento prioritário para cada modo de falha e verificar a influência da alteração no monitoramento em relação às anomalias da estrutura.

LEGENDA DA MATRIZ GUT			
Intensidade	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)
1 (1-25)	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar
2 (26-50)	Pouco grave	Pouca pressa	Vai piorar em longo prazo
3 (51-75)	Grave	O mais cedo possível	Vai piorar em médio prazo
4 (76-100)	Muito grave	Com alguma urgência	Vai piorar em pouco tempo
5 (101-125)	Extremamente grave	Ação imediata	Vai piorar rapidamente

TABELA 1 – Valores de intensidade dos parâmetros da GUT

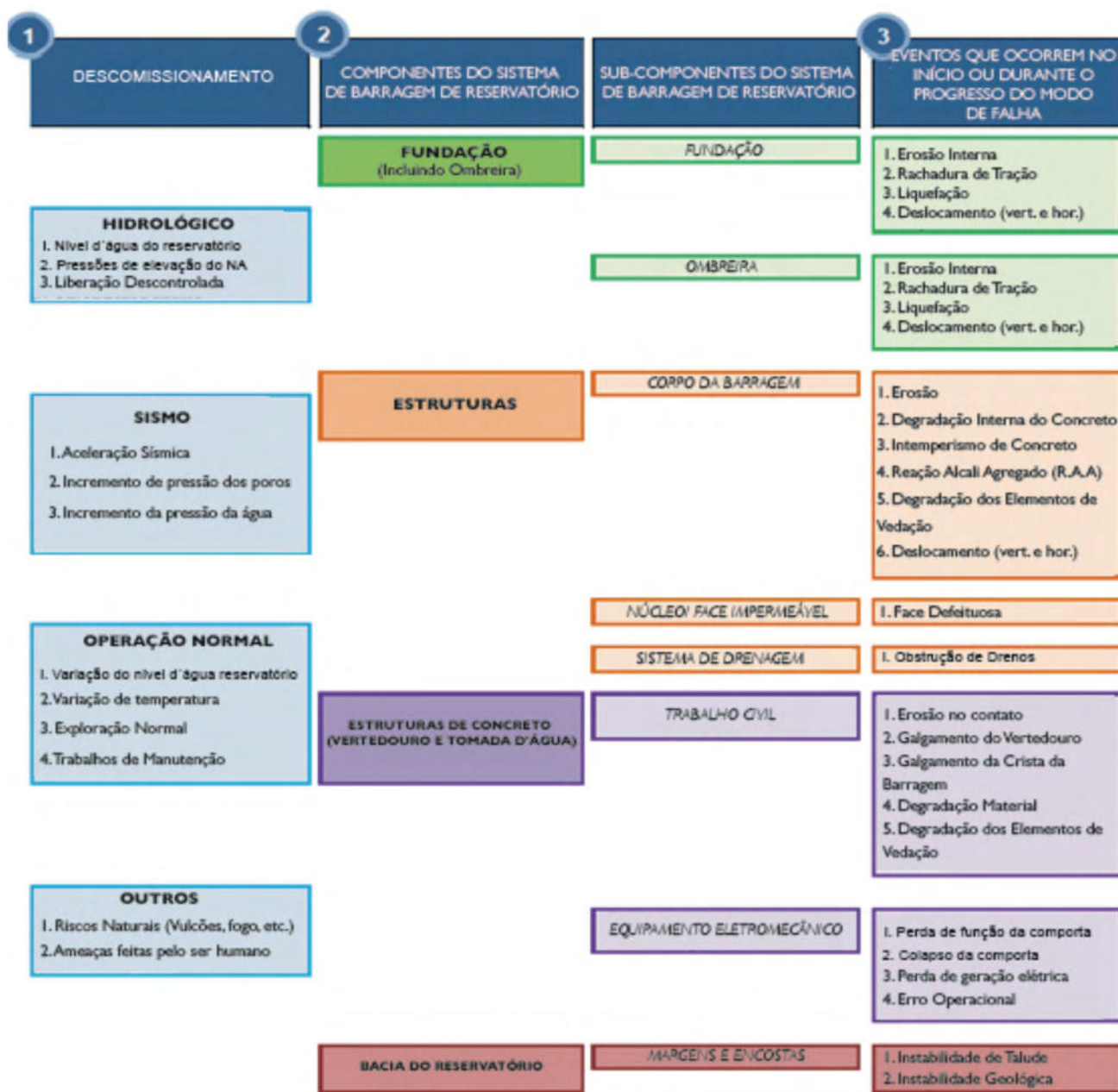


FIGURA 1 – Modos de falha gerais (Central Water Commission, 2019)

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para as análises realizadas compreendendo GUT, separação em modos de falha, AHP dos modos de falha e AHP dos modos de monitoramento em relação à falha, foi feita a fase de classificação de risco para as situações apresentadas. Como forma de subsidiar a classificação, foi revisada a matriz apresentada por Central Water Commission (2019) e FEMA (2015). A Central Water Commission (2019) divide os modos de falha em classes variando de “a” a “d”, tal como apresentado na Figura 2. Nessas classes são avaliadas a progressão

do modo de falha (de não observado e crível até iminente) e as consequências que esse modo pode causar.

Uma outra abordagem relatada por Central Water Commission (2019) e compartilhada por FEMA (2015) foi a classificação dos modos de falha segundo uma matriz que relaciona a probabilidade de ocorrência com a consequência estimada (Figura 3). Nessa matriz são estipuladas pontuações em relação aos quadrantes significativos. Um exemplo de consideração de alguns modos de falha (colapso nas comportas, galgamento, instabilidade sísmica, erosão interna) foram realizados e apresentados na Figura 4.

FEMA (2015) traz um entendimento similar ao apresentado, contemplando uma matriz com a consequência e a probabilidade de ocorrência. A grande diferença entre essas matrizes é a fronteira estabelecida por FEMA – linha tracejada na matriz da Figura 5, que divide duas regiões do gráfico. Essa fronteira foi estabelecida com base no risco intrínseco e no risco tolerável. Com base nesses referenciais e de acordo com as classificações de risco da GUT realizada é que foi produzida a matriz apresentada na Tabela 2, com os quadrantes classificados segundo o ordenamento crescente dos valores da GUT.

A partir desta matriz, levando em conta o grau de risco da GUT, foi elaborada a matriz final de classificação de risco, que considera o grau de risco e o resultado das prioridades dos modos de falha segundo a AHP. A matriz final de classificação de risco segue na Figura 6. Para a análise do gráfico da Figura 6, ressalta-se que os modos de falha foram enumerados de acordo com a estrutura, como exemplos, 1 para fundação, 1.2 para fundação ombreira e falha prevista, 1.2.1 para erosão interna desencadeada na fundação da ombreira e assim por diante.

A partir dos modos de falha classificados com a GUT, hierarquizados após as interações previstas na AHP e ponderados em relação ao seu meio de monitoramento (AHP de prioridade de monitoramento e ponderação na GUT usando esses resultados de prioridade), foi possível classificar as ações perante o seu grau de risco e prioridade no modo de falha. O esquema de cores do gráfico seguiu as cores apresentadas na Figura 5 como modelo.

Como análise dos resultados, dentre as ações hipotéticas levantadas, foi indicado ao avaliador da barragem que os modos de falha 1.2.1, 2.1.3 e 2.3.1 são os que apresentam maior risco e devem ser priorizados. Dessa forma, o conjunto de ações que está relacionado a esses modos de falha devem ser avaliados e solucionados. Os meios de monitoramento devem ser consultados para se verificar o que foi atribuído a esses modos de falha por serem os prioritários. Assim, a ferramenta auxilia graficamente na análise de ações de manutenção, numericamente por meio da pontuação GUT e de forma interativa com a ponderação, comparação e hierarquização que o AHP fornece nessa metodologia desenvolvida.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta uma breve descrição dos métodos de avaliação de risco recorrentes na bibliografia e uma formulação de avaliação de risco empregando múltiplas ferramentas, até a classificação final dos riscos perante o comportamento da estrutura e o grau de risco envolvido. As análises realizadas auxiliaram na busca do objetivo geral, que

Classificação dos Modos de Falha	
CLASSE A	Falha em progressão ou iminente. Medidas de reabilitação excepcionais e/ou ações urgentes são necessárias.
CLASSE B	Modo de Falha é crível e há informações suficientes para analisar sua probabilidade de ocorrência por meio de uma análise de risco quantitativa
CLASSE C	Informações insuficientes para determinar a credibilidade do modo de falha. Mais estudos e ou instrumentações são necessárias para análise da probabilidade por meio de análises de risco quantitativas
CLASSE D	Modo de Falha não é crível ou suas consequências são muito baixas. Dessa forma, não são necessárias estimativas de risco. Deve ser reavaliada em inspeções futuras.

FIGURA 2 – Classificação dos modos de falha
(Central Water Comission, 2019)

Categoria de Probabilidade da Falha	Muito Alto	16	11	7	4	2	1
	Alto	21	17	12	8	5	3
	Moderado	25	22	18	13	9	6
	Baixo	28	26	23	19	14	10
	Remoto	30	29	27	24	20	15
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		Categoria da Consequência					

FIGURA 3 – Matriz de classificação e pontuação da probabilidade e consequência
(Central Water Comission, 2019)

Categoria de Probabilidade da Falha	Muito Alto					
	Alto					Galga-mento
	Moderado		Colapso Concreto			
	Baixo				Erosão Interna	
	Remoto				Atividade Sísmica	
		C1	C2	C3	C4	C5

FIGURA 4 – Classificação de alguns modos de falha de acordo com probabilidade e consequência
(Central Water Comission, 2019)

		Matriz de Risco			
Probabilidade da Falha	Muito Alto				
	Alto				
	Moderado				
	Baixo				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
		Categoria das Consequências			

FIGURA 5 – Matriz de classificação de risco segundo probabilidade e consequência
(FEMA, 2015)

101-125	R5	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Muito Alto	Muito Alto
76-100	R4	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Muito Alto
51-75	R3	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
26-50	R2	Remoto	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Alto
1-25	R1	Remoto	Remoto	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado

TABELA 2 –
Matriz em
quadrantes da
classificação
de risco

Prioridade e Importância Modo de Falha

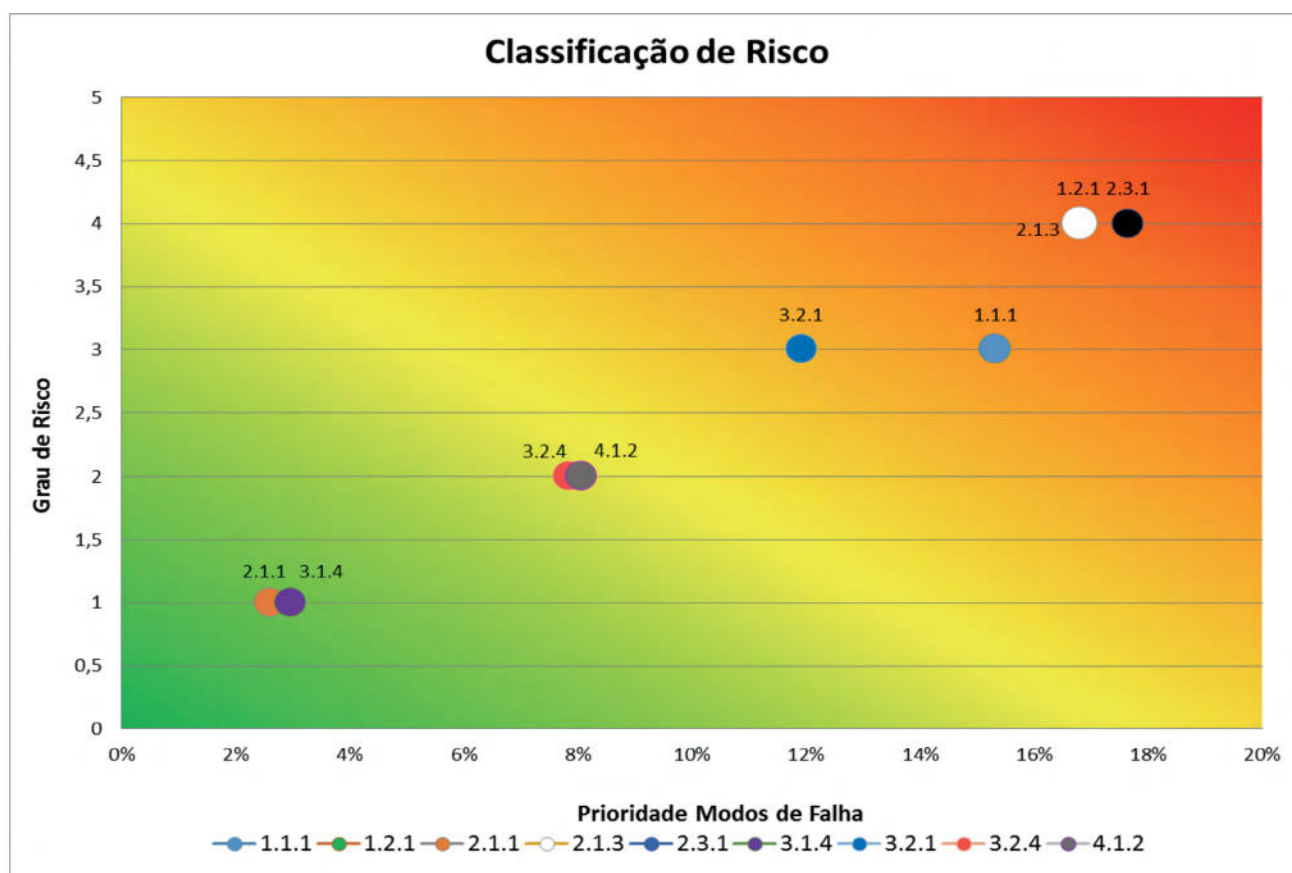


FIGURA 6 – Matriz final de classificação de risco

compreendeu o desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco. Foi desenvolvido um modelo de avaliação das principais ações de manutenção a serem realizadas, considerando os riscos, falhas e efeitos associados. A análise de risco e a metodologia proposta e desenvolvida resultaram em gráficos de classificação de risco e prioridade de ações ligadas aos modos de falha. Além disso, foi possível verificar quais eram os meios de monitoramento prioritários em relação a cada modo de falha e como uma ponderação baseada na avaliação desses monitoramentos poderia ser conduzida (etapa da ponderação da GUT no Plano de Ação). De posse da metodologia desenvolvida, é possível integrá-la ao Plano de Segurança de Barragens.

Pode-se afirmar que o método de análise de risco desenvolvido é inovador mesmo que tenham sido utilizadas ferramentas já conhecidas (GUT e AHP). Aliado às ferramentas citadas, tentou-se utilizar a análise de modo de falha (FMEA), o que não foi possível em função da necessidade de um número maior de dados da estrutura. Mais especificamente, com base na classificação GUT, na divisão em modos de falha, nas consecutivas matrizes AHP desenvolvidas e na correlação com os monitoramentos, foi possível observar quais seriam os principais modos de falha e as ações relacionadas que devem ser priorizadas pelo responsável pela barragem. E, dentre as ações de monitoramento, quais as principais para que o sistema, automaticamente, reavalie o peso e classificação das ações.

6. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de barragens; análise de risco; classificação de risco e prioridades; matriz decisória.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BANA e COSTA. (1993) Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas. Actores e Acções. Palestra Apresentada no Curso “Ambiente: Fundamentalismos e Pragmatismo”, Seminário Pedro Nunes, Convento da Arrebida, Portugal.
- [2] BRASIL. (2020) Lei Federal nº 14.066 de 30 de setembro de 2020. Diário Oficial da União. Brasília.
- [3] BRASIL. (2010) Lei Nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Presidência da República- Casa Civil- Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília.
- [4] CENTRAL WATER COMMISSION. (2019) Guidelines for Assessing and Managing Risks Associated with Dams. Central Water Commission. Ministry of Water Resources, River Development and Ganga Rejuvenation. Government of India.
- [5] FEMA. (2015) Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management. FEMA P – 1025. U.S. Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- [6] FREITAS, BARCELLOS, ASMUS, SILVA e XAVIER. (2019) Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. Espaço Temático: Mineração e Desastres Ambientais. Cadernos de Saúde Pública.
- [7] PERIARD, G. (2011) Matriz GUT – Guia completo. Disponível em <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>.
- [8] SAATY, T. (1982) Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. University of Pittsburgh.
- [9] SAATY, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces, 24, 19-43.
- [10] SAATY, T. L. (1991). Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books.



Gustavo Salum ANDRADE

É Engenheiro Civil pela UFRJ (2018), Pós-graduado em MBA- Gestão de Projetos na UFRJ, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, área de concentração Meio ambiente e Desenvolvimento, do Lactec. Atua na área de Geração com ênfase em Infraestrutura, Operação, Manutenção e Segurança de barragens na Neoenergia S.A.



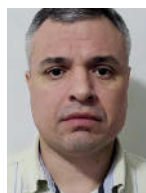
Luiz Gustavo Fortes WESTIN

Possui graduação em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá (2007), especialização em Sistemas Elétricos pela UNIFEI (2010) e especialização em Segurança de Barragens pelo Instituto IDD (2016). Atualmente é Engenheiro Especialista na Neoenergia S.A. Tem experiência na área de Segurança de Barragens, Monitoramento Hidrológico e Operação Hidráulica.



Esther DYCK

Possui graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2019), tendo atuado como estagiária no Laboratório de Geotecnia do Lactec em 2017-2018. Está cursando mestrado no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia (2020-2022) do Lactec e é pesquisadora na mesma instituição.



Rodrigo Moraes da SILVEIRA

Possui graduação em Engenharia Civil pela UFSM (2001), Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil/Geotecnia pela UFRGS (2003 e 2008) e Doutorado na modalidade sanduíche do CNPq na Colorado State University, EUA (2007). Atua como pesquisador sênior, professor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, além de ser Coordenador do Laboratório de Geotecnia do Lactec.

TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DA LEI 14066 NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

Amanda RICARDI | Consultora de Engenharia de Segurança de Barragens - Geometrisa
Marielly ANACLETO | Consultora de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa
Arthur ANDREETTA | Consultor de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa
Euclydes CESTARI JR | Consultor de Engenharia de Segurança de Barragens - Geometrisa

RESUMO

A Lei de Segurança de Barragens Brasileira, Lei Federal nº 12.334, completou 10 anos de sua promulgação em 2020. Naquele mesmo ano sofreu significativas alterações promovidas pela Lei Federal nº 14.066, em 30 de setembro de 2020. A promulgação das alterações propostas foi motivada, principalmente, pelo desastre com a Barragem da Mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho, Minas Gerais, no dia 25 de janeiro de 2019. Com o intuito de se evitar que novos desastres como os vivenciados recentemente aconteçam, as alterações na Lei propõem maiores responsabilidades por parte do empreendedor, assim como um Plano de Ação de Emergência mais detalhado a partir de um conteúdo mínimo muito mais extenso que o cobrado anteriormente. Essas novas exigências se tornam motivo de estudo.

ABSTRACT

The Brazilian Dam Safety Law, Federal Law No. 12,334, completed 10 years of its enactment in 2020, and in that same year, it underwent significant changes promoted by Federal Law 14,066, on September 30, 2020. The enactment of the proposed changes was motivated mainly by the disaster with the Córrego do Feijão Mine Dam, in Brumadinho - Minas Gerais, on January 25, 2019. In order to prevent new disasters such as those experienced recently, changes in the Law propose greater responsibilities on the part of the entrepreneur, as well as a more detailed Emergency Action Plan based on a minimum content much more extensive than previously charged. These new requirements become a subject of study.

1. INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) [1]. No ano em que completou 10 anos, a Lei de Segurança de Barragens foi alterada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

A alteração traz definições atualizadas para efeito da Lei, destacando-se a definição de barragem, da Zona de Autossalvamento (ZAS), da Zona de Segurança Secundária (ZSS) e de desastre. A Lei amplia os objetivos da PNSB, com a definição de procedimentos emergenciais e fomento à atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre. Além disso, a Lei nº 14.066 acrescenta os instrumentos da PNSB, incluindo o SNIRH, o monitoramento de barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência e os guias de boas práticas em segurança de barragens. [2 e 3]

O Plano de Ação de Emergência (PAE) é um documento técnico, elaborado por empreendedores de barragens, que passa a ser obrigatório para todas as barragens classificadas com dano potencial associado médio/alto ou risco alto, e deve ser revisado, com periodicidade a ser definida pelo órgão fiscalizador, em ocasiões específicas. Além de muitos itens acrescentados em seu conteúdo mínimo, o Plano deverá estar disponível no site do empreendedor e ser mantido, em meio digital, no SNISB, e em meio físico, no empreendimento, nos órgãos de proteção e defesa civil dos municípios inseridos no mapa de inundação ou, na inexistência desses órgãos, na prefeitura municipal. [2 e 3]

Para barragens novas, antes do início do primeiro enchimento do reservatório, o PAE deve ser elaborado, implementado e operacionalizado, o que inclui a realização de reuniões com as comunidades para a apresentação do Plano e a execução das medidas preventivas nele previstas, em um trabalho conjunto com as prefeituras municipais e os órgãos de proteção e defesa civil. [2 e 3]

A articulação do empreendedor com os órgãos de proteção e defesa civil municipais e estaduais torna-se parte da elaboração do PAE para promover e operacionalizar os seus procedimentos. Os órgãos de proteção e defesa civil e os representantes da população da área potencialmente afetada devem ser ouvidos na fase de elaboração do documento sobre as medidas de segurança e os procedimentos de evacuação em caso de emergência. Há também a necessidade de um levantamento cadastral da população existente na ZAS com identificação de vulnerabilidades sociais. [2 e 3]

Esta articulação deve ser estendida aos exercícios práticos de simulação, com periodicidade a ser definida pelo órgão

fiscalizador, os quais devem ser realizados com a população da área potencialmente afetada. Os elementos de autoproteção existentes na ZAS, de competência do empreendedor, deverão ser estendidos aos locais habitados da ZSS onde os órgãos de proteção e defesa civil não possam atuar tempestivamente em caso de vazamento ou rompimento da barragem. [2 e 3]

Diante dos desafios impostos pelas alterações na Lei, este trabalho apresenta técnicas para adequação do referido documento.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica, com base nos materiais concernentes à PNSB, além das Leis Federais em questão [1 e 2], assim como a Resolução Normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [4], a Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) [5], bem como o Manual do Empreendedor de Segurança de Barragens, disponível no site da ANA, dividido em oito volumes. [6]

A partir de análises qualitativas da Lei Federal nº 14.066/2020, verificou-se as mudanças mais expressivas mediante as alterações do conteúdo mínimo exigido para a elaboração do PAE. Posto isso, para cada inciso analisado do artigo 12, elaborou-se um procedimento orientativo para atender as diretrizes estabelecidas na Lei.

Além disto, sobre as medidas específicas solicitadas pelo inciso VI, buscou-se o entendimento das Leis nº 12.340/2010 [7], nº 12.608/2012 [8] e nº 12.983/2014 [9], bem como o Livro Base de Elaboração de Plano de Contingência (Plancon) [10], para avaliar as competências dos órgãos de defesa civil municipais e verificar qual a melhor área para atuação do empreendedor. Também foi realizada uma pesquisa relacionada aos desastres de Mariana e Brumadinho para verificar quais medidas específicas foram aplicadas pelos empreendedores. [11, 12]

3. RESULTADOS

3.1 PRINCIPAIS ALTERAÇÕES NA LEI FEDERAL Nº 12.334/2010 EM RELAÇÃO AO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

Verifica-se que o conteúdo mínimo para elaboração do PAE foi substancialmente alterado. A Lei Federal nº 14.066/2020 amplia as medidas e disposições da Lei Federal nº 12.334/2010 com objetivo de aumentar a efetividade de ações de prevenção e de resposta aos cenários emergenciais e acidentes ou desastres envolvendo

barragens, incorporando não só novas definições, mas também novas atribuições para a elaboração, implantação e operacionalização do Plano de Ação de Emergência.

As mudanças mais significativas se referem aos incisos IV, VI, VII, IX, X e XI, as quais incluem: a realização de exercícios e simulados periódicos (inciso IV), medidas específicas para resgate de seres vivos, mitigação de impactos ambientais, abastecimento de água potável, resgate e salvaguarda do patrimônio cultural (inciso VI), dimensionamento de materiais e recursos humanos essenciais para resposta ao pior cenário emergencial (inciso VII), realização do levantamento cadastral da população existente na zona de autossalvamento, identificação de suas vulnerabilidades sociais (inciso IX), sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem associado aos procedimentos de emergência (inciso X) e plano de comunicação entre todos os envolvidos (inciso XI). [1, 2]

Por último, observa-se que a articulação entre o empreendedor e o poder público é fundamental para conhecer a estrutura da defesa civil municipal perante os recursos disponíveis e as deficiências desses órgãos, e saber onde o empreendedor poderá apoiar e deverá atuar.

3.2 PROPOSTA TÉCNICA DE APLICAÇÃO DAS PRINCIPAIS ALTERAÇÕES DA LEI Nº 12.334/2010 PARA ADEQUAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

Mediante a análise realizada dos incisos incluídos pela complementação advinda da Lei Federal nº 14.066/2020, foram elaborados procedimentos orientativos para adequação do conteúdo do Plano de Ação de Emergência.

3.2.1 PROGRAMAS DE TREINAMENTO E DIVULGAÇÃO

Na Figura 1, apresenta-se um fluxograma orientativo para a elaboração e realização dos programas de treinamento para resposta aos cenários emergenciais.

Durante a elaboração do programa de treinamento é recomendado entender as necessidades de todos os envolvidos em situações de emergência, planejar as atividades a serem realizadas, definir um escopo de trabalho, divulgar o evento, colocar o Plano em prática e, por fim, avaliar e analisar os resultados obtidos com o programa de treinamento.

3.2.2 MEDIDAS ESPECÍFICAS

De acordo com o estabelecido pela Lei nº 12.608/2012, a defesa civil executa a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) em seu âmbito territorial. Nesta Lei estão preconizadas, em seu art. 8º, as competências do órgão de defesa civil em cenários de desastre [8]. É competência do município elaborar o Plancon, cujos elementos necessários para elaboração estão dispostos no § 7º do art. 3º-A. da Lei nº 12.340/2010 [7].

Apesar de muitas medidas estarem previstas no Plancon, algumas atribuições passaram a ser responsabilidade do empreendedor. Ele deve articular com órgãos do poder público o estabelecimento das medidas específicas. [7 e 8]

Salienta-se a importância deste item ser bem planejado para que sua efetividade possa ser testada em treinamentos e simulados.



FIGURA 1 –
Fluxograma de
organização do
Programa de
Treinamento

3.2.2.1 RESGATE DE SERES VIVOS - PESSOAS E ANIMAIS

As intervenções no resgate, como o estabelecimento de procedimentos e gerenciamento de risco de animais em desastre, poderão ser realizadas pelas entidades ambientais responsáveis, auxiliados pela defesa civil e pelo empreendedor.

Na Figura 2 apresenta-se, como sugestão, as etapas de planejamento e diretrizes para a articulação entre o empreendedor e o poder público até a definição das medidas específicas.

A partir do planejamento e da articulação com o poder público, o empreendedor poderá estabelecer suas medidas específicas em cenários emergenciais, como por exemplo: fornecer equipamentos, meios de transporte, itens de necessidades básicas, suprimentos e alimentação; definir os responsáveis do empreendimento para apoiar o resgate (Quem? O que? Como?).

3.2.2.2 MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Entende-se por mitigação, no que tange ao meio ambiente, as ações que visam reduzir ou remediar impactos ambientais

[13]. Neste contexto, como medidas mitigadoras de impacto ambiental, considerando os aspectos ambientais, seus efeitos e impactos prováveis face ao eventual cenário emergencial envolvendo as estruturas do barramento, o empreendedor poderá realizar as seguintes medidas específicas – de acordo com o cenário identificado e quando cabível: manutenção e recuperação da mata ciliar e de APP com uso de espécies vegetais nativas; recuperação das áreas degradadas; controle de processos erosivos; monitoramento limnológico e de qualidade da água; monitoramento da ictiofauna; auxílio no resgate da fauna antes e durante a situação de emergência; verificação da alteração da dinâmica hídrica do rio; e monitoramento das vazões.

3.2.2.3 SALVAGUARDA DO PATRIMÔNIO CULTURAL

O empreendedor poderá ter conhecimento dos bens de patrimônio cultural por meio da articulação com o poder público e a população local. Para verificar se esses bens estão localizados nas regiões atingidas pela mancha de inundação proveniente do rompimento hipotético da barragem, ambos, em conjunto, poderão definir suas respectivas responsabilidades (Quem? O que? Como?), conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.

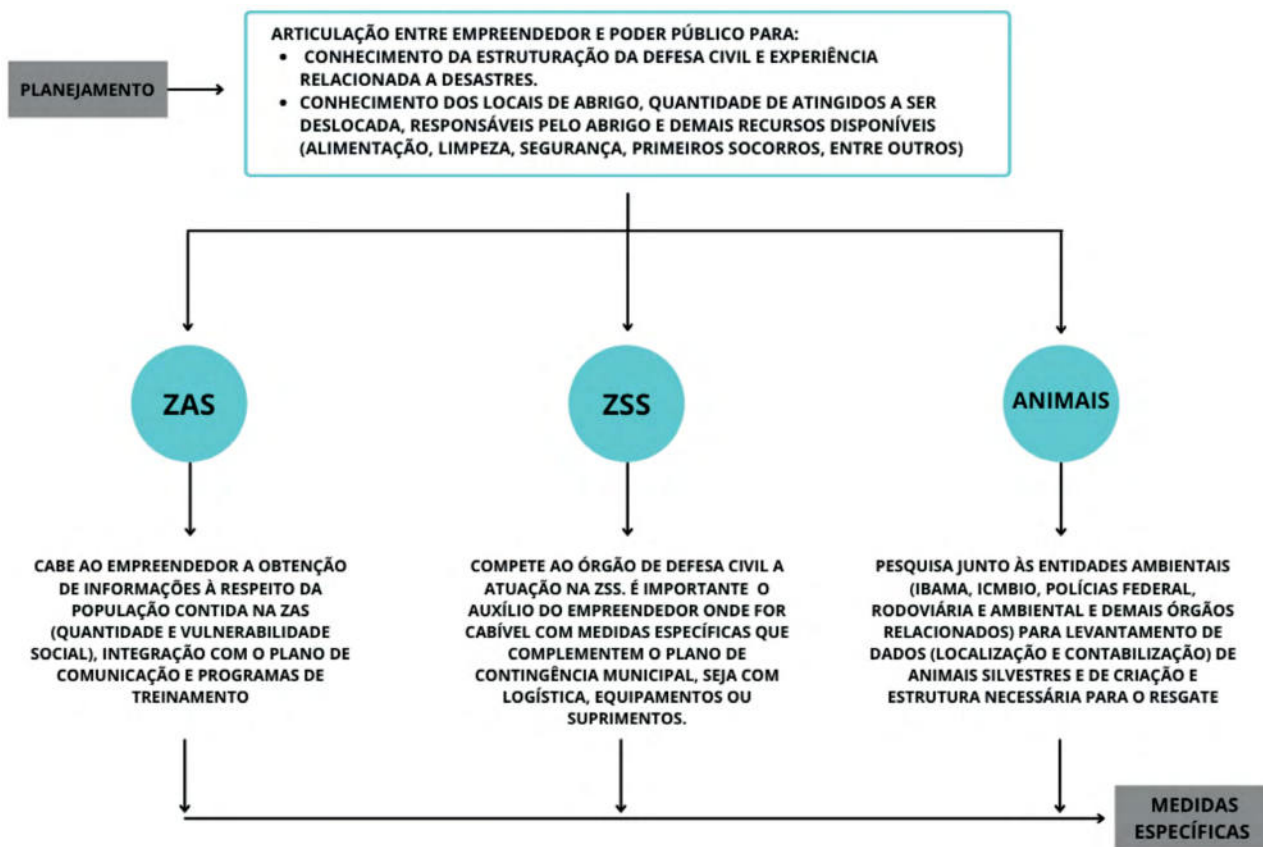


FIGURA 2 – Etapas do planejamento para definição de medidas específicas de resgate de seres vivos

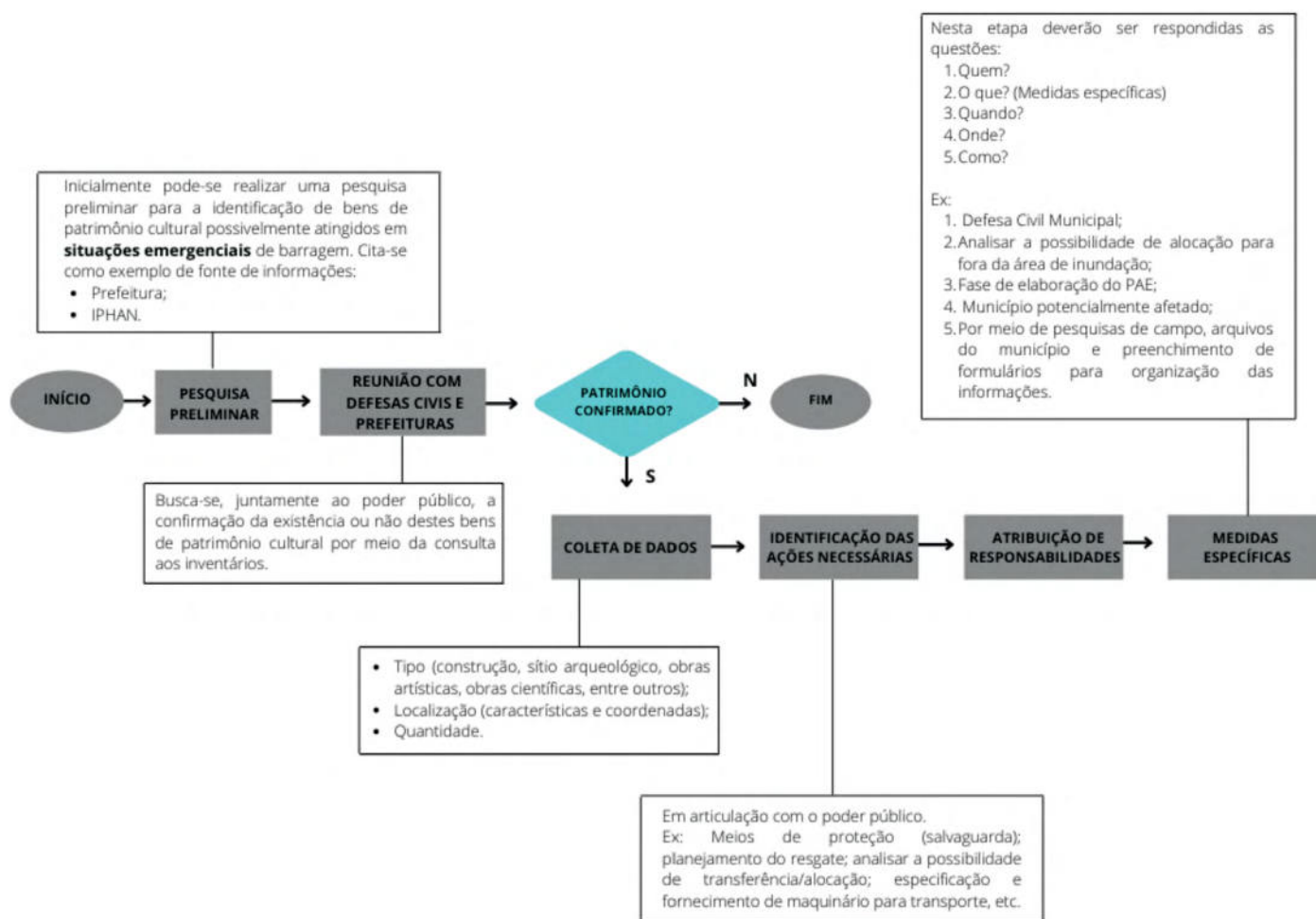


FIGURA 3 – Fluxograma de medidas para salvaguardar o patrimônio cultural

Desta forma, o empreendedor poderá estabelecer quais medidas específicas poderá executar, como por exemplo: delimitação da área patrimonial; realização de programas de resgate e salvamento arqueológico e valorização cultural; instalação e manutenção de equipamentos museológicos; realocação dos bens de patrimônio para áreas seguras; e reparação dos danos aos patrimônios, público e privado, em caso de dano ocasionado pelo acidente ou desastre, até a completa descaracterização da estrutura.

3.2.2.4 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

Cabe ao poder público, como medida emergencial de restabelecimento de serviços essenciais, no âmbito da PNPDEC, promover a retomada e continuidade da prestação de serviços de abastecimento de água potável à população atingida (art. 2º, inciso V, do Decreto 10.593/20). [14]

É papel do empreendedor auxiliar os órgãos públicos, no que for cabível, em medidas temporárias que assegurem o abastecimento de água potável em caso de uma situação de emergência, enquanto os serviços em questão não são reestabelecidos pelas respectivas empresas responsáveis pela prestação do serviço.

Diante disto, faz-se necessário o levantamento de informações acerca da existência ou não de sistemas de abastecimento que possam vir a ser atingidos e/ou danificados de modo a comprometer o abastecimento de água no município potencialmente atingido (ou cujo abastecimento é comprometido pelo acidente/desastre). O fluxograma da Figura 4 define algumas diretrizes para o estabelecimento destas medidas, as quais podem ser fornecimento de galões de água, disponibilização de caminhões pipa, entre outros.

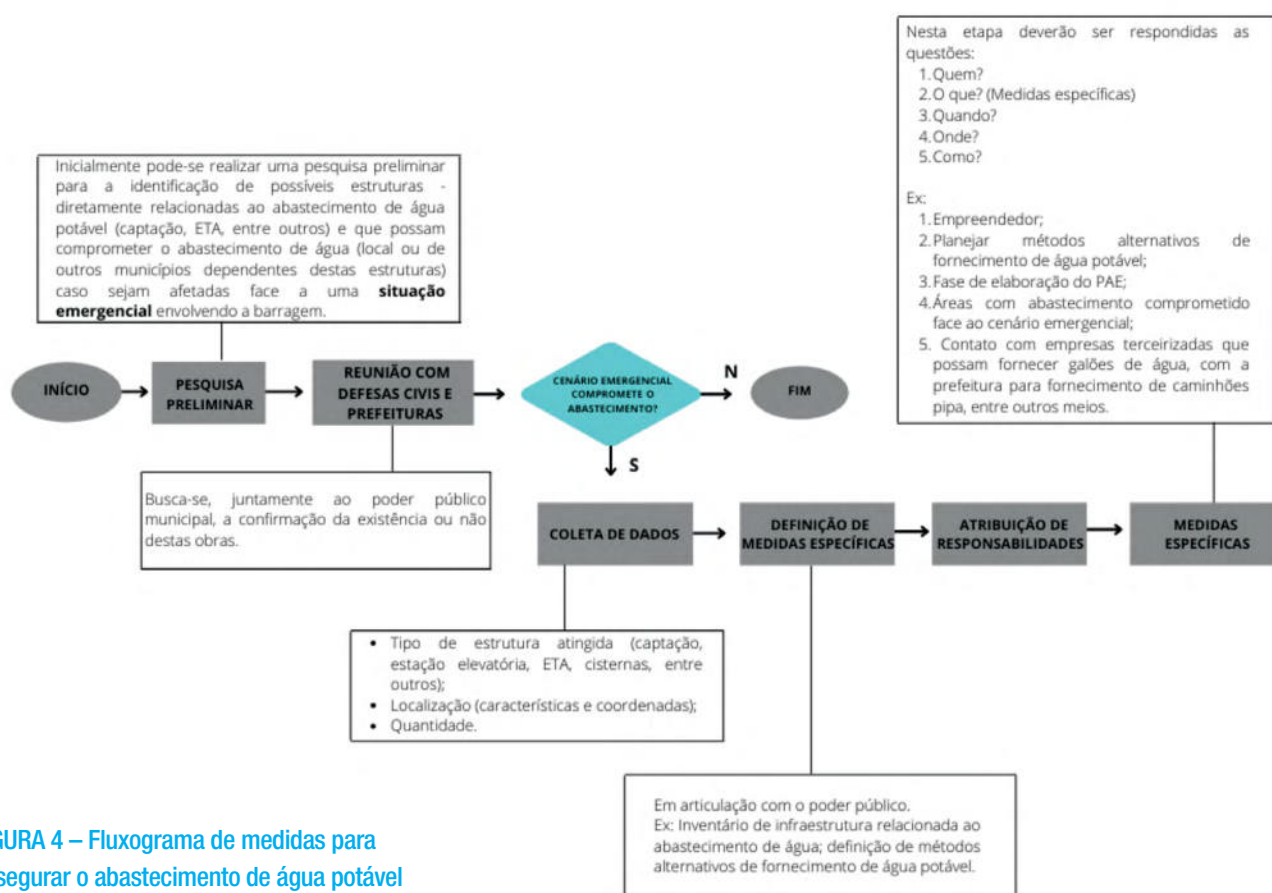


FIGURA 4 – Fluxograma de medidas para assegurar o abastecimento de água potável

3.2.3 DIMENSIONAMENTO DE MATERIAIS E RECURSOS HUMANOS ESSENCIAIS PARA RESPOSTA AO PIOR CENÁRIO EMERGENCIAL

Diante de situações de emergência devem existir recursos humanos e materiais, fixos e mobilizáveis, com destaque para os meios de comunicação, de fornecimento de energia, de transporte e outros. Esses recursos são necessários para um atendimento imediato e provisório frente às condições de emergência que estejam se iniciando. Isso permite que se ganhe tempo até a chegada de equipe, equipamento e materiais que realmente possam ter uma ação mais completa sobre o evento.

Além disto, o empreendedor deve dimensionar os recursos humanos disponíveis no empreendimento com equipe técnica especializada e apta para agir em situações de emergência e com profissionais especificamente treinados para exercerem funções pertinentes face ao pior cenário identificado.

Assim, o PAE deverá conter: inventário dos materiais renováveis e móveis disponíveis na barragem (materiais de con-

strução, maquinários, ferramentas, entre outros), e inventário dos recursos humanos disponíveis na barragem (operadores, técnicos, engenheiros, entre outros).

3.2.4 LEVANTAMENTO CADASTRAL E MAPEAMENTO ATUALIZADO DA POPULAÇÃO EXISTENTE NA ZAS, INCLUINDO A IDENTIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADES SOCIAIS

Em atendimento ao inciso IX do art. 12 da Lei nº 12.334/2010, alterada pela Lei nº 14.066/2020, elaborou-se uma ficha de cadastramento da população potencialmente afetada na ZAS, como ilustrado no Quadro 1, com a inclusão de informações relevantes para a classificação de vulnerabilidades sociais, sendo essas, Pessoa com Deficiência (PcD), idosos e crianças, pessoas que tomam remédios controlados, características construtivas das edificações, classe social e escolaridade [15].

Salienta-se a importância de que os dados sensíveis coletados no formulário de cadastramento sejam tratados de acordo com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais.

INFORMAÇÕES GERAIS DO ENTREVISTADO						
Nome do entrevistado: _____				Tel: _____		
Reservatório: _____				Comunidade da ZAS: _____		
Endereço: _____				Número: _____		Compl.: _____
Ponto de Referência: _____				Bairro: _____		
Entrevistador: _____				Data: ____/____/____		
DADOS PESSOAIS GERAIS DOS MORADORES						
Nº	Nome Completo	Parentesco	Gênero	Idade	Escolaridade	PcD*
						() sim () não
						() sim () não
FINANCEIRO						
Quantidade de contribuintes: _____						*Pessoa com Deficiência
Renda per capita: R\$ _____						
Beneficiário(s) de algum programa social? () sim () não Se sim, qual/quais? _____						
HABITAÇÃO						
Condição da residência: () própria () alugada () cedida () posse						
Tipo de moradia: () alvenaria () madeira () barro/taipa () papelão Outros: _____						
Abastecimento de água: () poço () cacimba () cisterna outros: _____						
Animais na propriedade: _____ () bovinos () suínos () aves () caprinos () equinos () caninos () felinos outros: _____						
TRANSPORTE						
Família possui algum tipo de veículo: () sim () não						
Se sim, qual(is): () caminhão () carro () moto () bicicleta () outro(s): _____						
SAÚDE						
Necessidade de acompanhamento médico específico:						
() Hipertensão () Diabetes () Insuficiência renal () Problemas cardíacos () Câncer						
Outros: _____						
Pessoa da família faz uso de medicamento contínuo ou controlado: () sim () não						
Descrição: _____						
Em caso de Pessoas com Deficiência, especificar quantidade e tipo: _____						
COMUNICAÇÃO						
Operadoras de celular disponíveis na comunidade: () Oi () Vivo () Claro () Tim Outra(s): _____						
Número de celulares para contato: () _____ () _____ () _____						
Acesso a internet/redes sociais: () sim () não. Contato com Whatsapp: () _____						
Possui televisão? () sim () não Se sim, assiste canais da TV aberta?						
Quais: _____						
Costuma ouvir rádio locais? () sim () não Se sim, qual(is): _____						
DE PROTEÇÃO DE DADOS PESSOAIS						
Os dados pessoais coletados neste instrumento serão utilizados, armazenados e tratados exclusivamente para o cumprimento das obrigações legais previstas na Lei nº 12.334/10, alterada pela Lei nº 14.066/20, com a finalidade de levantamento cadastral e em observância a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/18).						
OBSERVAÇÕES						

QUADRO 1 – Formulário de cadastramento pessoal para população potencialmente afetada na ZAS

3.2.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM INTEGRADO AOS PROCEDIMENTOS EMERGENCIAIS

Para definir o sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem associado aos procedimentos emergen-

ciais elaborou-se o fluxograma apresentado na Figura 5, o qual apresenta de forma resumida e esquemática as eventuais ocorrências passíveis de serem detectadas em inspeções visuais, em conjunto aos resultados da instrumentação, integrando o sistema de monitoramento aos procedimentos emergenciais de ação e resposta do PAE.

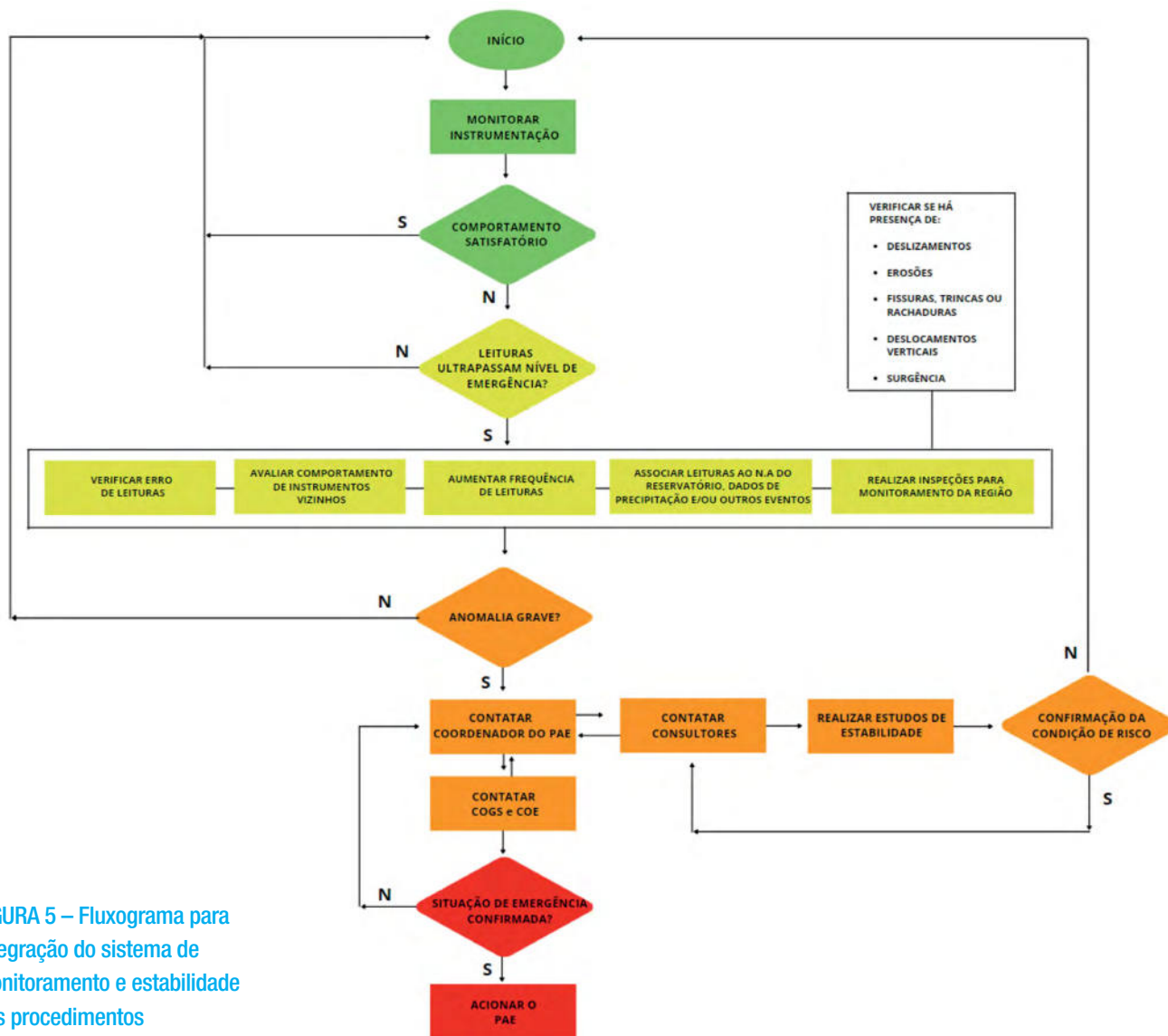


FIGURA 5 – Fluxograma para integração do sistema de monitoramento e estabilidade aos procedimentos emergenciais

3.2.6 PLANO DE COMUNICAÇÃO

Para que a resposta ao cenário emergencial seja efetiva e assegure a realização das ações previstas no PAE e no Plano de Contingência Municipal, é imprescindível uma comunicação bem planejada entre os envolvidos (empreendedor, órgãos públicos, polícia militar, polícia civil, hospitais, órgãos ambientais e demais entidades). Por isso, é necessário estabelecer um fluxograma para notificação de emergência, estabelecendo a logística dos contatos e os responsáveis por eles. Assim, são necessárias as seguintes informações correspondentes ao empreendedor:

- Contato dos responsáveis pelo PAE no empreendimento (coordenador do PAE, substituto do coordenador, responsável legal pelo empreendimento, responsável pelo centro de operação, entre outros);
- Como será feito o acionamento?

4. CONCLUSÕES

A partir das alterações realizadas pela Lei nº 14.066/2020 no conteúdo mínimo do PAE, observou-se que os itens incluídos na Lei nº 12.334/2010 demandam maior articulação entre empreendedor e autoridades públicas, tanto no âmbito federal quanto municipal. Essa situação acarreta algumas dificuldades, principalmente na comunicação com entidades municipais. Não obstante, na maioria dos casos, os órgãos municipais não possuem uma estrutura organizacional consolidada.

Dessa forma, o presente trabalho apresentou técnicas e procedimentos orientativos que buscaram otimizar esta comunicação e aproximar o empreendedor dos órgãos de proteção e defesa civil para que possam agir em busca de objetivos em comum: salvar vidas e minimizar impactos sobre o vale jusante em cenários emergenciais.

Além disso, as técnicas visam evitar a redundância de funções, visto que algumas competências estabelecidas na alteração da Lei de Segurança de Barragens replicam as obrigações definidas nos Plancon e podem acarretar no cruzamento de informações e atribuições aos envolvidos.

Por fim, conclui-se que as propostas técnicas elaboradas neste trabalho para adequação do PAE em conformidade com a Lei nº 14.066/2020 apresentaram-se eficientes, de acordo com aplicações já realizadas em empreendimentos.

5. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de Barragens, Política Nacional de Segurança de Barragens, Lei Federal nº 14.066/2020, Plano de Ação de Emergência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.
- [2] BRASIL. Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.
- [3] ANDREETTA, A.B. Avaliação Comparativa dos marcos regulatórios estaduais de segurança de barragens de usos múltiplos do Brasil. Ilha Solteira, 2020. Dissertação de mestrado Profª Água da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2020. 395 f.
- [4] ANEEL- Agência Nacional De Energia Elétrica. Resolução normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015.
- [5] ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Resolução normativa nº 236, de 30 de janeiro de 2017.
- [6] ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Guia de Orientação e Formulários do Plano de Ação de Emergência- PAE. 2016.
- [7] BRASIL. Lei Federal nº 12.340, de 1 de dezembro de 2010.
- [8] BRASIL. Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012.
- [9] BRASIL. Lei Federal nº 12.983, de 2 de junho de 2014.
- [10] SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Elaboração de Plano de Contingência: Livro Base. Ministério de Integração Nacional. 1ª Edição. Brasília – DF, 2017.
- [11] REPARAÇÃO E DESENVOLVIMENTO. Vale, 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2021.
- [12] MATSUKI, E. Ações para minimizar impacto da lama ainda são necessárias em Mariana. Agência Brasil, 2018. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-04/a%C3%A7%C3%B5es-para-minimizar-impacto-da-lama-ainda-s%C3%A3o-necess%C3%A1rias-em-Mariana>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2021.

[13] SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

[14] BRASIL. Decreto nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020.

[15] MENDES, J. M. (2018) – “Risco, vulnerabilidade social e resiliência: conceitos e desafios”, Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 7, Florianópolis- SC.



Amanda de MORAES RICARDI

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira (2011-2020). Trabalha como Consultora em Engenharia de Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, com ênfase na elaboração de Planos de Ações Emergenciais, Relatórios de Inspeção de Segurança Regular e de Auscultação, dentre outros serviços relacionados com a Política Nacional de Segurança de Barragens.



Marielly GONÇALVES ANACLETO

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Curitiba (2013-2020). Trabalha como Consultora em Engenharia de Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, com ênfase em estudo de rompimento e modelagem hidrodinâmica. Atua ainda na elaboração de Planos de Ações Emergenciais e em outros serviços relacionados com a Política Nacional de Segurança de Barragens.



Arthur BUCCIARELLI ANDREETTA

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira (2009-2016). Especialista em Engenharia Geotécnica pela Faculdade Unyleya (2018-2019). Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo Profª Água, Polo UNESP Ilha Solteira (2018-2020). Trabalha como Consultor em Engenharia de Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, atuando em serviços relacionados com a Política Nacional de Segurança de Barragens.



Euclydes CESTARI JÚNIOR

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Lins (1983-1987). Especialista em Segurança de Barragens pela USP (2010). Mestre em Engenharia Civil pela UNESP, Campus de Ilha Solteira (2011-2013). É sócio-proprietário da Geometrisa – Serviços de Engenharia, atuando em serviços relacionados com a Política Nacional de Segurança de Barragens. Foi Engenheiro Especialista em Segurança de Barragem da CESP (1987-2017).

APLICAÇÃO DE DRENOS VERTICAIS PARA TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO DE UMA PILHA DE REJEITOS DURANTE PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM: UM ESTUDO DE CASO

Michel Moreira Morandini FONTES | Diretor - Fonntes Geotécnica

Gladys Célia Hurtado AQUINO | Coordenadora Técnica- Fonntes Geotécnica

Naiala Fidelis GOMES | Engenheira Civil - Fonntes Geotécnica

Anderson Nascimento MILAGRES | Engenheiro Civil - Fonntes Geotécnica

RESUMO

A atual tendência de descaracterização e descomissionamento de barragens de rejeitos (vide legislações promulgadas) gerou como consequência a criação de projetos para tal finalidade. Tendo em vista que essa prática não é simples, sendo necessários uma gama de estudos para melhor conhecimento das condições geotécnicas que poderão condicionar as alternativas viáveis ou inviáveis, tanto do ponto de vista técnico como financeiro, o presente estudo visa apresentar uma alternativa para melhoramento da condição “drenada” dos rejeitos na fundação, de modo a evitar a ativação do gatilho da liquefação e subsequente ruptura de uma pilha durante o processo de sua descaracterização, a qual se encontra apoiada sobre os rejeitos do reservatório de uma barragem.

ABSTRACT

The current trend of de-characterization and decommissioning of tailings dams, regarding enacted legislation, has resulted in the creation of projects for this purpose. Noted that this practice is not simple, requiring a range of studies to better understand the geotechnical conditions that may lead to feasible alternatives, both from a technical and financial point of view. This study aims to present an alternative for improving the “drained” condition of the tailings in the foundation, in order to avoid the activation of the liquefaction trigger and subsequent rupture of a pile during the process of its de-characterization, which is supported on the tailings of the reservoir of a dam.



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, toda barragem de mineração deve ser, obrigatoriamente, cadastrada no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), independentemente das suas características. Caso a mesma atenda a um desses quatro requisitos estabelecidos pela [1] Portaria 70.389/2017 da Agência Nacional de Mineração (ANM, anteriormente chamada DNPM), está enquadrada na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

- I. altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m ;
- II. capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³;
- III. reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV. categoria de dano potencial associado, médio ou alto, conforme definido no inciso XIV do artigo 2º e no Anexo V.

Assim, além da obrigatoriedade de cadastramento, passam a ter como cartilha básica do seu cotidiano o atendimento a diversas obrigações como inspeções quinzenais, revisões periódicas, confecção de Planos de Ação de Emergências (para os casos exigíveis), elaboração semestral de Declarações de Condições de Estabilidade, dentre outras.

A conscientização de desenvolvimento sustentável e a busca pela desobrigação ao atendimento às normas estabelecidas pela [1] Portaria 70.389/201 estão levando muitas empresas do setor minerário ao caminho de descaracterizar ou descomissionar estruturas de contenção de rejeitos que não apresentam intenções de novas disposições de rejeitos. Soma-se a isso, a obrigatoriedade de descaracterização das barragens alteadas pelo método a montante, conforme estabelecidos na [2] Lei Estadual de Minas Gerais 23.291/19 e na [3] Resolução ANM nº 13/2019.

É importante destacar também que a Agência Nacional de Mineração (ANM) obriga as empresas que deixam de criar condição estável das suas estruturas a cumprir o que determina o art. 18 da Lei federal 12.334/2010 [4], dado pela seguinte redação: *“A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.”*

Devido a esses fatos, a tendência de descaracterização e descomissionamento dessas estruturas, conhecidas como

inativas ou desativadas, em fase de fechamento, mas que ainda guardam características de barragens, estão se tornando realidade. E, como consequência, a criação de projetos para descaracterizar uma barragem de rejeitos tem se tornado uma tendência. Contudo, a adoção dessa prática não é simples, sendo necessário uma gama de estudos para melhor conhecimento das condições geotécnicas que poderão condicionar alternativas viáveis ou inviáveis. E, diante disso, para cada barragem se apresentarão alternativas distintas para a sua possível descaracterização ou descomissionamento.

No presente estudo é apresentada uma alternativa encontrada para melhoramento da condição “drenada” dos rejeitos na fundação, de modo a evitar a ativação do gatilho da liquefação e subsequente ruptura da pilha de rejeitos que atua como contenção de uma barragem com alteamento por montante, e que se encontra apoiada sobre o reservatório de rejeitos de outra barragem, durante o processo de descaracterização da barragem de montante e remoção da pilha.

2. DRENOS VERTICAIS

Segundo Almeida & Marques [5], os drenos verticais de areia foram pioneiramente utilizados em fins de 1920, na Califórnia, Estados Unidos. Nos anos 1970, começaram a ser usados os drenos pré-fabricados (PVD), ou geodrenos, que consistem de um núcleo de PVC com um filtro geotêxtil ao redor.

As qualidades dos geodrenos citadas por Almeida & Marques [5] são: elevada resistência mecânica, garantindo sua integridade durante a operação e instalação; mudança da direção do fluxo de água de predominantemente vertical para predominantemente horizontal (radial); possibilidade de serem cobertos por camada drenante ou aterro; e aceleração de recalques.

Normalmente, a utilização dos drenos verticais visa acelerar o processo de saída da água dos vazios do solo e, consequentemente, dos recalques. São usados (principalmente) em determinadas situações em que a utilização apenas de sobrecarga não é suficiente para atingir a diminuição nos prazos de ocorrência dos recalques, conforme se deseja.

A Figura 1, apresentada por Almeida & Marques [5], ilustra a vantagem de drenos verticais para aceleração de recalques de um aterro sobre solos moles. A partir dos resultados de monitoramento de recalques, verifica-se que o tempo para estabilização de aterros convencionais é superior aos de aterros construídos sobre drenos, comprovando assim, a aceleração dos recalques.

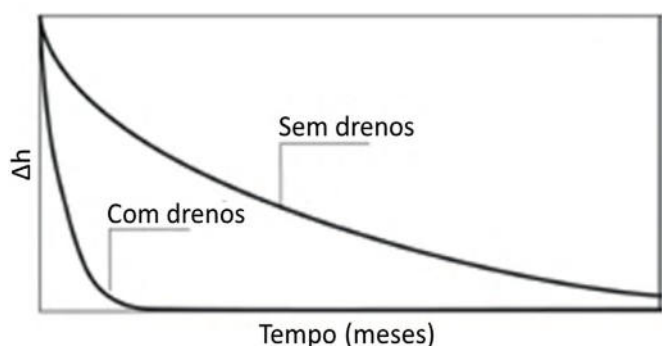


FIGURA 1 – Evolução dos recalques de um aterro sobre solos moles com o tempo: sem e com drenos verticais
(Fonte: Almeida & Marques [5])

3. METODOLOGIA

Como visto no item 2, a aplicação dos drenos verticais visa acelerar o processo de saída da água dos vazios do solo. Tendo em vista a necessidade de melhoramento da condição de drenabilidade dos rejeitos na fundação de uma pilha, para evitar a ativação do gatilho da liquefação e subsequente ruptura desta pilha durante a etapa de remoção dos rejeitos para a sua descaracterização, decidiu-se como solução a instalação de drenos verticais fibroquímicos no pé dessa pilha de rejeitos.

Efetuada a instalação dos drenos verticais, conforme proposto, foram executados três ensaios de *piezocone penetration test (CPTu)*, juntamente com seus ensaios de dissipação, possibilitando a leitura e a interpretação dos dados por eles gerados. Isso permitiu, portanto, avaliar a efetividade dos drenos verticais fibroquímicos na garantia de drenabilidade, parcial ou total, dos rejeitos da fundação onde foram implantados.

Os resultados dos ensaios *CPTu* também permitiram avaliar a susceptibilidade à liquefação dos rejeitos, conforme metodologia de Olson [6], que segue as referências de Robertson & Fear [7].

4. ESTUDO DE CASO

4.1 INSTALAÇÃO DOS DRENOS VERTICAIS

A pilha continha rejeitos grossos de granulometria de areia grossa a média. Contudo, estava apoiada sobre os rejeitos do reservatório de uma barragem, classificados como silte arenosos de espessura variável, sendo a máxima de 17,00 m, próxima da seção F, conforme Figura 3. Entre esses dois materiais existia uma camada de lastro granular. Os ensaios SPT realizados na pilha e que ultrapassaram a camada de rejeitos de fundação indicaram materiais fofos e saturados na fundação. Quando submetidos a carregamento, apresentaram comportamento contrátil.

Projetou-se a instalação de drenos fibroquímicos no pé da pilha de rejeitos como melhoramento da fundação antes da implantação da berm de estabilização. A finalidade foi a de melhorar a condição “drenada” dos rejeitos na fundação, bem como evitar a ativação do gatilho da liquefação e a subsequente ruptura da pilha. Os drenos foram instalados com espaçamento máximo de 2,50 m, conforme arranjo apresentado na Figura 2.

No trecho de instalação dos drenos verticais não recobertos pela berm de estabilização foi construído um lastro com material britado com 0,30 m de espessura sobre uma manta de geotêxtil não tecido de polipropileno, atuando como transição entre os rejeitos da fundação e a brita.

As profundidades dos drenos são variáveis, sendo considerada como profundidade média no setor central 11,30 m (Zona 1 e Zona 3) e no setor próximo da ombreira esquerda 8,20 m (Zona 2 e Zona 4), conforme mostrado na Figura 3.



FIGURA 2 – Distribuição dos drenos fibroquímicos (a) em planta e (b) no pé da pilha – Malha triangular

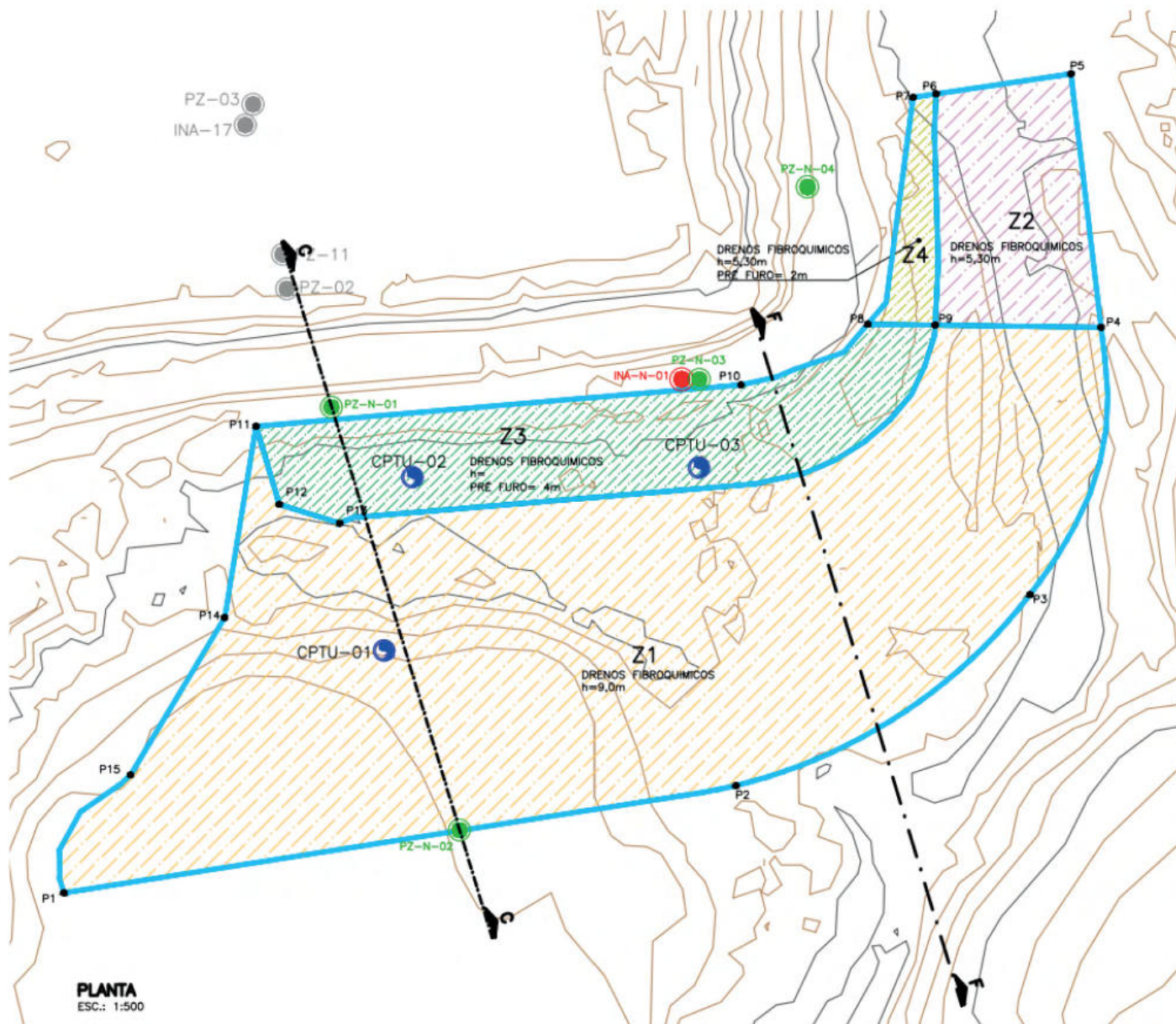


FIGURA 3 – Planta do zoneamento para instalação dos drenos fibroquímicos

4.2 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS CPTU

Já com os drenos verticais fibroquímicos instalados foram executados três ensaios CPTu no pé da pilha, na área do reservatório da barragem a jusante (Figura 3), mais precisamente no setor onde foram implantados os drenos verticais fibroquímicos,

conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5. Os ensaios CPTu possuíam como finalidade avaliar a efetividade dos drenos verticais fibroquímicos na garantia de drenabilidade, parcial ou total, dos rejeitos da fundação da pilha onde foram implantados.

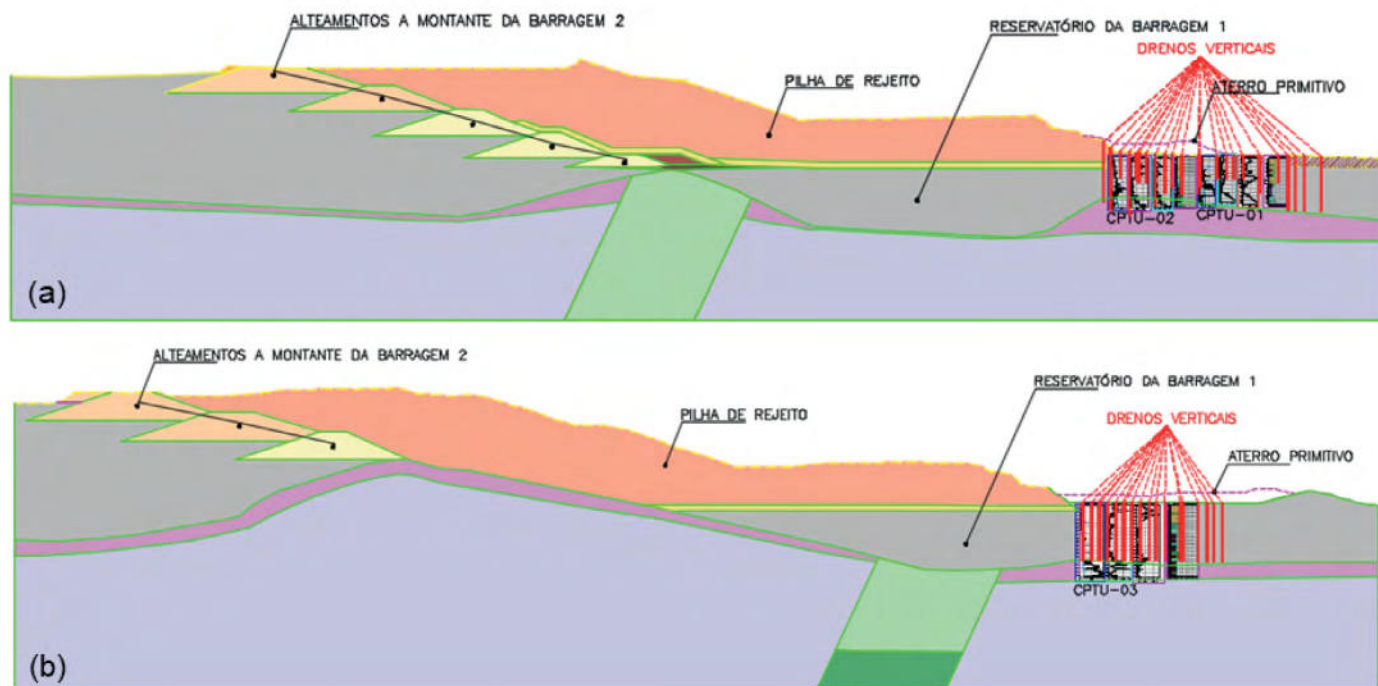


FIGURA 4 – (a) Seção C-C' e (b) Seção F-F' - Drenos fibroquímicos no pé da pilha de rejeitos

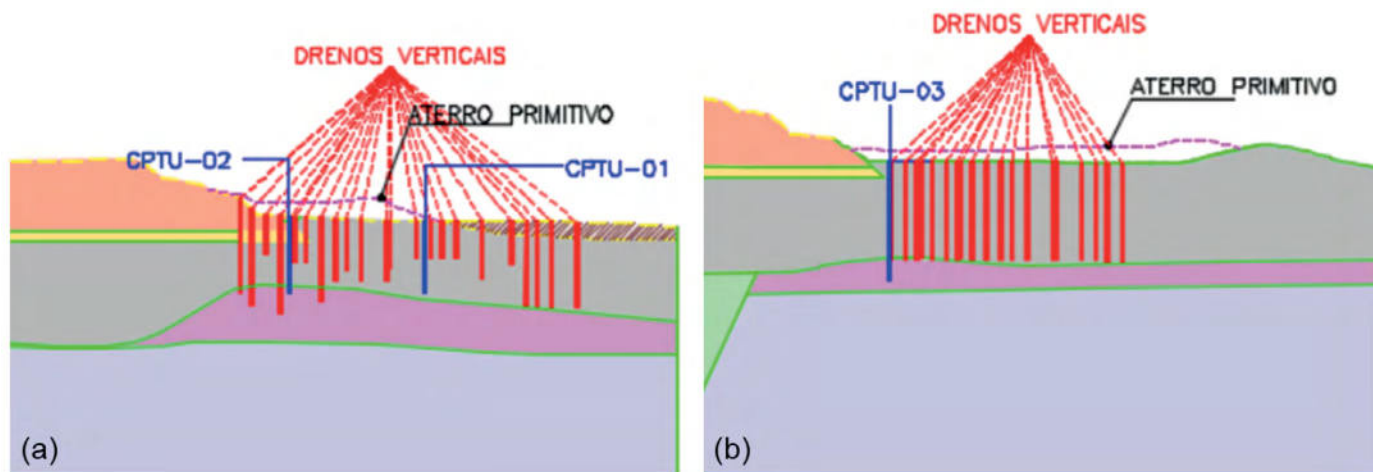


FIGURA 5 – (a) Seção C-C' - Localização dos ensaios *CPTu* 02 e *CPTu* 01 e (b) Seção F-F' - Localização do ensaio *CPTu* 03

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 SEÇÃO C-C'

No setor da Seção C-C', muitos drenos verticais instalados na camada de rejeitos do reservatório da Barragem 1 não foram aprofundados até o contato com o terreno natural -

Figura 5 (a), em função de encontrar camada de rejeito mais compacto, conforme apontado também pelo ensaio *CPTu*-01 (aproximadamente a 7,00 m da superfície). Porém, como observado também nos ensaios *CPTu*, logo após essa camada de rejeito mais denso, novamente aparece a camada de rejeito fofo até o contato com o terreno natural (aproximadamente a 9,50 m de profundidade) (Figura 6).

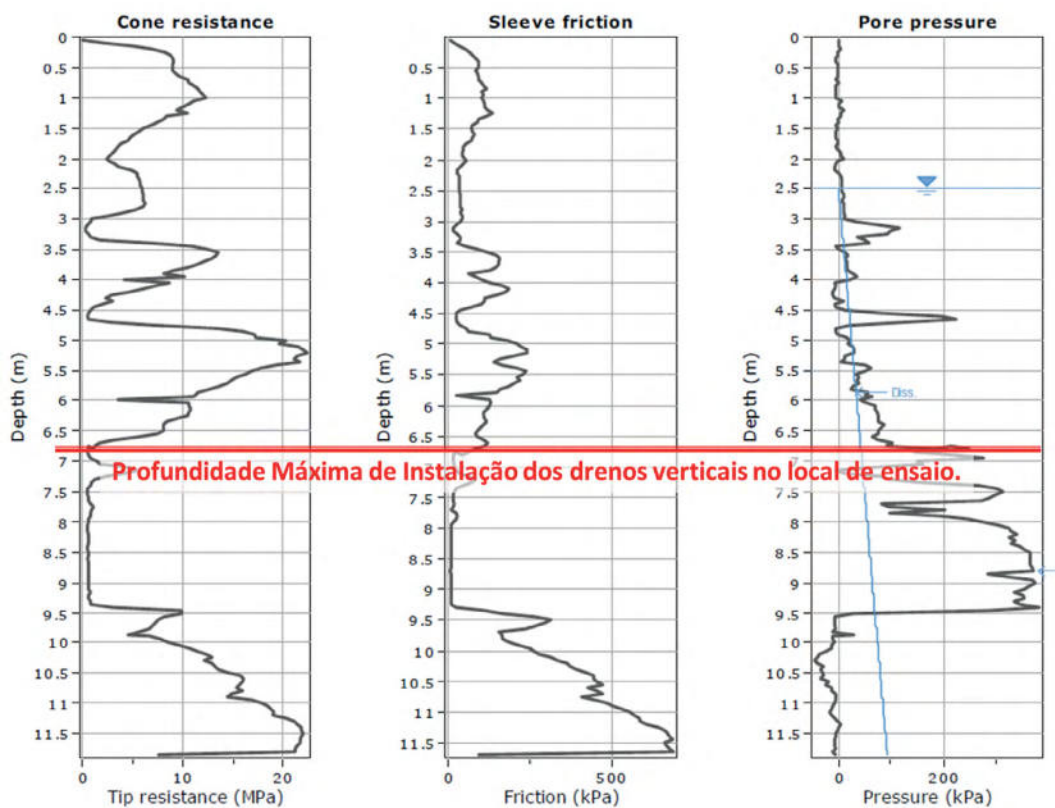


FIGURA 6 – Seção C-C' - Resultados do ensaio CPTu-01

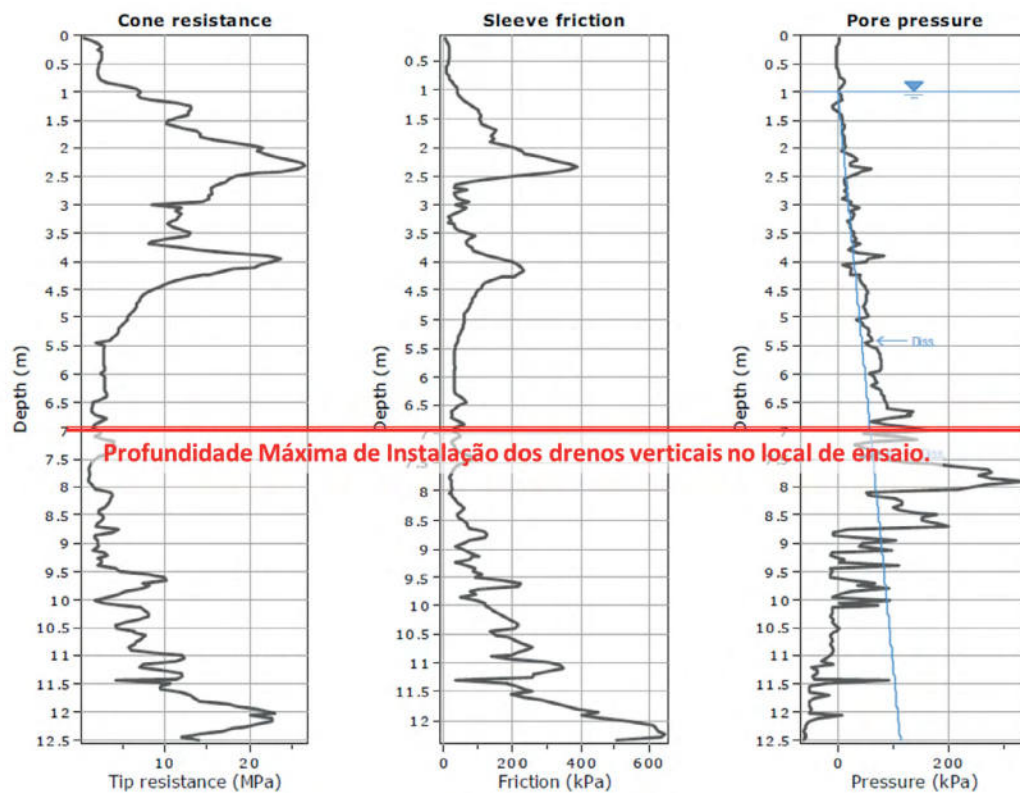


FIGURA 7 – Seção C-C' - Resultados do ensaio CPTu-02

Além disso, os resultados dos ensaios *CPTu* permitiram avaliar a susceptibilidade à liquefação dos rejeitos, conforme metodologia Olson [6], que segue as referências de Robertson e Fear [7]. Conforme se verifica na Figura 8, até os 7,00 m de profundidade a camada de rejeito apresenta comportamento intermitente entre dilatante e contrátil (primeiro gráfico), continuando com camada de rejeito de comportamento contrátil

até o contato com o terreno natural, aproximadamente 9,50 m, o que indica susceptibilidade à liquefação. Porém, quando se observa o gráfico de poropressões (terceiro gráfico da Figura 8), somente são advertidos excessos de poropressões a partir de 6,50 m de profundidade, coincidente com a profundidade final de instalação dos drenos nesse setor. Caso similar acontece com o ensaio *CPTu*-02, apresentado na Figura 9.

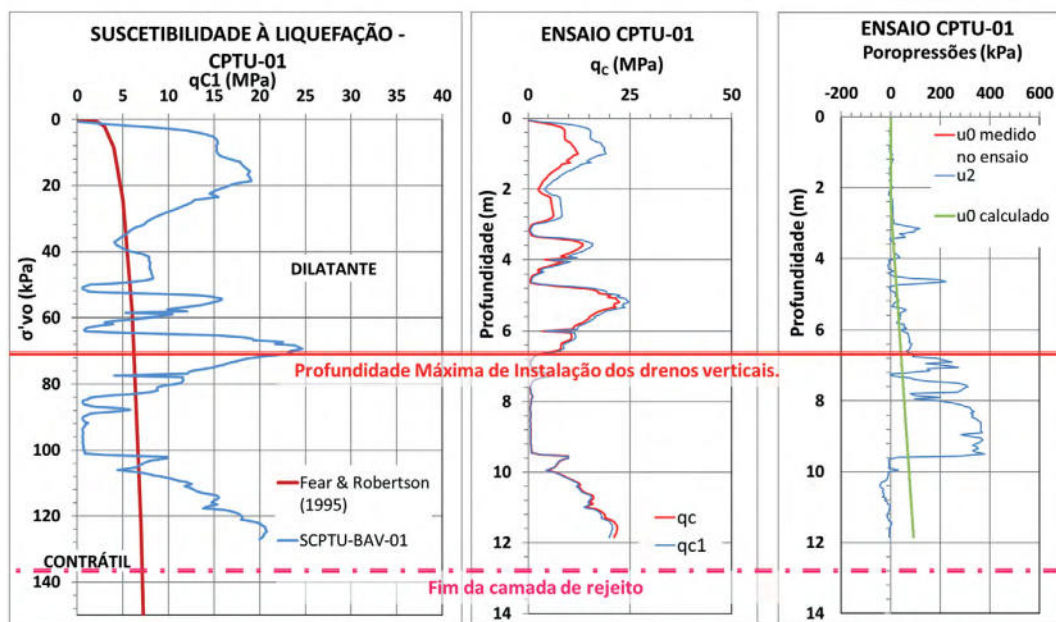


FIGURA 8 – Análises de susceptibilidade à liquefação (Olson [6]) – *CPTu*-01

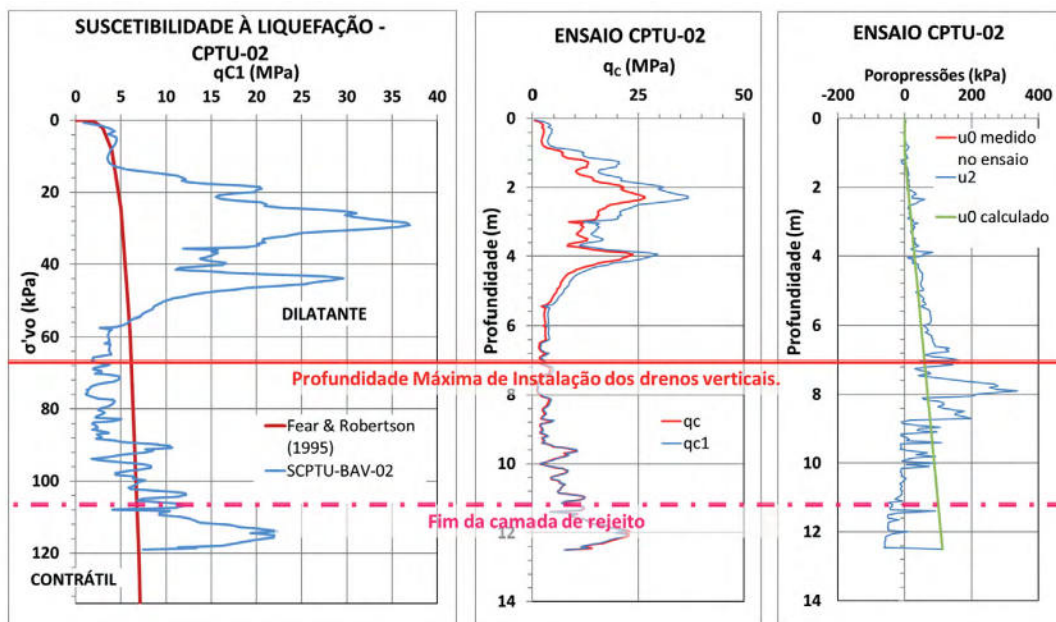


FIGURA 9 – Análises de susceptibilidade à liquefação (Olson [6]) – *CPTu*-02

5.2 SEÇÃO F-F'

No setor da nova Seção F-F', tanto os ensaios *CPTu* (Figura 10), quanto a profundidade dos drenos verticais indicaram camada de rejeito bastante espessa, de até 17,00 m, maior que a da Seção C-C'. Conforme os resultados dos ensaios, superficialmente se encontra uma camada mais resistente, prosseguindo uma camada fofa até o contato com o terreno natural, o que permitiu a cravação dos drenos verticais em toda a camada de rejeito- Figura 5 (b), iniciando com pré-furos para ultrapassar a camada mais resistente.

Também foi avaliada a susceptibilidade dos rejeitos à liquefação, conforme os resultados dos ensaios *CPTu*-03, usando a mesma metodologia de Olson [6], Figura 11. Apesar de o rejeito apresentar comportamento contrátil (suscetível à liquefação) desde os 4,00 m de profundidade até o contato com o terreno natural (a 17,00 m de profundidade) (primeiro gráfico), observa-se somente pequenos a nulos excessos de poropressão até a profundidade de instalação dos drenos verticais, a 15,00 m, conforme gráfico de poropressões (terceiro gráfico da Figura 11).

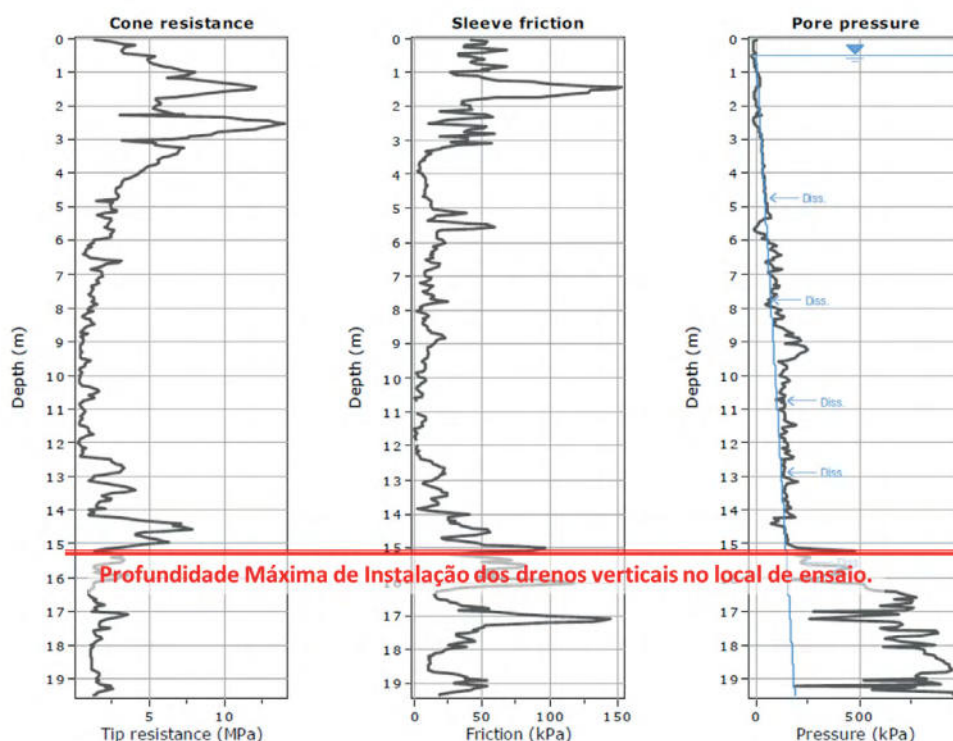


FIGURA 10
– Seção F-F' -
Resultados do
ensaio *CPTu*-03

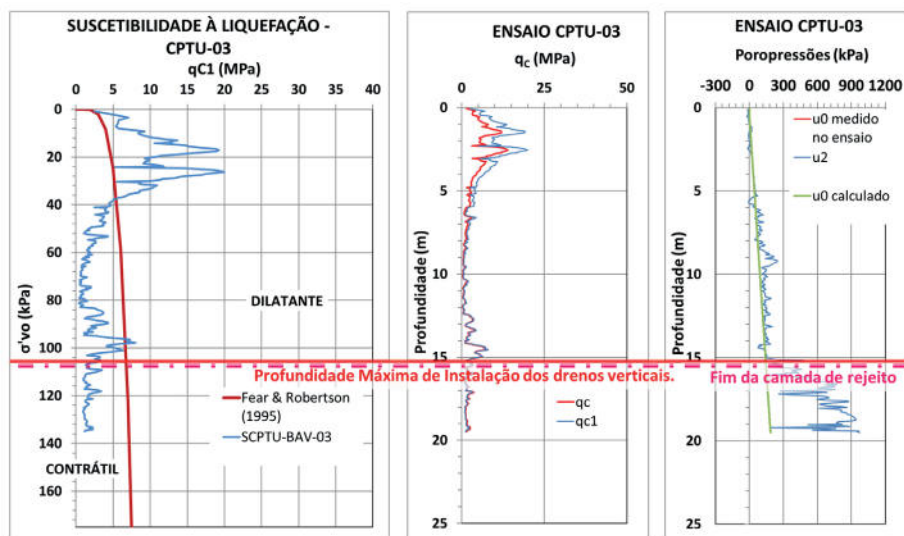


FIGURA 11 –
Análises de
susceptibilidade à
liquefação (Olson
[6]) – *CPTu*-03

6. CONCLUSÕES

Portanto, conclui-se que a camada de rejeitos com comportamento contrátil e que gera excessos de poropressão poderá ativar a condição não drenada liquefeita. A partir da instalação dos drenos verticais fibroquímicos, a camada de rejeitos, apesar de apresentar comportamento contrátil, não gera excesso de poropressão. Quando esta é mínima, atua no âmbito do comportamento drenante ou parcialmente drenante (parâmetros efetivos para material fofo).

Neste contexto, conforme observado nos resultados dos ensaios CPTu realizados posteriormente à instalação dos drenos verticais fibroquímicos, verifica-se que o mesmo cumpriu com a finalidade de melhoramento da condição “drenada” dos rejeitos na fundação de forma a evitar a ativação do gatilho da liquefação e subsequente ruptura da pilha de rejeitos (durante o processo de descaracterização das estruturas).

Para alcance dos objetivos, outros drenos foram reinstalados próximo a seção C-C’ com maior profundidade. A presença dos drenos mais longos pode ser verificada na Figura 5 (a). Contudo, devido a presença de uma camada de rejeito mais compacto, impossibilitando a cravação dos drenos através desta, o aprofundamento dos drenos não foi viável em todo o comprimento longitudinal próximo a seção C-C’. Dessa forma, a camada de rejeito abaixo da cota final dos drenos, na região da seção C-C’, foi considerada como suscetível à liquefação, já que, conforme observado nos resultados dos ensaios CPTUs-01 e 02, apresenta comportamento contrátil e gera excessos de poropressões. Dita condição, finalmente, não afetou grandemente os FS ?, os quais permaneceram dentro do limite aceitável para a condição não drenada liquefeita.

7. PALAVRAS-CHAVE

Drenos verticais, melhoramento de fundação, rejeito de minério.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. (2017)- Agência Nacional de Mineração – ANM. Portaria Nº 70.389/2017, de 17 de maio de 2017. Conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens;
- [2] MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019. Institui a política estadual de segurança de barragens;
- [3] BRASIL. (2019)- Resolução Nº 13, de 13 de agosto de 2019. Estabelece medidas regulatórias para as barragens de mineração, Ministério de Minas e Energia, Agência Nacional de Mineração (ANM), Brasil.
- [4] BRASIL. (2010) Decreto-lei nº 12.334, de 20 setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB);

[5] ALMEIDA, M. S. S.; MARQUES, M. E. S. M. (2014) – “Aterros sobre solos moles: Projeto e desempenho”, 2ª Edição rev. atual., Oficina de Textos, São Paulo, Brasil;

[6] OLSON, S. M. (2001) – “Liquefaction Analysis of Level and Sloping Ground Using Field Case Histories and Penetration Resistance”, PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL;

[7] ROBERTSON, P. K.; FEAR, C. E. (1995) – “Liquefaction of sands and its evaluation”, Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410578X.



Michel Moreira Morandini FONTES

Engenheiro Civil pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto e Mestre em Geotecnia pela mesma instituição. Possui o título de Master of Quality pelo Latin American Quality Institute. Atua na área de Geotecnia aplicada a Mineração desde 2001, com experiência em desenvolvimento de projetos na área de Geotecnia de Barragens, orçamento, consultoria e inspeção de Segurança de Barragens. É CEO na Fontes Geotécnica e Presidente do Instituto Geotécnico.



Gladys Célia Hurtado AQUINO

Engenheira Civil formada pela Universidade Nacional de Engenharia (1997-I) e Mestre em Engenharia Geotécnica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2009). Possui mais de 20 anos de experiência em projetos de consultoria em Engenharia Geotécnica, principalmente no setor de Mineração, tais como barragens de água e rejeitos, empilhamentos drenados, pilhas de estéril e estabilização de taludes das minas a céu aberto. Atua como Geotécnica Master na Fontes.



Anderson Nascimento MILAGRES

Engenheiro Civil graduado pelo Centro Universitário de Viçosa (UNIVICOSA/2017) e pós-graduando em Engenharia de Barragens pela PUC Minas. Atua na área de Geotecnia aplicada à Mineração, em especial na elaboração de projetos de alteamento de barragens, projetos de descaracterização, análise de suscetibilidade à liquefação de pilhas de rejeito, inspeções de segurança e projetos de tratamento de fundação em solo mole. Desde 2020 atua na Fontes Geotécnica.



Naiala Fidelis GOMES

Engenheira Civil graduada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/2016), Mestre em Geotecnia pela COPPE/UFRJ (2020) e pós-graduanda em Engenharia de Barragens pela PUC Minas. Atua na área de Geotecnia aplicada à Mineração, em especial na elaboração de projetos de alteamento de barragens, projetos de descaracterização, análise de suscetibilidade à liquefação e inspeções de segurança. Desde 2020 atua na Fontes Geotécnica.

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE *BUSINESS INTELLIGENCE* PARA DISPONIBILIZAÇÃO ONLINE DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA DE BARRAGENS

Olavo Tozete TERCINI | Consultor de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda.

Pedro Afonso Barbosa SISMOTO | Consultor de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda.

Henrique de Carvalho SIQUEIRA | Estagiário de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda.

Wilerson Antonio CESTARI | Consultor de Engenharia de Segurança de Barragens – Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda.

RESUMO

Com as exigências da Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, os empreendedores de barragens têm que buscar uma alternativa para disponibilizar os dados do Plano de Ação de Emergência (PAE) de forma online, rápida e prática. Dentre as alternativas conhecidas, o *Business Intelligence (BI)* se destaca pelo fato de combinar e armazenar um grande volume de dados, gerando uma visualização interativa que facilita a tomada de decisões e de ações. Este trabalho apresenta os materiais e métodos utilizados para a elaboração de painéis interativos que devem ser disponibilizados publicamente para auxiliar os órgãos de proteção e pessoas situadas no vale a jusante de barramentos. Por fim, concluiu-se que a ferramenta BI, desde que corretamente utilizada, é excelente para organizar e apresentar dados de PAEs.

ABSTRACT

With the requirements of Federal Law No. 14,066, on September 30, 2020, dam entrepreneurs have to look for an alternative to make the emergency action plan (EAP) data available online, quickly and practically. Among the known alternatives, Business Intelligence (BI) stands out for the fact that it combines and stores a large volume of data, generating an interactive visualization that facilitates decision-making and actions. This work presents the materials and methods used for the elaboration of interactive panels that must be made publicly available to assist protection agencies and people located in the valley downstream of dams. The results presented concluded that BI tool, when used correctly, is excellent for organizing and presenting EAP data.

1. INTRODUÇÃO

A legislação brasileira de segurança de barragens vem sendo atuante ao longo da última década, período de sua existência, a fim de garantir à população do vale a jusante dos empreendimentos maior confiabilidade e segurança sobre as condições estruturais e de monitoramento das barragens brasileiras.

Recentemente, acompanhou-se a promulgação da Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, que alterou a Lei nº 12.334/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens [1 e 2].

Dentre as mudanças proporcionadas pela Lei nº 14.066, pode-se destacar o artigo 12, § 1º, em que se sanciona: “O PAE deverá estar disponível no site do empreendedor e ser mantido, em meio digital, no SNISB [...]” [2]. Vê-se, portanto, uma necessidade de tornar os dados públicos e facilmente acessíveis para a população. Desse modo, novas ferramentas devem ser pensadas para compor uma facilidade de acesso aos dados em questão.

Na era da informação, observa-se constantemente o surgimento de novas tecnologias para diminuir a distância da população com o conhecimento. Porém, há uma grande diferença no que pode ser considerado informação em comparação ao que são considerados dados. Dados são obtidos nos mais diferentes tipos possíveis, podendo ser expressos por números, letras, imagens e áudios, por exemplo, não necessariamente apresentando estruturas bem definidas ou significados propriamente ditos.

Para obter uma informação que forneça uma diretriz substancial para tomada de decisões, faz-se necessário extraí-la de um conjunto de dados, cuja análise almeja encontrar padrões, tendências e todos os demais traços característicos que possam dar sentido, significado ou até mesmo sentimento a todo esse aglomerado.

Em razão desta erupção no crescimento da geração de dados, diversas ferramentas de análise e visualização vieram à tona ou foram desenvolvidas especificamente para traduzir este conjunto de dados em informação e, principalmente, em conhecimento para os usuários. Dentre estas ferramentas, faz-se imprescindível destacar a inteligência de negócios, mais conhecida na terminologia inglesa como *Business Intelligence* (BI).

Desse modo, este trabalho apresenta uma proposta de aplicabilidade para divulgação de informações contidas no PAE de forma objetiva e interativa para todos envolvidos (empreendedor, órgãos públicos, população, entre outros) por meio da ferramenta *Business Intelligence* (BI).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

As tecnologias BI abrangem os processos de coleta, manipulação e, principalmente, visualização de dados. Eles são utilizados para auxiliar a tomada de decisões, monitoramento de informações em tempo real, elaboração de relatórios e *dashboards*, entre demais finalidades e aplicações. A habilidade de lidar com *Big Data*, a conectividade proporcionada pela *Internet-das-Coisas* e a adequação cada vez mais tangível da Indústria 4.0 são pontos que não podem ser ignorados quando este assunto é levantado.

Nesse contexto, ferramentas de *Business Intelligence* (BI) aprimoram-se constantemente para mostrar resultados diversos de forma simplificada, compacta e intuitiva.

O *Business Intelligence* é um termo que inclui arquiteturas, ferramentas, bancos de dados, aplicações e metodologias. O BI tem como finalidade permitir o acesso interativo aos dados, fornecendo a capacidade de analisar adequadamente os dados disponibilizados. Por fim, o processo realizado pelo BI é a conversão de dados em informação direta e sólida, que, posteriormente, com a análise correta, se transforma em decisões e em ações [3].

A tecnologia de *Business Intelligence* possibilita uma combinação entre a coleta e o armazenamento de um grande volume de dados com a visualização, interpretação e previsão de cenários, constituindo, assim, uma ferramenta apropriada para monitorar e analisar, em tempo real, as mais diversas solicitações que possuem os dados como uma fonte substancial para extração de informações [4].

Estas características promovem um cenário ideal para a transformação de dados presentes no PAE em painéis interativos, sendo esses didáticos, de fácil acesso e entendimento.

Ressalta-se que o PAE é um documento com quantidade vasta de informações e, que se não for organizado, pode se tornar apenas um banco de dados inútil. Uma das principais informações a serem divulgadas ao ambiente público são aquelas relacionadas ao pior cenário de emergência. Exemplo: o rompimento de barragem, onde é essencial divulgar dados sobre profundidade, velocidade e tempo de chegada da onda nas infraestruturas e edificações potencialmente afetadas e suas respectivas localizações para resposta de resgates emergenciais.

Previsões de áreas potencialmente alagáveis podem ser feitas com o auxílio de modelagens hidrodinâmicas através de softwares que calculam profundidade e tempo de chegada da água, além de outros parâmetros que podem ser analisados conjuntamente. Essas informações podem ser condensadas em tabelas e mapas e exportadas para plataformas BI que retornam informações pontuais em locais pré-definidos.

Para desenvolver o presente trabalho foi utilizada a ferramenta de BI da Microsoft, o PowerBI, na versão 2.87, disponível gratuitamente no site da empresa [5], que necessita de conta empresarial ou institucional para login.

2.2 MÉTODOS

Na elaboração dos painéis, *dashboards* e demais recursos tangíveis à tecnologia BI, foram utilizadas informações que compõem o Plano de Ação de Emergência para barragens, com ênfase em:

- Manchas de inundação provenientes de modelagem hidrodinâmica;
- Tabela de edificações potencialmente atingidas com geolocalização e dados de velocidade, profundidade e tempo de chegada da onda;
- Mapas de inundação em PDF;
- Versão final do Plano de Ação de Emergência (PAE).

Por meio de modelagem hidrodinâmica de cenários envolvendo cheias, aberturas de brechas e colapso de estruturas, elaboraram-se mapas contendo a faixa potencialmente alagável no vale a jusante de barragens e, de maneira discretizada, pode-se obter para cada ponto desejado uma previsão do tempo de chegada de onda, da altura de lâmina d'água e da velocidade instantânea da frente de onda, por exemplo.

Em posse destes dados discretizados, realizou-se uma série de tratamentos para torná-los adequados à visualização. Estes tratamentos foram realizados para adequar unidades de medida, tabulações, disposição geral do texto, eliminar possíveis dados incoerentes ou irrelevantes à análise, bem como demais inconsistências que podem ser originadas em razão da extração de dados e migração de plataformas. Cabe ressaltar que todas essas adequações foram realizadas dentro da própria plataforma BI.

Os dados foram então implementados nos recursos BI e puderam ser analisados por diferentes cartões de visualização que podem mostrar os dados ou filtrá-los de acordo com o interesse do utilizador final. Esses cartões podem exibir uma informação específica ou compilar dados em um único visual, como no caso das tabelas e mapas que permitem diversas legendas mostradas em forma de pop-up ao passar o cursor em cima de pontos com informações. Finalizados os ajustes necessários do painel, pode-se disponibilizá-lo para acesso remoto em todas as plataformas, incluindo dispositivos móveis.

A fim de promover uma visualização ainda mais intuitiva das áreas atingidas pela onda decorrente de uma ruptura hipotética de barragem, pode-se integrar os mapas de inundação com a plataforma BI. Essa integração disponibilizou os mapas de inundação interativos, possibilitando aos usuários utilizarem ferramentas como o zoom em tempo real de áreas de interesse, mostrando-se definitivamente superior aos antigos mapas estáticos cuja visualização é limitada às margens de uma folha.

3. RESULTADOS

A criação do painel tem intenção de facilitar a visualização dos dados gerados em estudos hidrodinâmicos, bem como disponibilizar o PAE online de maneira mais interativa. Destaca-se, porém, que não existem dados obrigatórios para compor o painel. Portanto, este pode variar de acordo com a necessidade do usuário final. Após a organização dos dados em tabelas e a importação deste arquivo para o software BI, determinou-se o *layout* da página de apresentação do PAE, onde conseguiu-se acessar (por meio de links associados aos botões) os mapas de inundação, o documento do PAE (integralmente) e os mapas interativos, como observa-se nas Figuras 2 e 3.

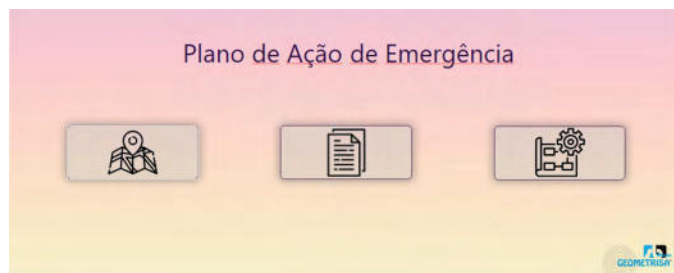


FIGURA 2 - Painel inicial de apresentação do PAE online



FIGURA 3 – Acesso aos links dos mapas de chuvas por tempo de recorrência

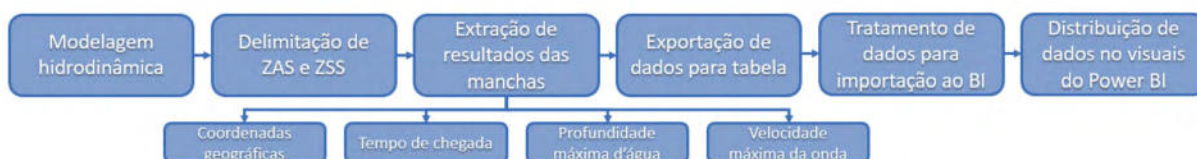


FIGURA 1 – Fluxograma de criação do Painel BI

Os botões de mapas e do documento do PAE conduzem o usuário a um link externo para acessar os documentos com seu conteúdo integral. Já os botões dos painéis de implantação (Figura 4)



FIGURA 4 – Acesso aos links dos painéis de implantação por tempo de recorrência

conduzem a páginas separadas, onde encontram-se as edificações potencialmente afetadas pela defluência da vazão referida no PAE e os respectivos valores de velocidade, tempo de chegada da onda e profundidade d’água na edificação observada.

Observa-se nas Figuras 5 e 6 os painéis de implantação, as edificações potencialmente afetadas e os filtros por zonas ou municípios, bem como uma tabela com os dados integralmente disponibilizados.

Na Figura 6 pode-se observar os valores respectivos à edificação selecionada, conforme necessidade do utilizador.

Na Figura 7 pode-se visualizar a mancha de inundação do tempo de recorrência escolhido bem como as edificações potencialmente afetadas. Cada um dos pontos de edificações desse mapa também possui dados de tempo de chegada, velocidade e altura d’água máximas. O recurso pode ser acessado na página do painel de implantação a partir do link disponível no ícone abaixo dos filtros.

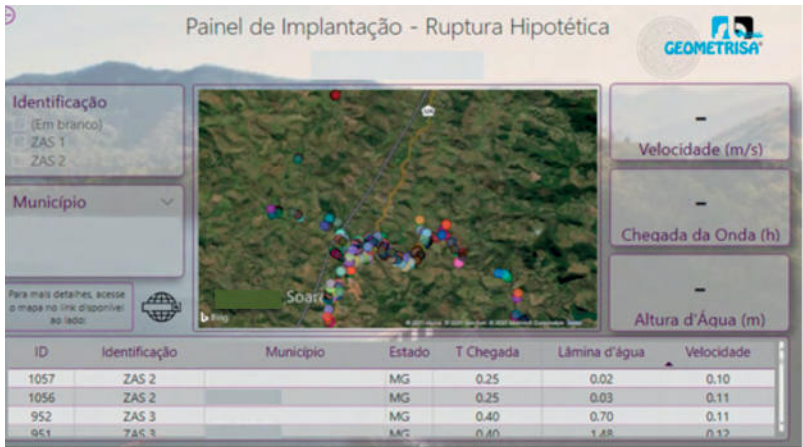


FIGURA 5 – Painel interativo de implantação

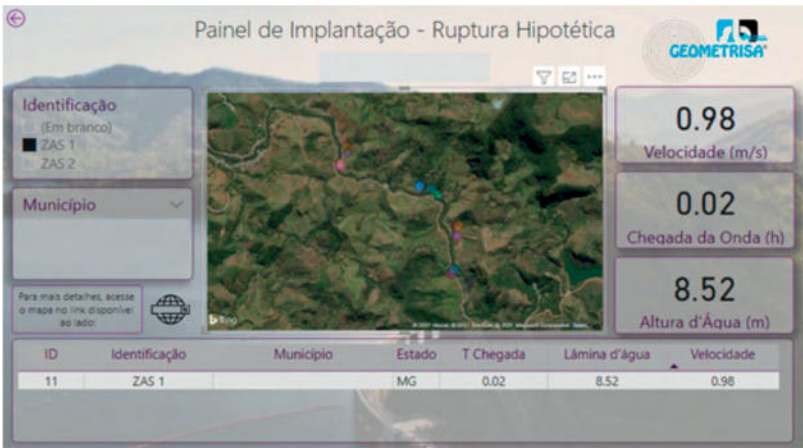
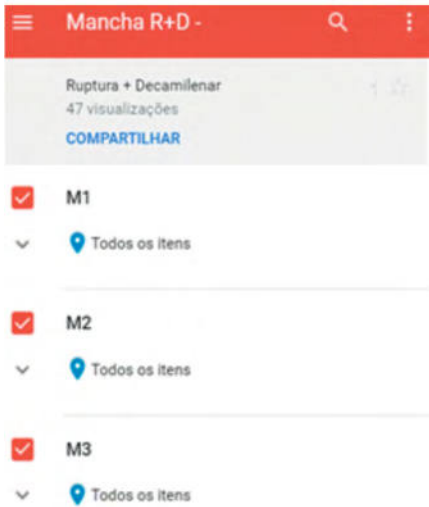


FIGURA 6 – Filtragem de dados por zona e resultados filtrados por edificação

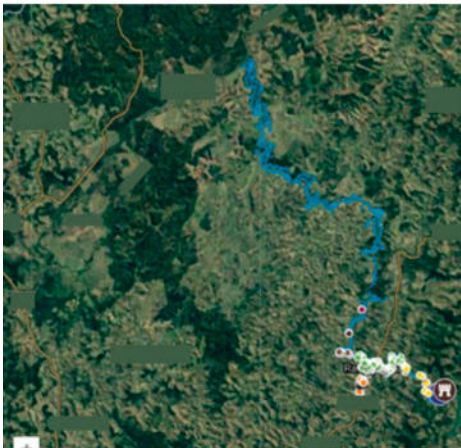


FIGURA 7 – Mapa com mancha de inundação e edificações potencialmente afetadas

4. CONCLUSÕES

A demonstração dos dados em plataformas interativas e elaboradas a partir de ferramentas BI permitem ao visualizador acesso à informação de maneira mais rápida e pontual, além de obtenção de respostas mais assertivas para situações de evacuação. A informação facilitada pode também engajar uma parcela maior da população para posteriores simulados de acidentes devido ao entendimento e visualização do cenário hipotético.

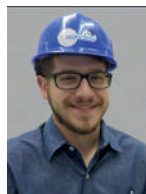
Deste modo, os deveres dos empreendedores de barragens, que foram alteradas com a Lei Federal nº 14.066, podem ser facilmente cumpridos, ajudando não apenas os órgãos de proteção civil na precaução e mitigação de desastres, mas também toda a sociedade impactada.

5. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de Barragens, Plano de Ação de Emergência, Big Data e Business Intelligence.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL (2020)- “Lei Federal nº 12.334”, de 20 de setembro de 2010.
- [2] BRASIL (2020)- “Lei Federal nº 14.066”, de 30 de setembro de 2020.
- [3] TURBAN, E. (2009) – “Business Intelligence: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio”, São Paulo: Bookman.
- [4] BORDELEAU, F. E; MOSCONI, E; SANTA-EULALIA, L. A. (2018) – “Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities”, In: Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences.
- [5] MICROSOFT (2021) – “PowerBI Microsoft”.



Olavo Tozete TERCINI

Graduado e Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Júlio de Mesquita Filho, Campus Ilha Solteira. Consultor de Engenharia da Geometrisa Segurança de Barragens Ltda., tendo participado de atividades gerais sobre Segurança de Barragens com foco em Hidrologia, Estabilidades de Maciço de Terra, Estabilidades de Estruturas de Concreto e Estudos de Uso e Ocupação do Solo.



Henrique de Carvalho SIQUEIRA

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Júlio de Mesquita Filho, Campus Ilha Solteira. Estagiário de Engenharia Civil na Geometrisa Segurança de Barragens Ltda., auxiliando na área de Modelagem Hidrodinâmica, Elaboração de PAEs, Inspeções de Segurança Regulares e outras atividades envolvendo o Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).



Pedro Afonso Barbosa SISMOTO

Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Júlio de Mesquita Filho, Campus Ilha Solteira. Trabalha com Engenharia Mecânica na Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda. com ênfase na elaboração de Relatórios de Inspeção de Segurança Regular, Inspeções Visuais em Sistemas Eletromecânicos e Hidromecânicos, além de outras atividades envolvendo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).



Wilerson Antonio CESTARI

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Lins (1985). Trabalhou durante 10 anos no Laboratório CESP de Engenharia Civil na área de Estruturas de Concreto. Foi responsável pela instrumentação e segurança das barragens da CESP durante 16 anos. Atualmente é Sócio-Diretor da Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda.

UHE DONA FRANCISCA - BARRAGEM 4.0

Eduardo SIMÕES | Mestre em Construção e Infraestrutura - BSE Engenharia
Geotécnica e Ambiental

Murilo FONSECA | Mestre em Engenharia Elétrica – ISI Sistemas Embarcados

Ivan BOESING | Mestre em Engenharia Mecânica - UPSENSOR

Camila SMIDERLE | Mestre em Engenharia Civil - CEEE

RESUMO

Esse projeto descreve o desenvolvimento de um sistema inteligente de monitoramento de estrutura, reservatório e margens da Barragem UHE Dona Francisca, permitindo uma resposta mais rápida aos fatores de risco geotécnicos, ambientais e hidráulicos através da coleta e análise de dados. Os dados são obtidos de leituras remotas ou manuais dos diversos sensores instalados na barragem, bem como dados coletados por imagens aéreas. O trabalho descreve avanços no desenvolvimento de novos sensores de medição eletrônica, em um sistema de verificações e alertas baseados em inteligência artificial, no uso de algoritmos de previsão de nível e de vertimento da barragem com 24 horas de antecedência, e avanços na identificação automática de danos no concreto do vertedouro através de processamento de imagens aéreas.

ABSTRACT

This project describes the development of an intelligent system for UHE Dona Francisca dam monitoring of its structure, reservoir and margins, allowing a faster response to geotechnical, environmental and hydraulic risk factors, through data collection and analysis. The data comes from the various manual and automated sensors installed in the dam as well as data collected through aerial imaging. This work describes advances in the development of new electronic measurement sensors, advances on a system of data checking and alerts using artificial intelligence tools, algorithms for a 24h reservoir water level forecasting and automatic damage identification on the spillway concrete using aerial images processing.

1. INTRODUÇÃO

Tecnologias na área de instrumentação, sensores e sistemas de monitoramento estão em constante evolução e sendo apresentadas em ritmo acelerado no mercado. O uso de conceitos como *Big Data*, *Artificial Intelligence (AI)*, *IoT (Internet of Things)* e computação na nuvem estão cada vez mais presentes no cotidiano dos engenheiros e empresas, compondo a chamada Indústria 4.0.

Em contraponto ao avanço tecnológico que rapidamente se transforma, evolui e aposenta soluções anteriores, existem estruturas que são projetadas e construídas para funcionarem por longos períodos de tempo, como de 75 a 100 anos [1], e, portanto, possuem longo histórico de dados e informações que não podem ser negligenciados e necessitam ser incorporados às novas tecnologias disponíveis.

Nesse contexto, a manutenção dos dados da instrumentação é fundamental para assegurar a segurança dessas estruturas, em especial em barragens. Os novos sistemas devem ser construídos baseados no conceito da interoperabilidade, onde diferentes tecnologias devem ser integradas para interagir entre si [2] sem perda da informação, garantindo o acesso e a manutenção do histórico da estrutura.

Esse relato técnico apresenta os principais avanços tecnológicos obtidos no Projeto “Sistema de Monitoramento e Controle Inteligente para a Barragem da UHE Dona Francisca” [3]. Ele abrange: integração e análise de dados de instrumentação; automatização de sensores eletrônicos existentes; desenvolvimento de novos sensores; visualização de dados e alertas em tempo real; monitoramento de danos no concreto do vertedouro através de processamento de imagens aéreas; uso de inteligência artificial para previsão de vertimento e nível da barragem. Este projeto foi desenvolvido por SENAI-SC, UFRGS, UPSENSOR, CEEE e DFESA. Contou com o apoio financeiro da ANEEL, EMBRAPII e SENAI.

2. BARRAGEM UHE DONA FRANCISCA

A UHE Dona Francisca é uma das usinas hidrelétricas situadas no Rio Jacuí, localizada entre as cidades de Agudo e Nova Palma, no centro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O barramento foi construído em CCR (Concreto Compactado com Rolo), com corpo da barragem e vertedouro de soleira livre divididos em 36 blocos com comprimento médio de 20 m, e um comprimento total de aproximadamente 660 m. A altura máxima é de 63 m. A construção da barragem foi iniciada em 1998 e o enchimento do reservatório ocorreu em novembro de 2000, com a inauguração da usina em maio de 2001. A Figura 1 mostra a disposição da barragem.

O grande desafio geotécnico e a razão do bom projeto de instrumentação instalado na barragem foram as condicionantes geológicas e geotécnicas da fundação, em especial a presença de rochas brandas com descontinuidades (arenitos e siltitos da Formação Caturrita) sob o corpo do barramento. As demais estruturas, como a casa de máquinas, tomada d’água e ombreiras estão em contato com rochas basálticas da Formação Serra Geral. Algumas camadas com características de solo (arenitos e siltitos brandos) no interior do maciço rochoso foram encontradas nas campanhas de investigação geotécnica, com espessuras variando entre milímetros e dezenas de centímetros [4].

Essas condicionantes desfavoráveis, tanto sob o ponto de vista de deformação como de fluxo, levaram à instalação de diversos instrumentos de controle da estrutura: piezômetros de tubo e corda vibrante, medidores de vazão, pêndulo direto, extensômetros de hastes múltiplas e medidores triortogonais.



FIGURA 1 – Barragem UHE Dona Francisca

3. GESTÃO DE DADOS – GERAÇÃO, AUDITORIA E ANÁLISE

O monitoramento da estrutura ao longo dos anos gera uma base de dados que subsidia as análises de comportamento, possibilitando a criação de correlações e previsões de comportamento baseados em cenários de carregamento. Contudo, a qualidade dessas análises está diretamente relacionada à qualidade dos dados, e esta relação torna-se ainda mais dependente quando se utilizam novas ferramentas de análises baseadas em Inteligência Artificial.

Por essa razão, foi realizada uma abordagem sistemática na avaliação do banco de dados da UHE Dona Francisca com intuito de qualificar os dados de entrada no sistema automático de análise, eliminando erros e dados espúrios. A metodologia utilizada foi separada em três fases, conforme apresentado na Figura 2.

A primeira consiste em mapear os processos envolvidos na rotina de monitoramento, isto é, conhecer as características e especificações dos instrumentos e sensores (faixa de medição,

acurácia, precisão, etc.), histórico da instalação e manutenção, calibração e, principalmente, o fluxo da informação. Muitos erros de medidas podem ser identificados a partir do entendimento de toda a cadeia geradora do dado, incluindo aspectos técnicos, como o procedimento de leitura, mas também fatores não técnicos relacionados com gestão e treinamento de equipe.

A segunda fase está relacionada com a auditoria dos dados secundários para verificação e correção de possíveis erros. Essa análise é realizada a partir dos dados já convertidos, mas não consolidados, ou seja, dados em unidades de engenharia. Ex: deslocamento (mm), poropressão (kPa), vazão (m^3/s).

A partir da definição dos dados suspeitos foi realizada a auditoria de cada dado, verificando se houve algum erro entre o momento da leitura e a inserção no banco de dados (erro de digitação ou interpretação errada do dado escrito). Na confirmação da inconformidade, o dado era alterado no banco de dados. Em caso contrário, mantido. Contudo, foram encontradas situações específicas em que o dado estava possivelmente errado, mas não havia evidências claras. Em muitos casos esses erros foram caracterizados tipicamente como erros de leitura do instrumento, troca de aparelhos de medição, ou anotação da leitura em lugar errado. Esses dados são de difícil auditoria, mas ainda passíveis de correções ou suspeição.

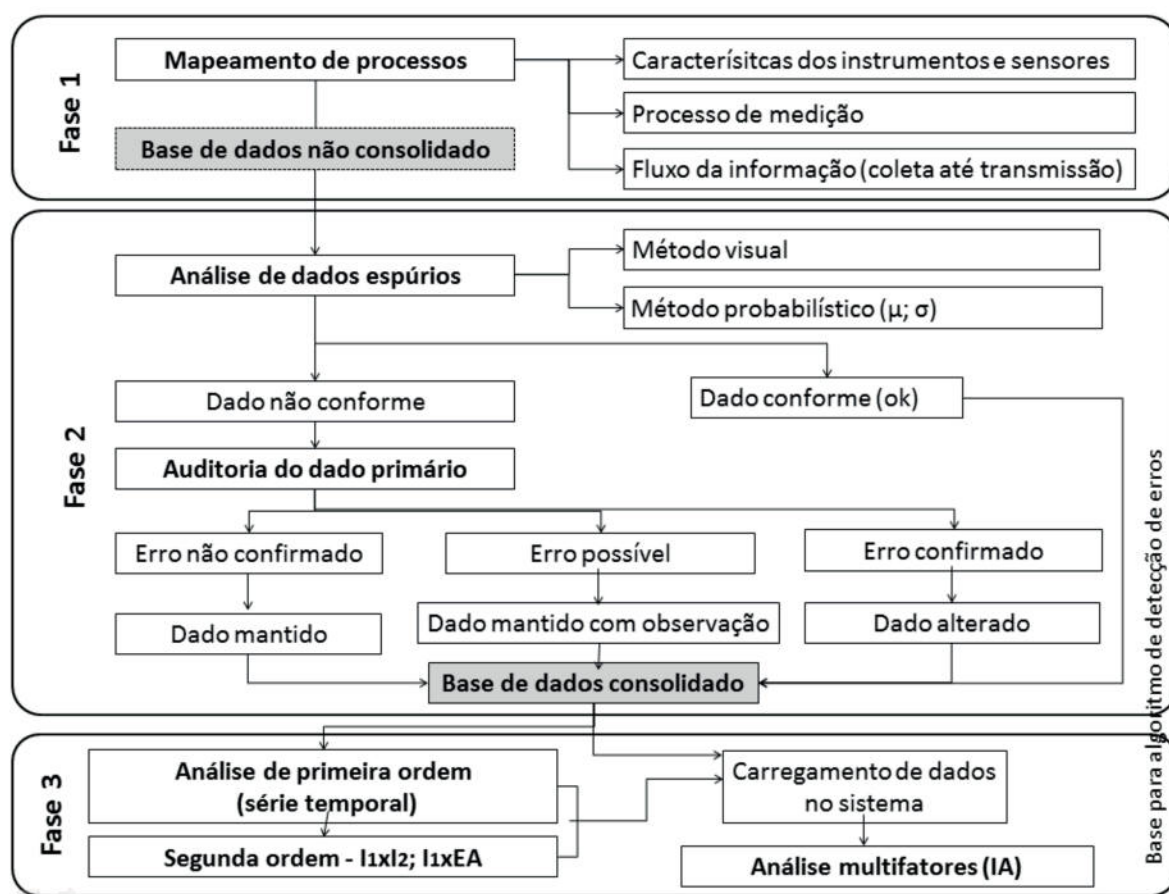


FIGURA 2 – Metodologia de análise do banco de dados

Na identificação dos dados “suspeitos” foram utilizadas duas abordagens: (i) análise visual de tendência - plotando a série histórica e observando-se a faixa de oscilação considerada normal do sensor, ou (ii) análise probabilística. A primeira, embora simples, é útil para séries de dados bem definidas, com baixa dispersão e onde erros se tornam evidentes, como valores fora da faixa de medição do sensor. A segunda permite definir um ponto de corte em que todos os dados fora de uma probabilidade de 95% de ocorrência devem ser verificados.

Todas as correções foram devidamente registradas e notificadas. O resultado desse processo manual de verificação e correção de dados foi um banco de dados revisado e consolidado.

A auditoria permitiu a identificação dos principais erros e subsidiou a elaboração de algoritmos de identificação de erros, pois mesmo com a automatização da instrumentação, ainda haverá instrumentos com leituras manuais, de tal forma que esse sistema de identificação permitirá a manutenção de um banco de dados qualificado.

A partir do banco de dados consolidado foi possível realizar análises mais confiáveis do comportamento das estruturas e dos estudos de correlações. Inicialmente, foram feitas análises de simples tendência com séries temporais, correlações cruzadas simples (resposta do instrumento a carregamentos já conhecidos - enchimento e esvaziamento do reservatório, diferenças sazonais de temperatura, etc.) e análise multifatores, caracterizada pela interação de 'n' variáveis, nas quais se faz o uso de ferramentas computacionais de inteligência artificial.

4. AUTOMATIZAÇÃO DE INSTRUMENTOS – DO SENSOR AO DASHBOARD

Foram desenvolvidos equipamentos que permitem a telemetria dos dados, ou seja, que fazem a leitura automática dos sensores eletrônicos existentes (piezômetros e extensômetros de corda vibrante) e enviam esses dados, a cada uma hora, ao servidor para armazenamento e análise.

Em cada conector do painel MUX, que concentra as terminações elétricas dos sensores, foi conectado um multiplexador que está conectado num conversor de sinal de corda vibrante para sinal elétrico (de 4 a 20 mA). A saída do conversor foi ligada a um controlador industrial (CLP) que executa o software de coleta de dados. O CLP está conectado em um *switch* que permite a comunicação dos dados até um servidor, através de comunicação *Modbus* TCP/IP, usando fibra óptica como meio físico. A Figura 3 apresenta a arquitetura da solução simplificada e a Figura 4 traz a instalação de parte dos equipamentos na barragem. Em caso de necessidade de verificação manual, é possível a realização de leituras diretas nos terminais do MUX.



FIGURA 4 – Equipamentos de coleta de dados e comunicação instalado

Outros instrumentos manuais foram automatizados com a implantação de novas tecnologias. Para os medidores triortogonais foi desenvolvido um sensor de efeito *Hall* que tem um acionamento semelhante ao de um relógio comparador, com intervalo de medição de 0 até 10 mm e resolução de 0,01 mm (3 sensores para cada triortogonal, Figura 5).

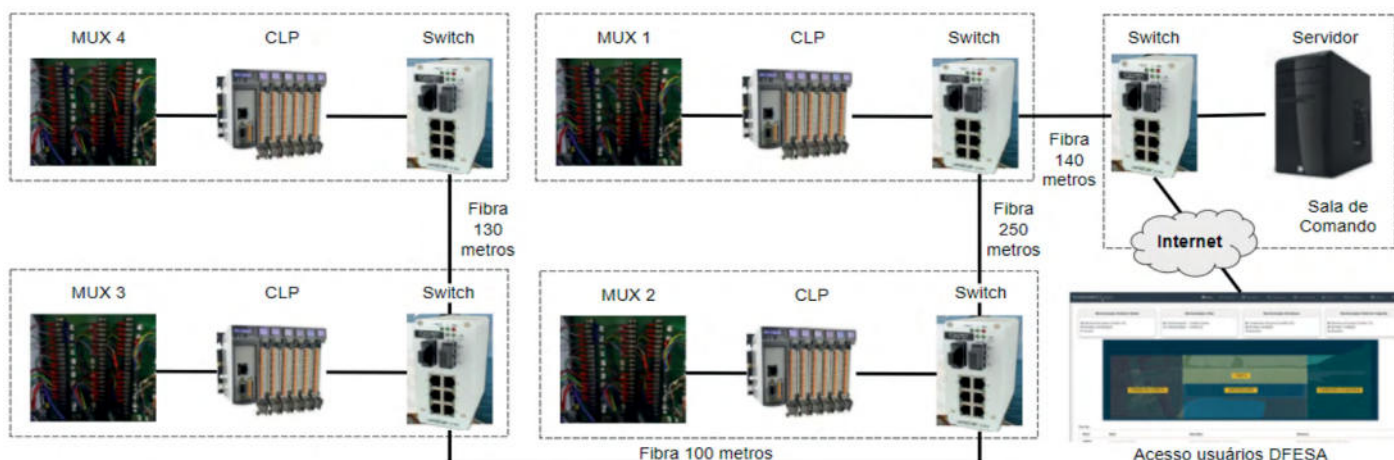


FIGURA 3 – Arquitetura da solução



FIGURA 5 – Automação de medidor triortogonal

Os drenos foram automatizados através de um sensor capacitivo que mede o nível de água vertente nos tubos de PVC, sendo possível correlacionar esta medida com a vazão em litros/segundo (ℓ/s). O sensor é acoplado diretamente na saída dos drenos. Os sensores foram instalados em drenos que apresentaram historicamente vazões relevantes. Para os piezômetros de tubo de pequeno diâmetro foram desenvolvidos sensores que medem a pressão em metros de coluna de água, com intervalo de medição de 0 a 1000 mm e resolução de 1 mm (Figura 6).

Todos os dados coletados dos sensores são disponibilizados em uma plataforma web. Ainda nas telas de visualização estão incorporadas figuras das plantas e seções transversais da barragem com a localização dos instrumentos. A Figura 7 mostra um diagrama das principais funcionalidades do sistema desenvolvido. Os dados são inseridos no sistema de forma automática, seja diretamente através da leitura dos sensores instrumentados ou por incorporação automática de planilhas preenchidas manualmente para os demais sensores.

Algoritmos processam essas informações, detectando erros de digitação, variações bruscas nos valores de medição,



FIGURA 6 – Automação de drenos (esquerda) e piezômetros de tubo (direita)

valores que estão fora dos limites da instrumentação e novos comportamentos de grupos de sensores, gerando alertas no sistema. Os algoritmos identificam a direção dos movimentos da barragem e suas oscilações normais, além da previsão de nível de água do reservatório e vertimento da barragem com 24 horas de antecedência.

Todos os dados são acessados pelos usuários através de Dashboards que permitem a verificação e a aprovação de dados de leituras manuais, a visualização de séries temporais e alertas, além da realização de análises e emissões de relatórios. Os usuários podem fazer diversas configurações: cadastramento de e-mails para recebimento de alertas, atualização de constantes de calibração dos instrumentos e alteração dos limites de alertas. A Figura 8 apresenta exemplos de telas do sistema

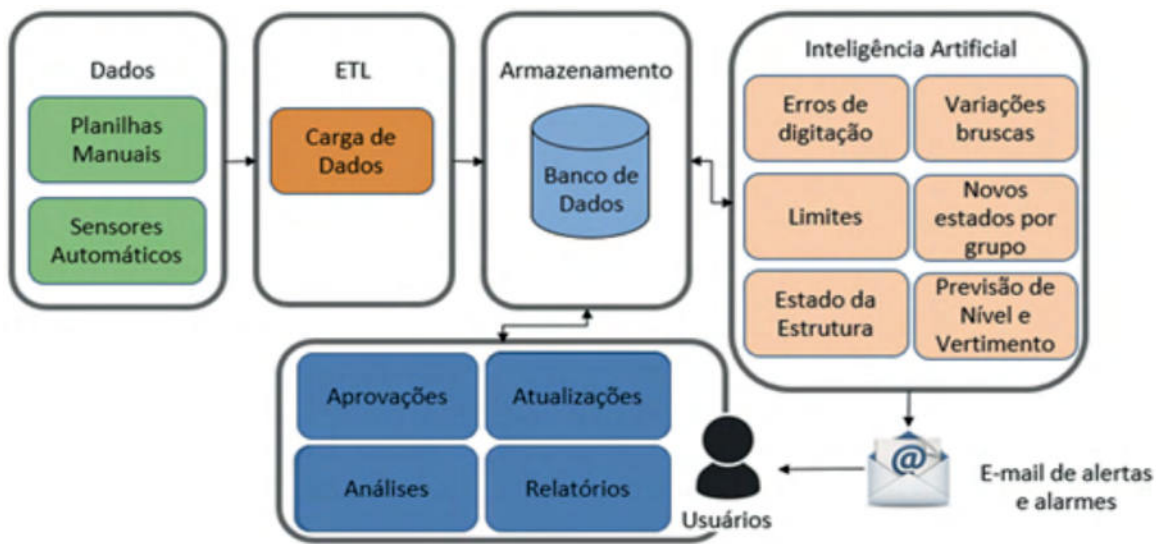


FIGURA 7 – Diagrama de funções do sistema web

(painel central, controle de alertas, séries temporais, plantas e cortes com a localização dos instrumentos).

Outro ponto importante a se destacar foi o desenvolvimento de um algoritmo que permite a previsão do nível e vertimento da barragem com até 24 horas de antecedência. O modelo desenvolvido consegue prever o nível do reservatório e o vertimento com erros considerados pequenos (erro quadrático

médio abaixo de 15 cm do nível do reservatório para 75 % das previsões e erro quadrático médio abaixo de 14,6 m³/s de vazão para 75 % das previsões). Cabe ressaltar que o modelo não utiliza dados meteorológicos, apenas dados disponíveis na barragem, como vazões afluentes (vazão que chega na barragem), vertimento (vazão liberada através do vertedouro), vazão de turbina (para geração elétrica) e nível (de água na barragem).

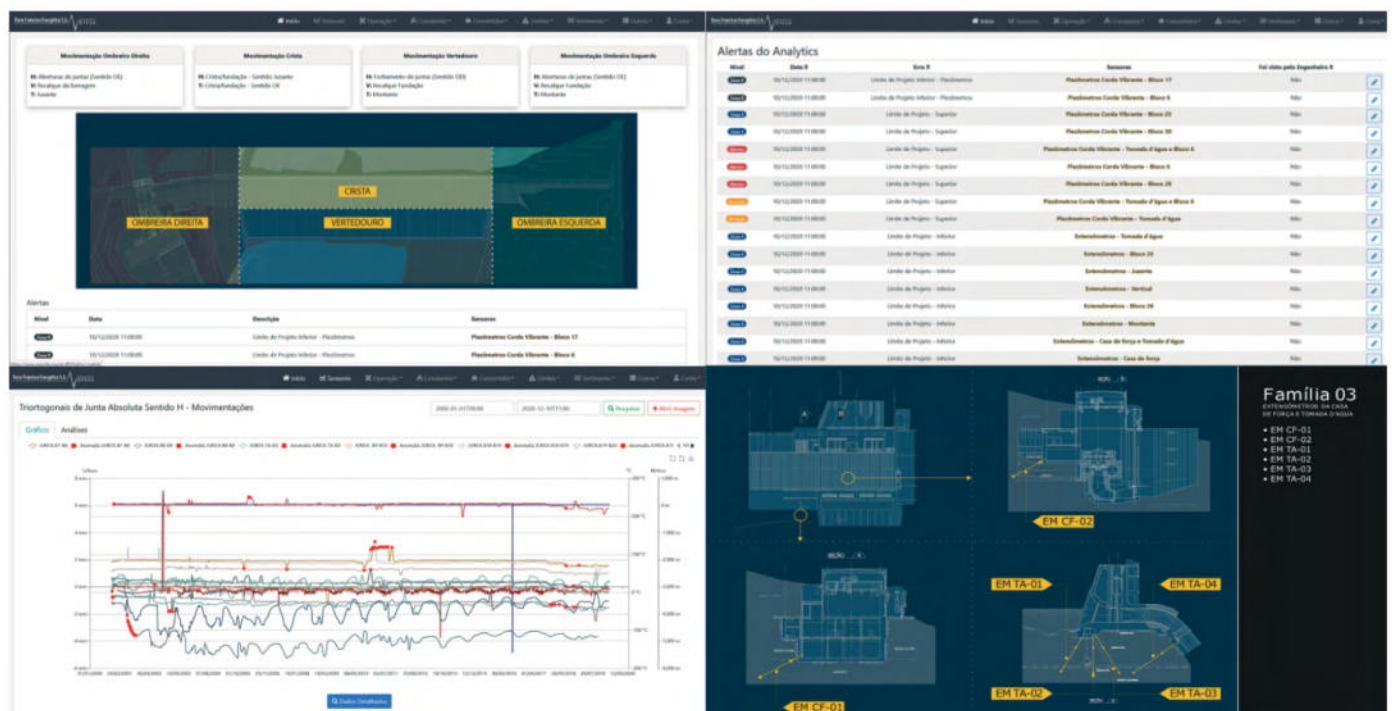


FIGURA 8 – Telas do sistema web

5. MONITORAMENTO AÉREO DO VERTEDOURO E MARGENS

O monitoramento aéreo do concreto no vertedouro em degraus, perfil *Creager*, surgiu pela necessidade de melhorar o método de inspeção, minimizando o risco de acidentes de trabalhadores durante as inspeções visuais. Esse sistema é composto por um drone comercial que realiza voos autônomos e um *software* que organiza as imagens obtidas e constrói um mapa 3D da região, além de detectar danos no concreto do vertedouro. O drone realiza voos a partir de seis rotas programadas (Figura 9), bastando o operador escolher uma rota e iniciar a operação. O drone irá automaticamente decolar, realizar a rota obtendo as imagens e pousar.

O *software* de processamento organiza e monta mapas 3D a partir das fotos obtidas pelo drone. Também permite inserir manualmente marcadores no mapa, sinalizando regiões de interesse de acompanhamento pelo usuário. Adicionalmente, organiza e disponibiliza as fotos em alta resolução, de diferentes datas, por região, permitindo a comparação da evolução das patologias de forma fácil usando o mapa 3D.

Ainda, em relação ao vertedouro, ele analisa as imagens e sinaliza possíveis danos e patologias que devem ser verificadas pelo responsável. A Figura 10 apresenta um exemplo de um mapa 3D do vertedouro com dois marcadores, um menu de acesso com as fotos de diferentes datas da região e uma imagem com os danos identificados.

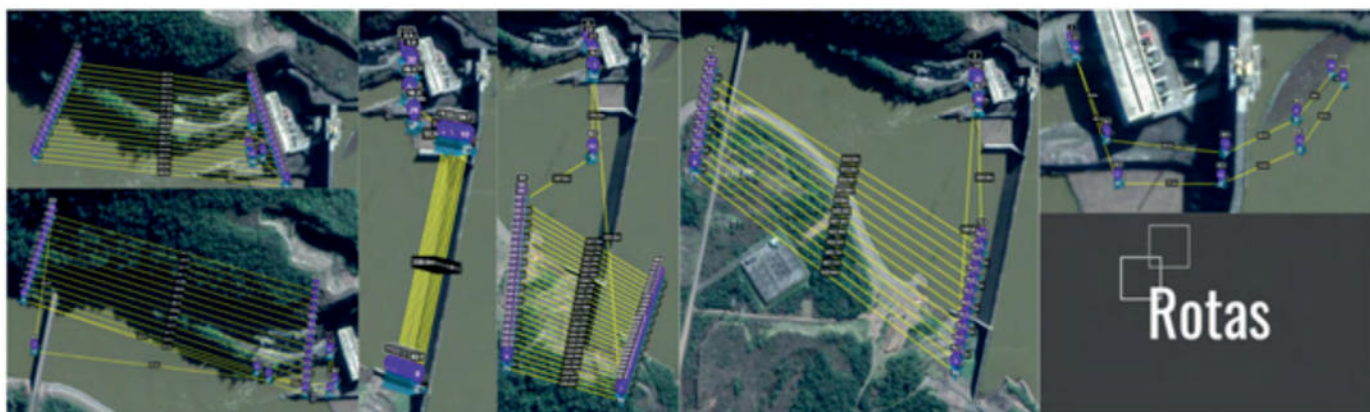


FIGURA 9 – Rotas de monitoramento aéreo automático



FIGURA 10 – Mapa 3D e sinalização de danos no vertedouro

6. CONCLUSÕES

O atual cenário regulatório, gerado como resposta aos últimos desastres ocorridos nas cidades de Mariana e Brumadinho, [5] demonstra a necessidade de soluções para monitoramento da segurança de barragens online com uso de instrumentos automatizados, algoritmos de inteligência artificial e sistemas que coletam, processam e disponibilizam informações relevantes em tempo hábil para que riscos sejam percebidos com antecedência e que ações possam ser realizadas de forma antecipada.

Este projeto contribui ao gerar uma solução completa de monitoramento, que está instalada e operando na Barragem da UHE Dona Francisca. Atualmente, está sendo realizado um acompanhamento da operação do sistema, pois com o monitoramento frequente de dados, variações de medições são percebidas de forma mais frequente, podendo ser a base para a criação de novos algoritmos para alertas e análises, além de ajustes no sistema- incluindo o desenvolvimento e instalação de sensores em outras localidades, além da revisão de rotinas de acompanhamento e manutenção.

O projeto trouxe diversas inovações através da criação de procedimentos de análise de dados, de sensores, algoritmos e sistemas computacionais. O sistema poderá ser utilizado no monitoramento de outras barragens, adequando-se às situações específicas de projeto ou tipos construtivos, tanto no setor elétrico como no setor de mineração, suprimindo uma lacuna importante.

A inserção do setor barrageiro na indústria 4.0 já é uma realidade, e deve ser baseada no conceito de interoperabilidade, integrando e conectando diversas tecnologias em um único ambiente de controle, sem perda da informação e garantindo acesso e manutenção do histórico da estrutura.

7. PALAVRAS-CHAVE

Barragem, monitoramento, segurança de barragem, inteligência artificial, drone, previsão de vertimento, previsão de nível, instrumentação.

8. AGRADECIMENTOS

O projeto teve o apoio financeiro da ANEEL, do SENAI e da EMBRAPPII, além da participação de diversos pesquisadores e técnicos das diversas instituições envolvidas, a quem os autores agradecem.

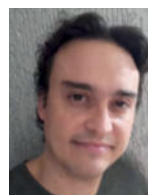
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GALLAHER, M. P.; O'CONNOR, A.; DETTBARN, J.; GILDAY, L. (2014) – “*Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S.*”, Capital Facilities Industry. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- [2] BRESSANI, L. A.; SIMÕES, E. B.; OGURA, A. T.; BOESING, I. J.; HANAUER, D. S.; BALBINOT, G. (2018) – “*A Monitoring System for Landslides and Geotechnical Works Using Statistical and Artificial Intelligence Models*”, 10th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] BRESSANI, L. A.; FONSECA, M. L.; BOESING, I. J. (2020) - Sistema de Monitoramento e Controle Inteligente para a Barragem da UHE Dona Francisca - SMCI UDF. Relatório final do projeto de P&D da ANEEL com código PED-00667-0003/2018. Dezembro de 2020, diversos capítulos. Não publicado.
- [4] SOBRINHO, J. A.; ALBERTONI, C. A.; TAJIMA, R.; MORAES, R. B. (1999) “*Investigação dos materiais de fundação da UHE Dona Francisca.*” XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte. Anais... CBDB, Rio de Janeiro. Vol. 1. p.229-236.
- [5] PACHECO, A. P.; HENRIQUES, R. F. F.; RIBEIRO, P. M. V. (2020) – “*Technical and scientific aspects of dams in Brazil: a theoretical approach*”, Revista Ambiente & Água. Vol.15. n°.5.



Eduardo SIMÕES

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2016) com estudos complementares pela École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie (ESTP), Paris. Mestre em Construção e Infraestrutura pelo programa de Pós-graduação em Engenharia Civil- Construção e Infraestrutura (PPGCI) da UFRGS em 2019. É Doutorando do mesmo programa e sócio da BSE Engenharia Geotécnica e Ambiental.



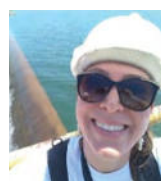
Murilo FONSECA

Engenheiro de Controle e Automação pela Universidade Federal de Santa Catarina (2008) e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2011). Atua como pesquisador no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Embarcados.



Ivan BOESING

Físico pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1996) e Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001). É Doutorando em Informática na Educação (UFRGS) com foco em novas tecnologias de sensoriamento em ambientes de aprendizagem através do uso de IoT e sócio da UPSENSOR.



Camila SMIRDELE

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2005), Especialista em Segurança de Barragens pelo Grupo IDD (2019) e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013). Atua como Engenheira Civil na CEEE.

IMPORTÂNCIA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA A ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE TERRA

Arthur ANDREETTA | Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - UNESP
César CAMPIONI | Engenheiro Civil - UNESP

RESUMO

As barragens são estruturas artificiais construídas pelo homem e estão presentes em nosso cotidiano desde os primórdios da civilização. Essas estruturas possuem múltiplas finalidades. Com isso, suas características técnicas são as mais variadas dentre tipos de materiais para construção, altura e comprimento, entre outros. Essa variedade de métodos construtivos proporciona barramentos mais e menos seguros estruturalmente. No âmbito da validação da segurança estrutural das barragens, está a avaliação da estabilidade de seus taludes, parametrizados por fatores de segurança definidos pela literatura e aplicados nos projetos e construções dessas obras. De acordo com os elementos construtivos que compõem a seção de uma barragem, esse fator de segurança pode ser maior ou menor.

ABSTRACT

Dams are man-made artificial structures that have been present in our daily lives since the dawn of civilization. These structures have multiple purposes, and with this, their technical characteristics are the most varied, among types of materials for construction, height and length, among others. This wide variety of construction methods provides more and less structurally safe busbars. As part of the validation of the structural safety of the dams, there is the assessment of the stability of its embankments, parameterized by safety factors defined by the literature and applied in the projects and constructions of these works. Depending on the construction elements that make up the section of a dam, this safety factor can be greater or lesser.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior potencial hídrico do planeta em função de seu território ser ocupado por uma grande quantidade de barragens. O número não é nem mesmo conhecido de fato, pois os levantamentos apontam para 240.899 massas d'água em solo nacional, das quais apenas 66.372 seriam de origem natural [1]. As demais são devido a formação de reservatórios artificiais, provavelmente, promovidos por barramentos. Contudo, na última edição do Relatório de Segurança de Barragens (RSB), consta que existem 19.388 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) [2].

A defasagem na contabilização das barragens brasileiras pode ser, principalmente, pelo fato de que a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) não é destinada a todas as estruturas existentes, mas apenas àquelas que se enquadram em função de algumas características técnicas, como altura ou volume, por exemplo.

Esse enquadramento faz com que grande parte das pequenas barragens (e que são maioria não só no Brasil) fique de fora da PNSB e do SNISB.

Pode-se adicionar a essa questão o fato de que a maioria das barragens construídas seja para uso na irrigação, apesar dos barramentos serem estruturas de múltiplas finalidades, como abastecimento humano e dessedentação animal, geração hidrelétrica, contenção de rejeitos de mineração ou resíduos industriais, entre outros. Estima-se que cerca de 50% das barragens sejam construídas com a finalidade de armazenar água para irrigar a produção agrícola. [3]

Como o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do planeta, atrelado ao enorme potencial hídrico existente, é natural compreender que grande parte das barragens brasileiras seja de pequeno porte, localizada em zonas rurais, com o intuito de irrigar lavouras. Essa teoria é fortificada no RSB ao afirmar que uma “barragem tipo” no Brasil é, provavelmente, uma estrutura de terra, de um empreendedor privado, com altura inferior a 15 m e volume inferior a 3 hm³. [2]

A problemática dessas barragens tipo, encontradas em grande quantidade e sem o seu devido cadastro, é que, por serem estruturadas dispensadas da PNSB, elas acabam não tendo bons projetos de Engenharia, tão pouco controle e acompanhamento de sua construção, assim como materiais construtivos sem seleção, podendo até serem de má qualidade.

Dessa forma, entende-se haver a falta da Engenharia de Barragens em grande parte das estruturas existentes no País. A deficiência construtiva dos barramentos por falta de conhecimento, mesmo quando em pequenas estruturas, pode causar danos de maior magnitude do que se ocorresse um acidente com uma barragem grande.

A história mostra desastres acometidos pela ruptura de pequenas barragens de irrigação localizadas sequencialmente devido ao desconhecimento da existência das estruturas, bem como a deficiência de técnicas construtivas e a falta de controle e monitoramento das mesmas.

Assim, o desenvolvimento de um estudo que ilustre técnicas construtivas, que auxilie na garantia de maior segurança estrutural através de fatores de segurança de estabilidade, por meio da aplicação de elementos construtivos às barragens, foi desenvolvido para permitir que os pequenos empreendedores rurais possam obter esse conhecimento e aplicá-lo.

Para a realização dessa análise, utilizou-se o subsídio de softwares de modelos de cálculos matemáticos computacionais, sendo que esses cálculos foram realizados com a ferramenta *GeoStudio*® da GEOSLOPE International Ltda.

2. METODOLOGIA

2.1 PERCOLAÇÃO NOS MACIÇOS E NA FUNDAÇÃO

As verificações de segurança dos taludes se dão através da determinação da sua percolação, pois trata-se de uma informação vital para a continuação dos cálculos da estabilidade destes e para a determinação das solicitações que atuam no barramento.

Os princípios analisados nos cálculos realizados são: definições de fluxo, linhas equipotenciais, superfície freática, carga piezométrica, poro-pressão, delineamento da saturação em meios porosos e completamente saturados (Lei de Darcy [4 e 5]), métodos de determinação da permeabilidade em meios que não estejam completamente saturados.

2.2 ESTABILIDADE DO BARRAMENTO

O fenômeno do cisalhamento é responsável por praticamente todas as rupturas observadas nos solos. A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo suporta sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do solo no plano que a ruptura estiver ocorrendo. [5]

A análise de estabilidade de um barramento é dificultada por diversos fatores existentes [6], mas os três principais fatores a serem trabalhados são:

- Selecionar os parâmetros de cálculo;
- Prever as condições de fluxo;
- Antecipar as formas mais prováveis de ruptura.

Determinar a possibilidade de ocorrência de movimentações de massas de solo em um talude natural ou artificial é um dos objetivos da análise de estabilidade.[7]

2.2.1 FATORES DE SEGURANÇA (FS)

A estabilidade de um barramento está diretamente relacionada com o fator de segurança de seus taludes. Entende-se como fator de segurança a divisão entre as forças resistentes ao cisalhamento e a tensão atuante (equação 1).

$$FS = \frac{S}{\tau} \quad (1)$$

Onde:

S - Representa a resistência ao cisalhamento

τ - Tensão cisalhante atuante

Quando o FS é igual a 1 há possibilidade de ocorrer uma ruptura do maciço, pois as forças atuantes são iguais as forças resistentes.

Os perigos de um baixo fator de segurança com possíveis rupturas foram e são relacionados por diversos autores da literatura da Engenharia Geotécnica. Ao analisar os possíveis danos que uma hipotética ruptura pode causar, foram definidos valores mínimos para o fator de segurança dos taludes de montante e jusante. A Tabela 1 apresenta os valores mínimos

do FS para o Manual de Segurança e Inspeção de Barragem [8], segundo Cruz [6], e a Tabela 2 traz as considerações do *GeoStudio*® [9].

Condição	Talude	FS [8]	FS [6]
Percolação permanente com o reservatório no NA máximo normal	Jusante	1,5	1,3 (terra-enrocamento) 1,5 (homogênea)
Rebaixamento rápido	Montante	De 1,2 a 1,3	1,0 (terra-enrocamento) 1,1 (homogênea)
Antes do primeiro enchimento	Jusante e Montante	De 1,25 a 1,3	1,2 (terra-enrocamento) 1,3 (homogênea)

TABELA 1 – Fatores de Segurança [6 e 8]

Fator de segurança (FS)	Condição do talude
FS < 1,0	Talude instável, que deverá sofrer ruptura.
FS = 1,0	Condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura, também, condição adotada geralmente nos cálculos de retroanálise.
FS > 1,0 (pouco maior)	Condição estável, quanto mais próximo de 1,0 for o FS, mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude.
FS > 1,0 (muito maior)	Condição estável, quanto maior for o FS, menores serão as possibilidades de o talude vir a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas (percolação d'água, etc).

TABELA 2 – Considerações sobre o FS [9]

Método	Hipóteses	Comentários (Tipo de superfície de ruptura)
Janbu Generalizado (1968) (fatias) [11]	Localização da força normal entre fatias definida por uma linha de empuxo arbitrária.	(Qualquer) – n hipóteses sobre o ponto de aplicação das forças normais entre fatias. Posição da última não é usada, com o equilíbrio de momentos não sendo satisfeito na última fatia. FS determinado a partir do equilíbrio de forças e momentos.
Morgenstern-Price (1965) [12]	Resultante das forças entre as fatias definidas usando uma função arbitrária f(x). A parcela de f(x) necessária para satisfazer o equilíbrio de forças e de momentos é calculada	(Qualquer) – n hipóteses sobre o ponto de aplicação da força normal e (n-1) sobre a magnitude relativa das forças entre fatias. Fatias são de espessura infinitesimal
Spencer (1967) [13]	Resultante das forças entre as fatias têm inclinação constante através da massa do solo	(Qualquer) – método semelhante ao de Morgenstern-Price com f(x) = 1

QUADRO 1 – Características dos métodos de equilíbrio

Problema	Detalhamento	Causa	Possíveis soluções
Alta saturação dos taludes de jusante	Insuficiência dos filtros	Colmatação do sistema de drenagem, erros nas considerações dos materiais empregados para os filtros.	Limpeza do filtro e verificação com os instrumentos de auscultação da linha de poropressão. Se necessário, construir um filtro invertido.
	Ausência de filtros	Erros nos materiais empregados no núcleo em barragens heterogêneas, ou materiais com alta permeabilidade, ou baixo grau de compactação.	Construção de filtro invertido com material adequado, ou de um colchão posterior, ou um tapete horizontal a jusante.
	Níveis anormais do reservatório	Problemas de previsão de cheia, ou mau funcionamento das estruturas extravasoras	Análise em tempo real das vazões dos afluentes. Liberar a passagem de água o mais rápido possível.
	Alta permeabilidade da fundação	A saturação dos taludes de jusante ocorre por capilaridade. Fraturação excessiva de rochas e fissuras	A principal solução é a construção de poços de alívio, ou verificação se não existe colmatação dos tapetes drenantes. No caso de fraturação excessiva é necessário a injeção de calda de cimento ou construção de uma cortina impermeável (soluções bem difíceis de serem executadas)
Taludes de montante	Erosões causadas por ondas	Ausência de <i>rip-rap</i> ou de revestimento do talude em concreto	Utilização de <i>rip-rap</i> ou substituição quando necessário.
	Rebaixamento rápido	Falha nos sistemas extravasores	Utilização de <i>rip-rap</i> ou de matérias com maior resistência.
Excessos de inclinação	Inclinações superiores às recomendadas por norma	Erros de projeto	Construção de bermas de jusante, aumento da base do talude de jusante.
Erosão superficial	Erosões causadas por precipitação	Ausência de vegetação ou <i>rip-rap</i>	Plantio de tapetes de grama ou utilização de <i>rip-rap</i>

QUADRO 2 – Soluções para aumentar o fator de segurança

2.2.2 MÉTODO DO EQUILÍBRIO LIMITE

Para os cálculos dos fatores de segurança, os métodos de equilíbrio limite adotam uma superfície de ruptura em cunha [10]. Os cálculos devem ser repetidos “n” vezes até atingir a superfície com menor fator de segurança para aquela seção estudada. Por conta dessa repetição de cálculos que as ferramentas computacionais facilitam o processo.

2.2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

O Quadro 1 traz as hipóteses e os tipos de ruptura dos métodos que serão utilizados neste trabalho.

2.3 MÉTODOS PARA AUMENTAR O FATOR DE SEGURANÇA

Para elevar o fator de segurança de uma determinada seção há diversas possibilidades construtivas a serem realizadas junto à estrutura. Cabe ao Engenheiro especialista determinar qual a

solução mais viável, a partir dos custos de execução e dos estudos realizados. No Quadro 2 apresentam-se algumas soluções que podem ser empregadas, considerando os problemas mais comuns que podem causar baixos fatores de segurança.

3. RESULTADOS

A partir do software *GeoStudio*®, utilizando as ferramentas *SEEP/W* e *SLOPE/W*, foram calculados, respectivamente, a permeabilidade e o fator de segurança para um maciço de terra típico e suas adequações construtivas até que o talude apresentasse valores satisfatórios de estabilidade.

Para realização das aplicações foi considerada, inicialmente, uma barragem de terra homogênea de solo areno-siltoso/argiloso para compactação do maciço de 54 m.

Cruz [6] determinou quais eram os solos mais utilizados nas barragens de terra no Brasil, identificando quatro principais tipos (grupos 1 ao 4), sendo que o primeiro grupo tinha a melhor resistência. [10]

Item	Material	Legenda	Peso específico γ_s (kN/ m ³)	Coesão C' (kPa)	Ângulo de atrito ϕ (°)	Permeabilidade K_{sat} (m/s)
1	Solo compactado laterítico arenoso		16	0	25	1,00 E-04
2	Núcleo argiloso		18	10	22	1,50 E-06
3	Fundação em rocha sã		30	150	35	1,00 E-08
4	Transições		17	0	27	1,00 E-03
5	Filtros		17	0	20	1,00 E-02
6	Enrocamento		21	0	40	2,50 E-02
7	Material utilizado nas bermas		24	5	24	1,00 E-04

TABELA 3 – Parâmetros utilizados na elaboração dos cálculos

Para a exemplificação deste estudo, foi adotado o solo do grupo 3 (solos lateríticos arenosos), pois mesmo tendo um alto teor de argila (próximo a 30%), tem uma fração arenosa predominante. Quando esses solos são compactados em graus de compactação menores que 95%, apresentam comportamento de areia fina, o que facilita a percolação e saturação dos taludes de jusante. Logo, faz com que os fatores de segurança diminuam significativamente.

O exemplo do trabalho quer tentar elevar os fatores de segurança da seção básica adotada, adicionando os seguintes elementos construtivos à seção inicial:

1. Construção de enscadeira e proteção de enrocamento até o N.A. mínimo operacional do talude montante para a avaliação de um rebaixamento rápido;
2. Construção de núcleo argiloso;
3. Construção de filtro vertical e horizontal no interior da seção e um filtro invertido no pé do talude jusante;
4. Construção de bermas no talude jusante.

O objetivo é determinar quais são os impactos destes elementos construtivos na estabilidade do talude e, com isso, analisar as melhores práticas da Engenharia.

Na Tabela 3 são apresentados os dados utilizados para os cálculos do trabalho, sendo que essas informações foram adotadas por estarem presentes na literatura da Engenharia Geotécnica. Na prática, os valores devem ser obtidos com base nos levantamentos de campo e conhecimento da obra, como sondagens, por exemplo.

Na Figura 1 observa-se a seção tipo elaborada para realização dos cálculos de estabilidade. A barragem de terra criada tem comprimento total de 289 m e altura total de 54 m. A crista tem 6 m de comprimento e as inclinações dos taludes de montante e jusante são de 1,00V:2,50H. O nível d'água máximo utilizado foi de 447 m.



FIGURA 1 – Seção tipo base

A Figura 2 ilustra o fator de segurança para cada um dos métodos estudados da seção base de terra homogênea, sem a presença de elementos construtivos adicionais à sua estrutura.

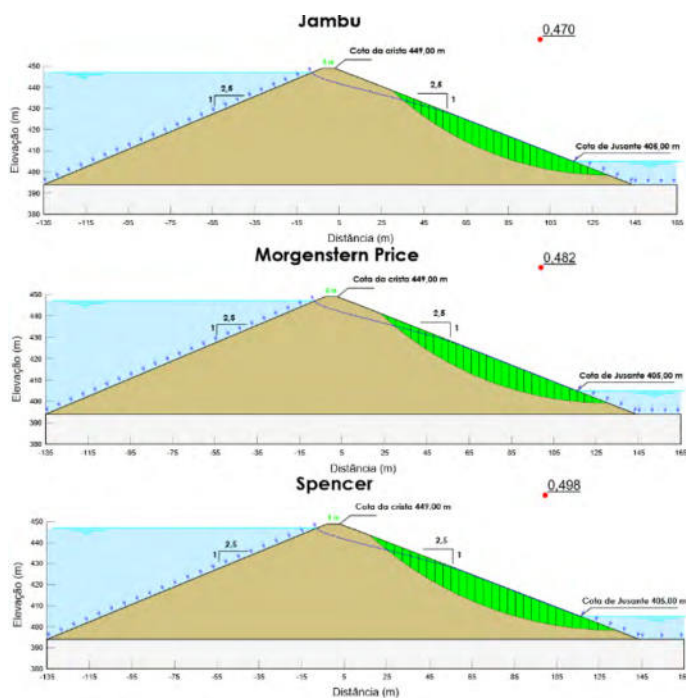


FIGURA 2 – Fator de segurança da seção base sem elementos construtivos adicionais

Já as Figuras 3 a 6 ilustram os resultados dos cálculos do FS para os métodos estudados, de acordo com a adição dos

elementos construtivos na seção base, na ordem apresentada anteriormente.

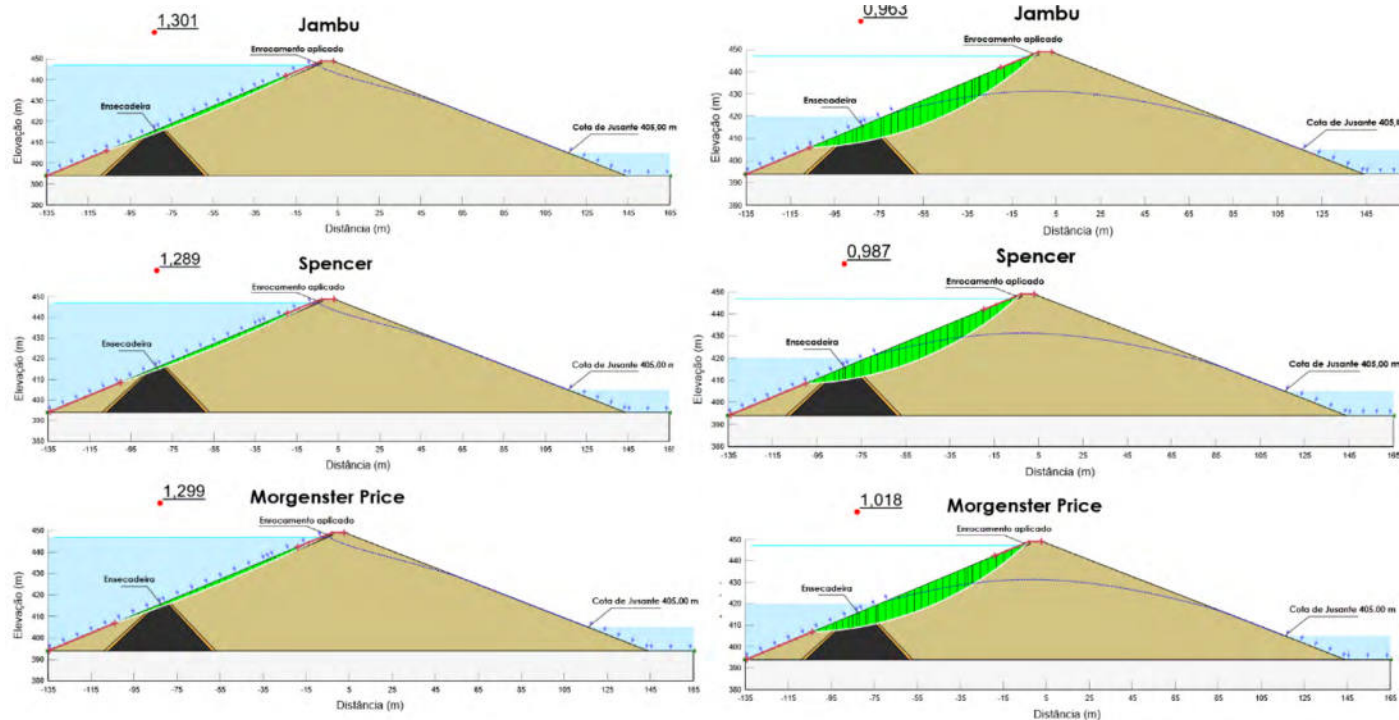


FIGURA 3 – Fator de segurança considerando a ensecadeira de montante e proteção de enrocamento

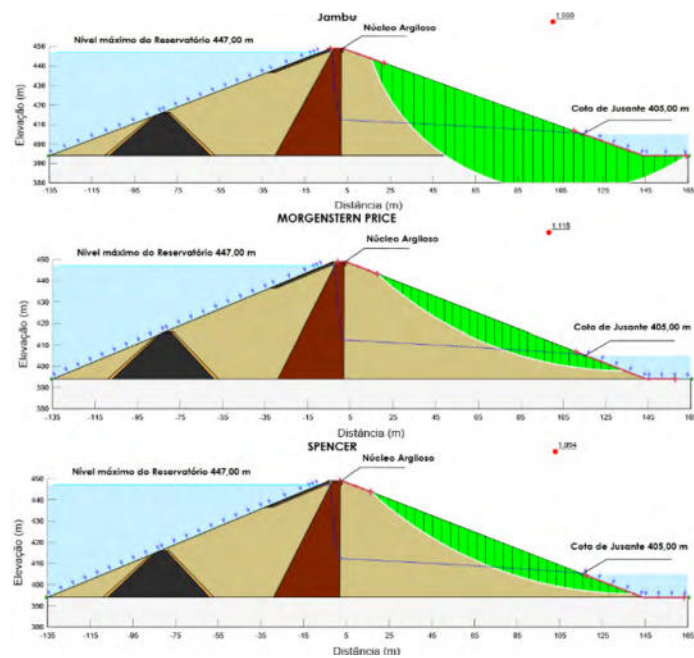


FIGURA 4 – Fator de segurança considerando núcleo argiloso

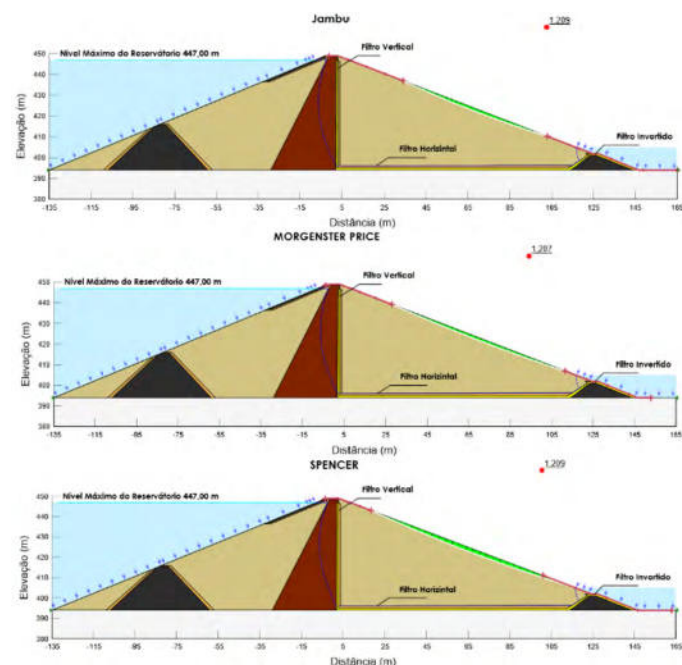


FIGURA 5 – FS considerando a seção com sistema de drenagem interno

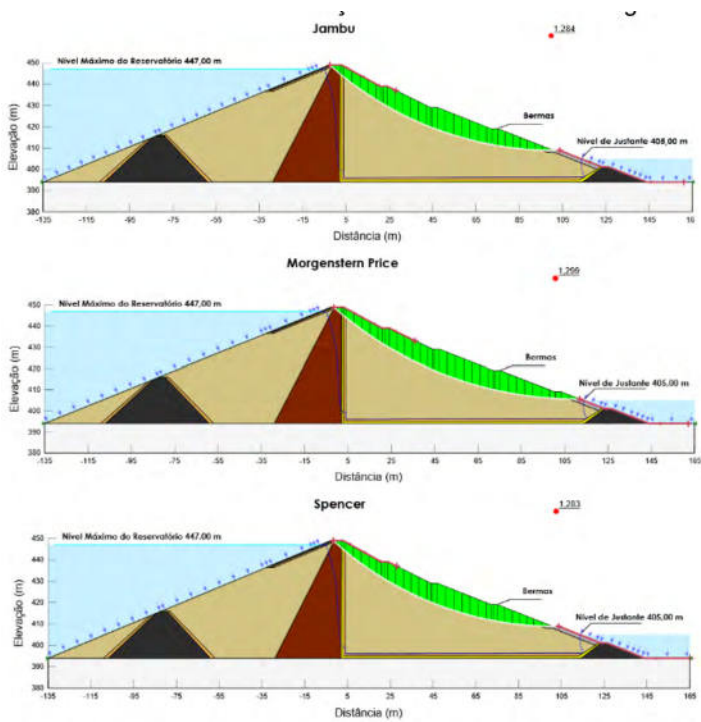


FIGURA 6 – FS considerando a seção com berma

A Tabela 4 sintetiza os resultados obtidos nas simulações realizadas para cada um dos métodos utilizados e conforme os elementos construtivos foram sendo adicionados à seção base (para acompanhar a evolução do fator de segurança).

Método	Seção Inicial	Seção com ensecadeira e proteção de montante	Seção com núcleo	Seção com sistema interno de drenagem	Seção com bermas
Janbu	0,470	0,963	1,000	1,209	1,284
Morgenster-Price	0,482	1,018	1,118	1,207	1,299
Spencer	0,498	0,987	1,094	1,209	1,283
Média	0,483	0,989	1,070	1,208	1,288

TABELA 4 – Valores de fatores de segurança calculados para a seção inicial

4. CONCLUSÕES

Dentre as diversas considerações necessárias para se determinar a segurança em uma barragem de terra, destacam-se duas: permeabilidade e estabilidade. Demonstrou-se a evolução dos fatores de segurança da seção proposta, de acordo com as adequações construtivas adicionadas ao talude, a partir do uso das ferramentas computacionais do *GeoStudio®* (ponto de atingirem o mínimo necessário por norma).

Partiu-se dos resultados encontrados na seção base (aterro de terra homogênea sobre fundação). Estes demonstraram que

a falta dos elementos construtivos para mitigar a percolação de água pelo maciço acarretam em uma exagerada saturação dos taludes, o que provoca baixos fatores de segurança, tanto para o rebaixamento rápido de montante, quanto para o talude de jusante.

Comprovou-se, então, que a adoção de proteção de enrocamento e a incorporação de ensecadeira a montante elevou os fatores de segurança em 30% para um rebaixamento rápido. Além disso, houve uma estabilização dos fatores de segurança mais rapidamente do que em comparação a um sistema sem estas adequações.

A adoção de um núcleo argiloso demonstrou a importância da consideração de uma barragem com seção zoneada para a construção destas estruturas (quanto a sua estabilidade e permeabilidade). O núcleo contribuiu significativamente para diminuir a saturação dos taludes de jusante e aumentou quase que em 100% os seus fatores de segurança.

O emprego de um sistema interno de drenagem, composto por filtro chaminé, tapete drenante e filtro invertido fez com que os fatores de segurança de jusante aumentassem em 20%. Além disso, diminuíram as chances de que ocorram problemas de erosões no interior do maciço.

Por fim, como os fatores de segurança para os taludes de jusante estavam próximos do mínimo, segundo o autor Paulo Cruz [6] e o Manual do Ministério de Integração Nacional [8], considerou-se a adoção de algumas bermas a jusante para

que os fatores de segurança atingissem o mínimo necessário. Contudo, esta solução não causou grandes mudanças aos fatores de segurança como as adequações anteriores, uma vez que as bermas consideradas foram pequenas.

Atenta-se para o fato de que, para uma boa análise de estabilidade de taludes, é necessário não só o conhecimento teórico do tema abordado (e a sabedoria em ferramentas computacionais para auxiliar no desenvolvimento dos resultados), mas, principalmente, ter amplo conhecimento da estrutura e como foi construída ou seja, saber sobre sua geometria, dimensões, composição, características, materiais.

Também é muito importante obter o conhecimento das informações de leitura de instrumentos e sondagens realizadas, caso houver, por exemplo.

Entretanto, o que se observa no dia a dia é uma grande dificuldade na obtenção destes dados, sendo este, um fator limitante primordial para este tipo de estudo - e que pode acarretar em defasagem e inviabilidade dos resultados.

5. PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade, percolação, elementos construtivos, *GeoStudio*, Segurança de Barragens.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020. Brasília, 2020. 118 p.
- [2] ANA. Relatório de Segurança de Barragens 2019. Brasília, 2020. 131 p.
- [3] ICOLD – International Commission on Large Dams. General Synthesis, World Register of Dams. Disponível em: < https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp>. Acessado em 10 de março de 2021.
- [4] CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000. 234 p.
- [5] PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- [6] CRUZ, P.T. 100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

[7] GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de Taludes. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

[8] BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília: 2002. 48 p.

[9] GEOSTUDIO. Stability Modeling with SLOPE/W. GeoSlope Int. 2012. (User's Manual).

[10] MASSAD, F. Obras de Terra: curso básico de Geotecnia. São Paulo: Oficina de textos, 2003.

[11] JANBU, N., Slope Stability Computations. Soil Mechanics and Foundation Engineering Report. Technical University of Norway, Trondheim, Noruega, 1968.

[12] MORGENSTERN, N.R.; PRICE, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, 15(1): 79–93.

[13] SPENCER, E. 1967. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Géotechnique*, 17(1):11–26



Arthur Bucciarelli ANDRETTA

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira (2009-2016). Especialista em Engenharia Geotécnica pela Faculdade Unyleya (2018-2019). Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua, Polo UNESP Ilha Solteira (2018-2020). Engenheiro de Segurança de Barragens da Statkraft Energias Renováveis, atuando em serviços relacionados à Política Nacional de Segurança de Barragens.



César Antonio CAMPIONI

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira (2012-2019). Estudante de MBA em Gestão de Projetos (USP). Experiência com serviços de Engenharia voltados às barragens de terra, emitindo laudos de estabilidade por um período superior a 4 anos.

SISTEMA INTEGRADO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS PARA GESTÃO DE INFORMAÇÕES DE BARRAGENS DE DIFERENTES PORTES

Candice Schauffert GARCIA | Diretora-Executiva, Engenheira Civil, M.Sc – RHA Engenharia
Laertes Munhoz da CUNHA | Diretor-Técnico, Engenheiro Civil, M.Sc – RHA Engenharia
Artur Cerveira BERTONE | Engenheiro Civil – RHA Engenharia

RESUMO

A Lei nº 12.334 de 2010 [1], responsável pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), possibilitou criar um marco legal para a segurança das barragens brasileiras, fornecendo dispositivos para sua aplicação. A RHA Engenharia, empresa sediada em Curitiba, atuante no setor há mais de 20 anos na elaboração de Planos, Monitoramentos e Inspeções de Segurança de Barragens em todo território nacional, desenvolveu uma ferramenta auxiliar de gestão em consonância com as necessidades dos seus clientes. A experiência adquirida pela empresa em mais de 100 barragens públicas e privadas de diferentes setores permitiu o desenvolvimento do Sistema Integrado de Segurança de Barragens (SISB-RHA), assegurando a conformidade dos empreendimentos com a legislação vigente. O SISB-RHA possibilita aos empreendedores a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, cumprindo as exigências da Lei com uma visão holística que integra proprietários, órgãos fiscalizadores, defesa civil e comunidade.

ABSTRACT

Brazilian Law number 12.334 of 2010 [1], established the National Dam Safety Policy (PNSB), and made it possible to create a legal framework for the safety of Brazilian dams, providing tools for their application. RHA Engenharia, a company based in Curitiba, Brazil, operate in the dam safety sector for over 20 years, working in the elaboration of Plans, Dam Monitoring and Dam Safety Inspections throughout the national territory, the company developed a tool to assist management in line with the needs of its customers. The experience acquired by the company in more than 100 public and private dams in different sectors allowed the development of the Sistema Integrado de Segurança de Barragens (SISB-RHA), ensuring the projects' compliance with the current legislation. The SISB – RHA enables dam operator and owners to implement the National Dam Safety Policy, fulfilling the requirements of the Law with a holistic view that integrates Owners, Inspection Bodies, Civil Defense and the Community.

1. INTRODUÇÃO

Barragens trazem benefícios para toda a população, seja com o abastecimento de água para uso humano e industrial, irrigação, produção de energia elétrica, regularização de vazões atenuando os efeitos de secas e cheias, disposição de rejeitos de mineração, acumulação de resíduos industriais, navegação, aquicultura ou recreação. No entanto, associado aos benefícios, existem os impactos sociais e ambientais, como a alteração do regime fluvial e de ecossistemas, o deslocamento de populações e sismos induzidos. Independentemente de seu tamanho, barragens, assim como qualquer estrutura, têm risco de ruptura e podem gerar danos às populações, ao ambiente e à economia.

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabeleceu para empreendedores e órgãos fiscalizadores a diretriz basilar para a garantia da segurança dos empreendimentos brasileiros. A Lei estabelece instrumentos para garantia da integridade das barragens, como: Elaboração do Planos de Segurança de Barragens; Elaboração e Implementação do Plano de Ação de Emergência; Elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragens; Realização de Inspeções Rotineiras e Especiais; Auscultação e Análise da Instrumentação na Barragem e Elaboração de Estudos Complementares. A PNSB, apesar de ser considerada uma legislação de referência, não impede o acontecimento de acidentes em barragens brasileiras, sendo necessário para tanto ações responsáveis e continuadas da parte dos proprietários, órgãos fiscalizadores e sociedade.

Acidentes como os de Mariana e Brumadinho ainda reverberam na sociedade, evidenciando a importância de estarmos permanentemente atentos para dirimir os riscos de desastre e garantir que a barragem cumpra sua finalidade, observando os cuidados necessários à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

Em 2019, num universo de 19.388 barragens em todo o território nacional, foram relatados 12 acidentes e 58 incidentes em 15 estados brasileiros (Relatório de Segurança de Barragens 2019, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). O mesmo levantamento realizado pela Agência aponta um aumento na quantidade de barragens, o que preocupa os órgãos fiscalizadores. São 156 barragens críticas em 22 estados - a maior parte delas (63%) pertence a empreendedores privados [2].

Os números confirmam a importância de ações de monitoramento e a necessidade de uma gestão integrada passível de ser implementada em todas as barragens brasileiras, garantindo sua segurança.

2. PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

A gestão de segurança de barragens requer, além do cumprimento dos instrumentos apresentados pela Política Nacional de Segurança de Barragens, uma visão sobre a segurança como um processo continuado, que deve ser incorporado no dia-a-dia dos empreendedores, independentemente do porte ou do número de barragens sob sua responsabilidade.

Os instrumentos apresentados pela Política Nacional de Segurança de Barragens permitem que seja avaliada a integridade de cada barramento e estruturas associadas. A partir dessas informações, medidas preventivas e/ou preditivas devem ser estabelecidas. Contudo, o desenvolvimento dessas atividades requer que os dados sejam atualizados com frequência, analisados e disponibilizados para tomada de decisão. Portanto, apenas a implementação de um sistema integrado de gestão permite um acompanhamento pronto e permanente do estado do empreendimento.

Para o desenvolvimento do SISB, a RHA Engenharia definiu tecnologias que são suficientemente adaptáveis às necessidades dos mais diversos empreendedores do Brasil. O Sistema Integrado de Segurança de Barragens foi desenvolvido com informações armazenadas em tecnologia *cloud*, permitindo acessos remotos, e desenvolvimento modular com React.JS, linguagem responsiva derivada do *Javascript*. A segurança do sistema, por tratar de informações sensíveis, foi realizada por meio de dados criptografados. Para permitir maior adaptação, o sistema pode ser hospedado em servidor próprio do empreendedor.

O desenvolvimento do sistema apresenta o conceito modular e permite que novos módulos sejam integrados na plataforma. A versão beta possui cinco módulos principais, além de configurações adicionais.

Os módulos disponíveis são: *Dashboard*, Inspeções Remotas, Sistema de Monitoramento, Maquete Digital 3D e Documentos.

O *Dashboard* - Módulo 1 compreende as principais informações do sistema e apresenta a situação atual da barragem com as últimas informações obtidas em campo, bem como um cronograma de atividades que indica ao gestor o planejamento das ações voltadas à segurança da estrutura. Além disso, o *Dashboard* apresenta o Plano de Ação de Emergência (PAE), permitindo acesso imediato ao documento na eventualidade de situação excepcional - as rotas de evacuação e o fluxograma de notificação também são dados disponíveis no *Dashboard*. Na Figura 1 é apresentada a sistematização de informações no *Dashboard*.

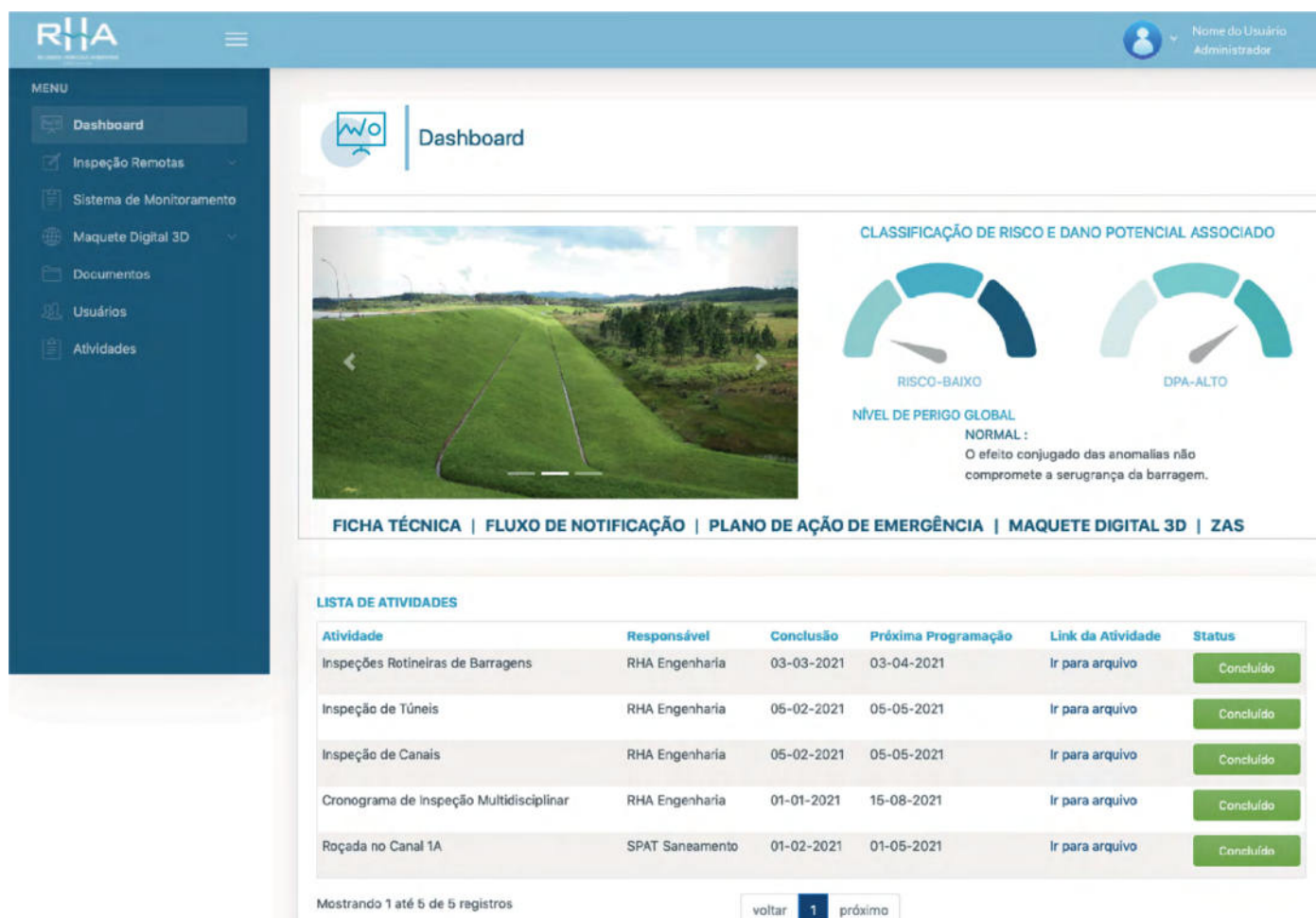


FIGURA 1 – Dashboard SISB-RHA

O item Inspeções Remotas - Módulo 2 é responsável pelas visualizações dos resultados obtidos com as inspeções de campo, permitindo à equipe técnica acesso às principais informações, como acompanhamento das anomalias relatadas anteriormente e pontos fixos de inspeção. Consta de planta de anomalias com registro continuado das alterações e correções realizadas, mapa de instrumentos com o posicionamento georreferenciado da instrumentação existente, mapa do registro fotográfico dos trabalhos de campo com divisão em layers segundo as datas de inspeções (My Maps), e figura de localização do sistema.

O módulo Sistema de Monitoramento - Módulo 3 permite o cadastro e registro das leituras dos equipamentos de segurança disponíveis na barragem, como piezômetros, medidores de nível, drenos, marcos superficiais de deslocamento, etc. A entrada de dados no sistema pode ocorrer de forma manual ou por transmissão remota; a organização desses dados e sua análise utilizam valores de referência. O sistema de monitoramento também possibilita visualização e análise de dados hidrometeorológicos coletados na barragem e na bacia de drenagem.

O módulo Maquete Digital 3D - Módulo 4 apresenta o As It do empreendimento a partir de modelo tridimensional, do barramento e das estruturas associadas, com precisão centimétrica, obtido através de sobrevoo de VANT com referenciamento por GPS GNSS RTK. A maquete digital renderizada, conforme apresentado na Figura 2, possibilita diversos usos, como a inserção de informações georreferenciadas da instrumentação e de anomalias, bem como a extração de dados reais da estrutura (inclinação dos taludes, distâncias etc).

O módulo Documentação- Módulo 5 organiza a documentação do empreendimento, permitindo ao usuário a livre definição das pastas. A função é a criação de um repositório com qualquer informação que possa ser útil eventualmente, como biblioteca de projetos, ficha técnica, classificação de risco, estudos diversos associados à barragem, relatórios de inspeção, dentre outros. A Figura 3 apresenta um exemplo de sistematização para o módulo de documentos e pode ser configurada conforme a necessidade do usuário.

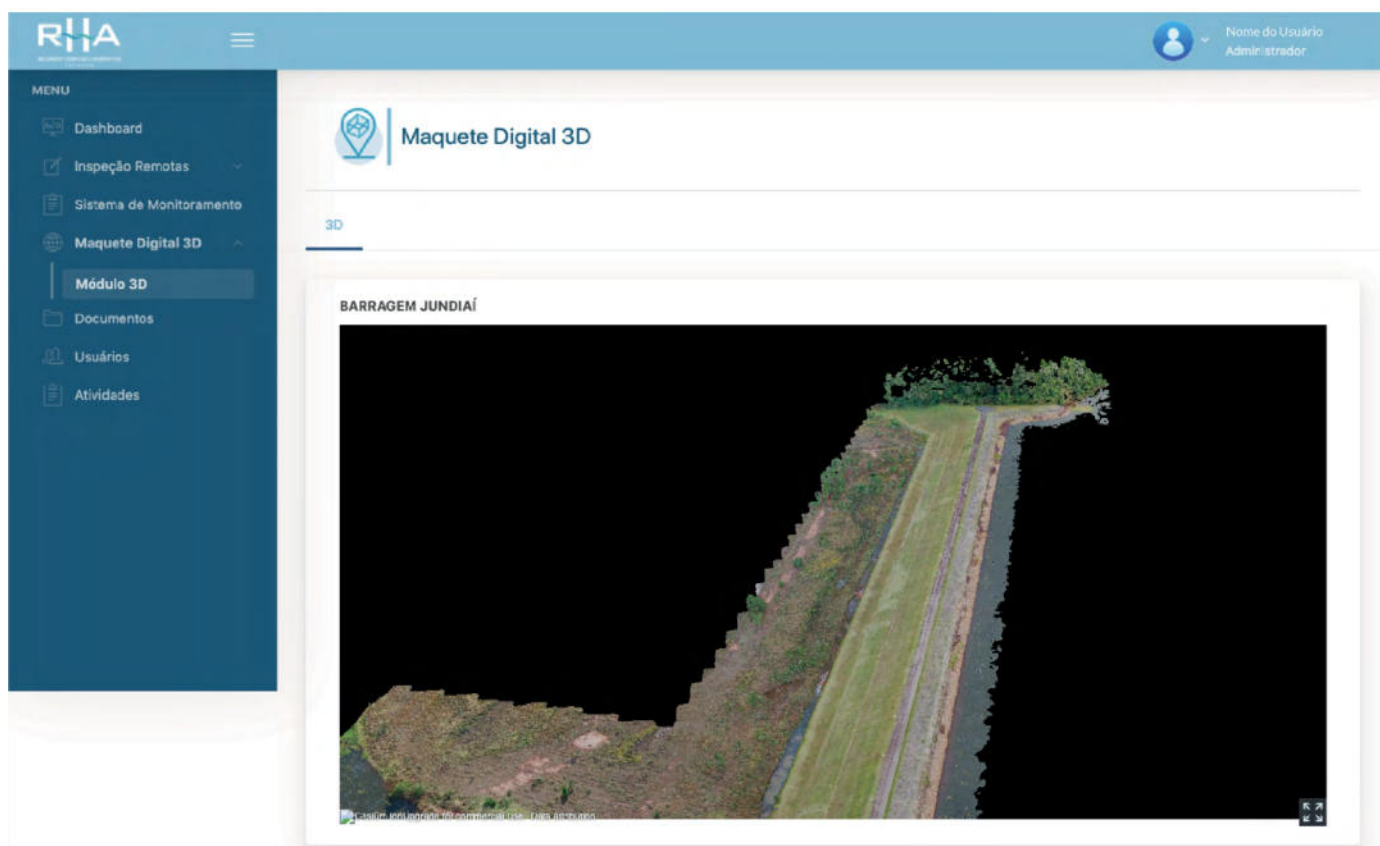


FIGURA 2 – Maquete digital desenvolvida para uma barragem de terra localizada na bacia do Rio Tietê

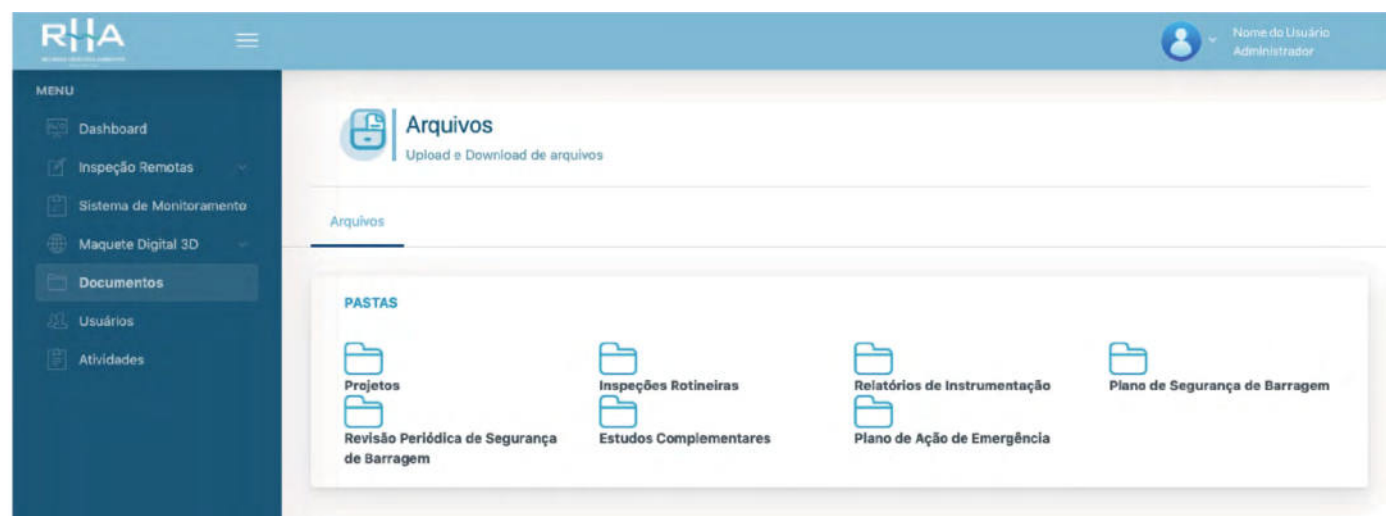


FIGURA 3 – Sistematização da documentação

Os módulos assim constituídos permitem ao empreendedor acesso rápido às principais informações da barragem para implementar/acompanhar uma gestão ativa da segurança. A sistematização de todas as informações facilita o atendimento das exigências dos órgãos fiscalizadores.

A apresentação visual traz dinamismo para as informações evitando que técnicos se percam em relatórios desatualizados. O SISB-RHA permite a criação e o controle de diferentes níveis de acessos para divulgação de informações aos órgãos fiscalizadores, defesa civil e comunidade potencialmente afetada, conforme definição prévia do empreendedor.

3. CONCLUSÃO

Em 2019, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico constatou que haviam 19.388 barragens no País, boa parte (41%) [2] sem informações mínimas sobre sua estrutura. O desconhecimento do estado de conservação dessas estruturas fomenta a criação de sistemas ágeis de suporte para decisões de empreendedores e órgãos fiscalizadores com o intuito de superar essa realidade.

Nesse contexto, o SISB-RHA contribui significativamente para a gestão de empreendimentos ao organizar toda a cadeia de informações, atividades e obrigações que permeiam a segurança de barragens.

O sistema desenvolvido pela RHA Engenharia contempla todas as etapas da Política Nacional de Segurança e Barragens, em atendimento a Lei nº 14.066/2020, sistematizando todas as informações do empreendimento em uma plataforma única com acesso remoto. O sistema também permite a troca de informações com os órgãos fiscalizadores e demais entidades envolvidas facilitando a implementação do Plano de Ação de Emergência nas zonas diretamente afetadas, com ferramentas georreferenciadas e interativas.

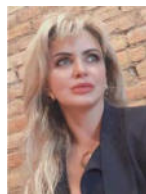
Dentre os avanços em curso do SISB-RHA estão:

- Desenvolvimento do módulo de Plano de Operação e Manutenção;
- Desenvolvimento do módulo de Implementação do PAE contendo Plano de Comunicação Social;
- Incrementos nos módulos existentes: consistência prévia de dados, níveis de alerta dos instrumentos, envio de mensagens para responsáveis pela gestão, locação da instrumentação existente na maquete digital 3D, integração da plataforma do SISB-RHA com sistemas hidrometeorológicos disponíveis de forma remota, geração de relatórios automáticos na padronização do cliente.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Institui a Política Nacional de Segurança de Barragem. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 189, 11 20 set. 2010.

[2] BRASIL, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Relatório de Segurança de Barragens. 1. ed. Brasília: ANA, 2020. 69 p.



Candice Schauffert GARCIA

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná (2001), com curso parcialmente realizado na Universidad de Cantábria (Espanha). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Professora universitária em Engenharia Civil para as disciplinas de Mecânica dos Fluidos, Hidráulica e Hidrologia (2007-2015). Engenheira da RHA Engenharia e Consultoria SS LTDA desde 2003 e Diretora-Executiva desde 2005, participando na coordenação e desenvolvimento de projetos nas áreas de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.



Laertes Munhoz da CUNHA

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (1975) e Mestre em Engenharia Civil/Recursos Hídricos pelo COPPE (1986). Atuou como Engenheiro da COPEL no Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza – CEHPAR (1976-1986). Foi Coordenador da área de Operação Hidráulica de Reservatórios na COPEL (1987- 1998), Professor da UFPR nas funções de Professor Assistente e Professor Adjunto (1980-2012). É sócio e consultor da RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda, participando do acompanhamento e execução de projetos pela RHA desde 2005.



Artur Cerveira BERTONE

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal do Paraná (2019), com curso parcialmente realizado na University College Dublin, em Dublin, Irlanda. Pós-graduando em Segurança de Barragens pelo Instituto IDD. É Engenheiro da área de Segurança de Barragem na RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda.

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos a serem apresentados ao Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão ser inéditos, não tendo sido antes publicados por quaisquer meios. Apenas profissionais qualificados deverão ser aceitos como autores. Profissionais recém-formados ou estagiários poderão ser aceitos, desde que participem como colaboradores.

2. EXTENSÃO DO TRABALHO

Os trabalhos, para serem aceitos para divulgação, deverão ter no máximo 10 (dez) páginas, incluindo as ilustrações, esquemas e o sumário em português e inglês. Os trabalhos que excederem este número de páginas serão devolvidos aos autores, para sua eventual redução.

3. TIPO DE ARQUIVO MAGNÉTICO

Os trabalhos a serem recebidos pelo Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão estar em formato WORD for Windows, 1997 ou superior. Não serão recebidos arquivos em separado, isto é, com o texto e as ilustrações em arquivos diferentes. As ilustrações deverão ser agrupadas no corpo dos trabalhos em formato JPEG.

4. NÚMERO DE AUTORES E CO-AUTORES

Os autores e co-autores estão limitados a um número máximo de quatro, ou seja, um autor e até três co-autores. Os trabalhos com mais de quatro participantes serão devolvidos aos autores para atendimento a esta diretriz. Caso haja mais colaboradores no trabalho, eles poderão ser citados em Agradecimentos (ver item 11).

5. CONFIGURAÇÃO DE PÁGINA

A Configuração de Página deve obedecer a formatação:

Margens:

- Superior: 2,5 cm;
- Inferior : 2,0 cm;
- Esquerda: 2,5 cm;
- Direita: 2,5 cm; - Medianiz: 0 cm.

A partir da margem: - Cabeçalho: 1,27 cm; - Rodapé: 1,27 cm.

Tamanho do Papel: - A4 (21 x 29,7 cm); - Largura: 21 cm; - Altura: 29,7 cm;

- Orientação: Retrato em todo o trabalho.

6. PADRÃO DE LETRAS E ESPAÇAMENTO

Os trabalhos deverão ser digitados em arquivo Word 97 ou superior, com as seguintes formatações de fonte: Fonte: - Arial;

- Tamanho 12 em todo o trabalho.

Parágrafo:

- Espaçamento entre linhas: simples;
- Alinhamento: justificado;
- Marcadores como o desta linha (traço), poderão ser utilizados sempre que necessário.

7. PÁGINA DE ROSTO

Apenas na primeira página deverá constar o cabeçalho (ver item 7.1). O título do trabalho (ver item 8.2) deverá ser escrito a 60 mm do topo (configurar apenas esta página com margem superior de 6 cm), em letra maiúscula, em negrito e centralizado na página. Na sequência deverão ser apresentados os nomes dos autores, com os respectivos títulos profissionais e instituição (ver item 7.3). Em seguida, o Resumo e o Abstract (ver item 7.4). A página de rosto deve ser limitada a uma única página, ou seja, todas as informações necessárias devem estar nela contidas (título, nome e cargo dos autores, resumo e abstract).

7.1 - Cabeçalho

O cabeçalho, a ser apresentado apenas na página de rosto, está indicado

no exemplo a seguir. A fonte é Arial 10, iniciais em maiúscula e caixa alta ou versalete (conforme a versão do Word).

Na primeira linha deve ser digitado: Comitê Brasileiro de Barragens.

Na segunda linha: Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB.

Na terceira linha: a data; exemplo: 11 de abril de 2013.

7.2 – Título do Trabalho

O título do trabalho deve ser digitado em letra maiúscula, negrito e alinhamento centralizado. Este é o único item do trabalho que recebe negrito.

7.3 – Autores e Co-autores

Os nomes dos autores deverão ser apresentados com apenas um dos sobrenomes todo em letras maiúscula. Abaixo do nome de cada um dos autores deverá ser indicado, com letras maiúsculas iniciais, o título profissional (Consultor, Título Universitário, Diretor Técnico, Coordenador Geral, etc) e ao lado, separado por um traço, a empresa ou instituição do autor (ver também item 4).

7.4 – Resumo / Abstract (Item sem numeração)

Cada trabalho deverá ser iniciado por um Resumo em Português, não excedendo 10 (dez) linhas, seguido de um sumário (também de no máximo 10 linhas) em Inglês (Abstract), para permitir seu cadastramento por organismos internacionais. Para auxiliar na versão dos resumos para o inglês, consultar os dicionários técnicos do CBDB/ICOLD disponíveis no site www.cbdb.org.br. Serão devolvidos os trabalhos que não apresentarem adequadamente o Resumo e o respectivo Abstract. Quando houver necessidade, o Resumo e o Abstract poderão ter mais que dez linhas, desde que caibam na página de rosto e não haja discordância com os demais itens desta Diretriz.

8. ITEMIZAÇÃO GERAL

Os itens principais do trabalho deverão ser numerados sequencialmente, com a Introdução recebendo o N° 1 e as Referências Bibliográficas recebendo o número final. Estes deverão ser digitados com letra maiúscula e centralizados na linha, com recuo esquerdo de 0,50 cm (Formatar Parágrafo).

Exemplo:

1. INTRODUÇÃO

Os itens secundários serão alinhados sempre à esquerda, com a designação sequencial, por exemplo: 2.1, 2.2, 2.3, etc., em minúsculo com apenas a primeira letra em maiúsculo, utilizando-se de formatação em “Caixa Alta” ou “Versalete”, conforme a versão do Word. Caso haja a necessidade de nova itemização, a mesma deverá ser por exemplo: 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, etc., em itálico, com as letras minúsculas e somente a primeira letra maiúscula.

Exemplo:

2.1 Item Secundário

2.1.1 Item Terciário

9. CONCLUSÕES

Neste item o(s) autor(es) deverá(ão) apresentar de forma bem sucinta as principais conclusões ou recomendações que resultaram de sua pesquisa, trabalho ou relato de um determinado evento técnico.

O primeiro parágrafo, após cada item ou subitem, deverá ser iniciado uma linha após o título do item (ou subitem), com alinhamento Justificado. A primeira palavra deverá começar junto à margem esquerda.

Entre um parágrafo e outro deverá sempre ser deixada uma linha de espaçamento, sendo que entre a última linha do último parágrafo e o item seguinte deverão ser deixadas duas linhas.

Trabalhos sem uma conclusão final serão devolvidos aos autores para as devidas complementações.

10. AGRADECIMENTOS (item opcional)

A critério do autor, poderão ser apresentados agradecimentos às empresas e/ou pessoas que contribuíram para elaboração do trabalho, sempre após o item Conclusões.

11. PALAVRAS-CHAVES

Após os Agradecimentos, deverá ser apresentada uma relação de no mínimo 3 e no máximo 5 palavras-chaves, para possibilitar a localização do trabalho em função das mesmas, na versão eletrônica dos anais (CD). Caso não haja Agradecimentos, o item Palavras-Chaves deverá ser apresentado após o item Conclusões.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O item Referências Bibliográficas é o último item, e, portanto, encerra o trabalho. Deverá estar posicionado após o item Palavras-Chaves. O padrão para a apresentação das referências bibliográficas é o mesmo da ICOLD – Comissão Internacional das Grandes Barragens, conforme diretrizes a seguir, com exemplo ilustrativo:

Todas as referências bibliográficas deverão ser indicadas no texto com a numeração respectiva;

Todas as referências apresentadas deverão ser numeradas sequencialmente (na ordem em que aparecem no texto) aparecendo o número em destaque e entre colchetes após a citação;

Na sequência, indicar o título do trabalho ou do livro consultado entre aspas, com apenas a primeira letra maiúscula, e com vírgula ao final;

Apresentar na sequência os anais em que o trabalho foi apresentado, seguido do tema, volume dos anais e país ou cidade em que o mesmo foi realizado.

O texto deverá estar com alinhamento justificado, e recuo especial com deslocamento de 1,00 cm (Formatar Parágrafo).

Exemplo:

[1] DUNNICLIFF, J. (1989) – “Geotechnical Instrumentation for Field Performance”, livro editado pela John Wiley & Sons, Inc., New York;

[2] HOWLEY, I., McGRATH, S. e STEAWRT, D. (2000) –

“A Business Risk Approach to Prioritizing Dam Safety Upgrading Decisions”, Anais Congresso Internacional ICOLD, Beijing, Q.76 – R.17;

[3] SILVEIRA, J.F.A. (2003) – “A Medição do Coeficiente de Poisson em uma de Nossas Barragens”, Anais XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens – CBDB, Salvador, BA.

13. ILUSTRAÇÕES

As eventuais ilustrações dos trabalhos técnicos, sejam elas figuras, gráficos, desenhos ou fotos, deverão estar sempre incorporadas ao texto, não devendo ser apresentadas em separado. Ao formatar a figura, o layout deve ter a disposição do texto alinhada e o texto deve estar com o alinhamento centralizado. Todas as referidas ilustrações deverão ser identificadas pela palavra “FIGURA” e numeradas sequencialmente. A palavra “FIGURA”, sua numeração e título deverão ser apresentados imediatamente abaixo das respectivas ilustrações também com o alinhamento centralizado. O título de cada figura deverá ser escrito com a primeira letra em maiúscula. A referência a elas no texto do trabalho deve ser em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

As fotos ou outras ilustrações quaisquer poderão ser apresentadas em cores, sempre que necessário. Caso sejam utilizadas cores para representar desenhos e figuras, deverá haver convenções de representação que permitam identificações independentes da cor.

As ilustrações poderão ser apresentadas com a orientação retrato ou paisagem, ou seja, poderão ser giradas na página de forma a mudar a sua orientação, mas apenas as ilustrações. A configuração da página deve permanecer sempre orientada como retrato, para garantir a posição do rodapé uniforme em todo o documento (ver item 5). Desta

forma, o título da ilustração também permanecerá com a orientação retrato. Não serão aceitos trabalhos com as ilustrações em separado ou em outro aplicativo que não seja o Word.

14. TABELAS

As tabelas deverão ser incorporadas ao texto, não devendo ser apresentadas em separado. A tabela deverá ter alinhamento centralizado. O tamanho da fonte pode ser inferior ao especificado para todo o trabalho (Arial 12), desde que o conteúdo permaneça legível e a fonte não seja inferior a Arial 7. Todas as referidas tabelas deverão ser identificadas pela palavra “TABELA” e numeradas sequencialmente. A palavra “TABELA”, sua numeração e título deverão ser apresentados abaixo da mesma e também centralizados. O título das tabelas deverá ser escrito com a primeira letra em maiúsculo. A referência a elas no texto do trabalho deve ser em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

As tabelas poderão ser apresentadas com a orientação retrato ou paisagem, ou seja, poderão ser giradas na página de forma a mudar a sua orientação, mas apenas as tabelas.

A configuração da página deve permanecer sempre orientada como retrato, para garantir a posição do rodapé uniforme em todo o documento (ver item 5). Desta forma, o título da tabela também permanecerá com a orientação retrato.

15. SIMBOLOGIA E FÓRMULAS

Todas as grandezas físicas deverão ser expressas em unidades do Sistema Métrico Internacional. As equações e fórmulas devem ser localizadas à esquerda e numeradas, entre parênteses, junto ao limite direito na mesma linha, deixando-se uma linha em branco entre as equações/fórmulas e o texto. Todos os parâmetros constantes nas equações e fórmulas deverão ser indicados com suas respectivas unidades. A referência a elas no texto do trabalho deve ser com a palavra “Equação” ou “Fórmula” e o respectivo número ao lado, ou seja, em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

16. TEMÁRIO / CONTRIBUIÇÕES

O tema deverá ser indicado pelo autor, quando do encaminhamento do trabalho ao Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB.

Caso o Conselho Editorial não concorde com o tema selecionado pelo autor, este poderá ser eventualmente deslocado para outro tema. Se o trabalho não se encaixar em nenhum dos temas selecionados para o evento e se tratar de trabalho de bom nível técnico, este poderá ser publicado como Contribuição Técnica.

17. IDIOMA

Todos os trabalhos a serem publicados na Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão ser elaborados em língua Portuguesa, assim como todas as ilustrações que o acompanham deverão conter legenda também em Português. Apenas os trabalhos citados como referências bibliográficas deverão estar na língua original, em que foram elaborados.

Os trabalhos eventualmente recebidos pelo Conselho Editorial em outro idioma, que não sejam os acima mencionados serão encaminhados de volta aos autores, para sua tradução para o português.

18. LICENÇA PARA PUBLICAÇÃO DOS TRABALHOS

Para que o trabalho seja aceito, é necessário que um dos autores envie autorização devidamente preenchida e assinada.

19. FOTO E CURRÍCULO DOS AUTORES

Deverão ser enviados, anexos aos artigos, uma foto 3x4 em alta resolução e um mini currículo, com até 400 caracteres, de cada um dos autores.

BARREIRAS-UX

Barreira dinâmica modelo UX para proteção contra fluxo de detritos. Utilizada também na mitigação de *dambreak*.

Máxima segurança em aço de alta resistência!

Para saber mais, visite o nosso site!

www.geobrugg.com



O Comitê Brasileiro de Barragens tem a honra de ser apoiado por sócios coletivos e mantenedores.

Venha engrandecer ainda mais este time. Associe-se através do e-mail cbdb@cbdb.org.br.

SÓCIOS MANTENEDORES



SÓCIOS COLETIVOS

