

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0728-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.287220911>

1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental: Recursos hídricos e tratamento de água 3” é constituído por cinco capítulos de livro que tratam da disponibilidade, qualidade e principais uso de recursos hídricos para fins potáveis ou não por todos os segmentos da sociedade.

O primeiro capítulo apresenta um estudo no qual se discute a importância do monitoramento constante em relação à segurança de barragens para armazenamento de rejeitos provenientes de atividades de mineração e/ou recursos hídricos, bem como a descrição de todas as legislações nacionais existentes e vigentes no território brasileiro. O capítulo 2 se propôs a apresentar um estudo de comparação de cálculos de vazões por meio do uso do Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) em modo estático e o método de máxima entropia M em rios brasileiros monitorados pela Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN presentes no estado da Bahia e Sergipe.

O terceiro capítulo avaliou a importância da captação de água de chuva, bem como a sua utilização para reduzir à necessidade básica de populações que não possuem acesso a água para fins potáveis ou não, bem como a redução de etapas de tratamento de água que geraria economia para a população beneficiada. O capítulo 4 analisou os diferentes impactos provenientes do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) em relação ao canal Acauã-Araçagi, bem como estimar as tarifas de água a ser cobrada pela população beneficiária deste adutor com vazão máxima de 10 m³/s e uma extensão de 112 km, utilizando-se testes simulatórios com o ModSIM P32.

Por fim, o quinto capítulo apresenta uma proposta de utilização da argila como adsorvente para a forma mais tóxica do arsênio presente em concentrações traços e/ou ultra-traços em diferentes compartimentos aquáticos a partir da aplicação de um dispositivo de extração miniaturizado em ponteira descartável.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
ÍNDICE SUSTENTÁVEL AMBIENTAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISASB	
Maria Bernardete Guimarães	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209111	
CAPÍTULO 2	13
PARÂMETRO M DE ENTROPIA PARA DISTRIBUIÇÕES DE VELOCIDADES EM RIOS DO NORDESTE BRASILEIRO	
George Rodrigues de Sousa Araújo	
André Luiz Andrade Simões	
Rodrigo de Melo Porto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209112	
CAPÍTULO 3	31
APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS METEÓRICAS COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E A RESILIÊNCIA AOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
Gabriela Cadete Souza	
Herlane Costa Calheiros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209113	
CAPÍTULO 4	38
GESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS PELO PROJETO SÃO FRANCISCO - PISF/ EIXO LESTE: IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVAS DAS TARIFAS DE ÁGUA PARA O CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, LOCALIZADO NO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA	
Cícero Aurélio Grangeiro Lima	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209114	
CAPÍTULO 5	51
USO DE UM DISPOSITIVO MINIATURIZADO PARA REMOÇÃO DE ARSÊNIO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO ARGILA EXPANDIDA COMO ADSORVENTE DE EXTRAÇÃO	
Luciano Alves da Silva	
Bruno Elias dos Santos Costa	
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua	
Nivia Maria Melo Coelho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209115	
SOBRE O ORGANIZADOR	65
ÍNDICE REMISSIVO	66

ÍNDICE SUSTENTÁVEL AMBIENTAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISASB

Data de aceite: 01/11/2022

Maria Bernardete Guimarães

Analista de Meio Ambiente e Recursos
hídricos do IEMA-ES-Brasil; Engenheira
Ambiental, M.Sc. Eng.^a Ambiental

PALAVRAS-CHAVE: Índice Segurança
Barragens; Acidentes com Barragens;
Índice Sustentável.

INTRODUÇÃO

A lei 12.334 de 2010 estabeleceu que a Política Nacional de Segurança de Barragens, alterada pela Lei nº 14.066 de 2020, aplica-se a barragens destinadas a: acumulação de água para quaisquer usos; à disposição temporária de rejeitos; à acumulação de resíduos industriais, que apresentem pelo menos uma das seguintes características: altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros (redação da lei 14.066 de 2020); capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000

metros cúbicos; reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis (ABNT NBR 10004 de 2004-Classificação de Resíduos Sólidos); categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei (redação dada pela Lei nº 14.066 de 2020); categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei (incluído na Lei 14.066 de 2020). NEVES (2018) mostra as legislações comentadas sobre Segurança de Barragens.

Barragem é qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso de água permanente ou temporário, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2020). São instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens-PNSB o sistema de classificação

de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado; o plano de segurança de barragens; o sistema nacional de informações sobre segurança de barragens- SNISB; o sistema nacional de informação sobre Meio Ambiente- SINIMA; o cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental; o cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais; o relatório de segurança de barragens (BRASIL, 2010). O dano potencial associado à barragem é o dano que pode ocorrer devido a rompimentos, vazamentos, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independente da sua probabilidade de ocorrência a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais (BRASIL, 2020). O Plano de Segurança de Barragens-PSB é um instrumento da PNSB- Política Nacional de Segurança de Barragens, cujo objetivo principal é auxiliar o empreendedor na garantia de padrões de segurança da Barragem reduzindo os riscos de acidentes e suas consequências, incluindo, quando aplicável, o Plano de Ação de Emergência-PAE.

O Plano também auxilia as entidades fiscalizadoras de segurança de barragem na verificação do cumprimento das normas concernentes ao tema. Deve conter dados técnicos da barragem, de construção, operação, manutenção e panorama do estado atual da segurança por meio das inspeções realizadas, devendo principalmente, servir como uma ferramenta de planejamento de gestão da segurança da Barragem.

A nova legislação, Lei nº 14.006 de 2020 traz como alterações à lei 12,334 de 2010 os seguintes itens: A PNSB deverá estabelecer programa de educação ambiental e de comunicação sobre segurança de barragem, com o objetivo de conscientizar a sociedade da importância da segurança de barragens e de desenvolver a cultura de prevenção a acidentes e desastres, que deverá contemplar as seguintes medidas: fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante (entende-se por alteamento a montante a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre seu próprio rejeito ou sedimento previamente lançado depositado; o empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alterada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do sistema nacional do meio ambiente (SISNAMA). O artigo 18 veta a implantação de barragem de mineração cujos estudos de cenários de ruptura identificaram a existência de comunidade na ZAS. Na figura 1 a Gestão de Riscos, de acordo com a ISO 31.000 (ABNT,2011).

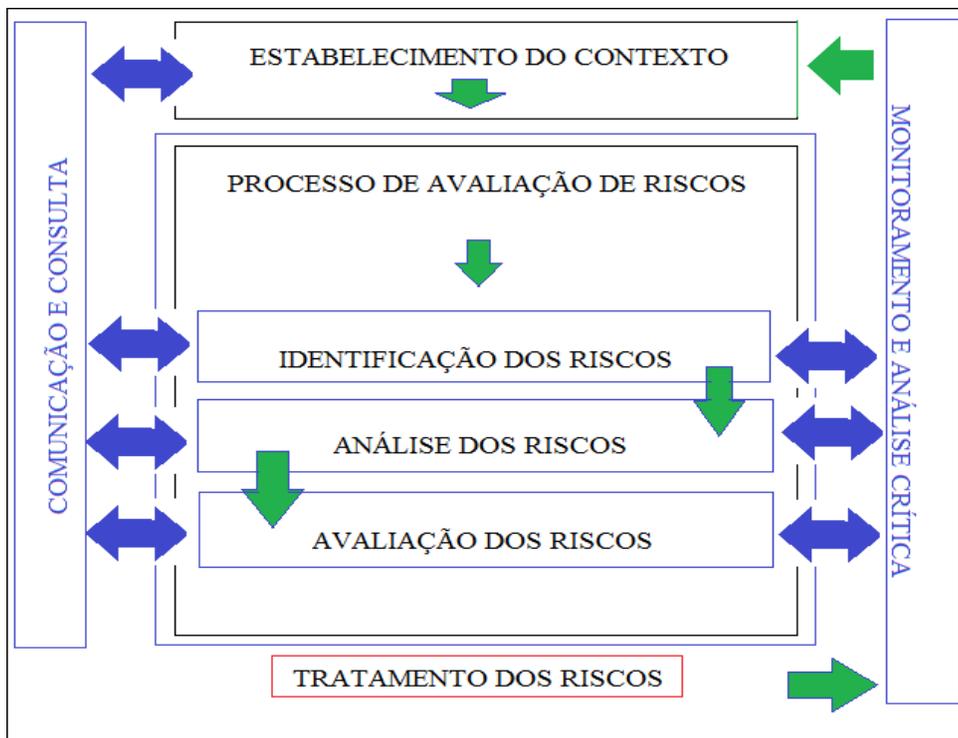


Figura 1- ABNT (2011)- ISO 31.000 Gestão de Riscos
 FONTE: ABNT (2011) EDITADO PELA AUTORA

Quanto à fiscalização a Lei 14.006 de 2020 diz que os órgãos fiscalizadores devem criar sistema de credenciamento de pessoas físicas e jurídicas habilitadas a atestar a segurança da barragem, incluída a certificação, na forma do regulamento. O laudo técnico referente às causas do rompimento de barragem deve ser elaborado por peritos independentes, às expensas do empreendedor, em coordenação do órgão fiscalizador. Também diz que o poder público municipal deve adotar as medidas necessárias para impedir o parcelamento, o uso e a ocupação do solo urbano na ZAS- Zona de Altosalvamento. No caso de barragem ou instalação em operação em que seja identificada comunidade na ZAS, deverá ser feita a descaracterização da estrutura, ou reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantam a estabilidade efetiva da estrutura, em decisão do poder público, ouvido o empreendedor e consideradas a anterioridade da barragem em relação à ocupação e a viabilidade técnico-financeira das alternativas.

Na análise da segurança de barragens deve-se considerar, em atendimento a resolução nº 143/2012 do CNRH- conselho nacional de recursos hídricos: existência de documentação de projeto, incluindo o projeto “*as-built*”; estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; existência de planos de ações de emergência; procedimentos de inspeções de segurança e

monitoramento; relatórios de inspeção de segurança com análises e interpretação e regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; existência de população à jusante e potencial de perda de vidas humanas; existência de instalações de infraestrutura ou serviços e de equipamentos de serviços públicos essenciais. O tipo de barramento também é considerado importante, pois cada tipo de barragem possui sua susceptibilidade particular a determinadas falhas; em barragens de terra o maior problema concentra-se na possibilidade de ocorrência de erosão interna por *piping*, descrito por Ladeira (2007) como uma erosão interna regressiva (de jusante para montante). Nas barragens de concreto o mecanismo de falha pode se dar por meio de fissuras no concreto, na grande maioria das vezes resultado da má cura do concreto. Em obras que utilizam grandes volumes de concreto podem ocorrer fissurações ou trincas na estrutura devido a tensões no concreto geradas pelo gradiente de temperatura durante o processo de cura.

O ISB- Índice de Segurança de Barragens considera 29 critérios para seu cálculo, segundo Zuffo (2005) os parâmetros considerados no seu cálculo são: altura da barragem, comprimento, tipo de barragem (material), tipo de vertedor, período de retorno da vazão de projeto dos vertedores, idade da barragem, presença de percolação/vazamento, presença de deformações e recalques, deterioração dos taludes, conservação das estruturas vertedoras, evidências de erosão a jusante.

A proposta desse trabalho é propor o ISASB, Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragens, um índice que seja analisado ao lado do ISB. E com a análise do ISB e do ISASB tem-se um critério para analisar a estabilidade do barramento, considerando também a questão ambiental e a bacia onde o barramento está incluído. Considerando os desastres ocorridos no Brasil e no mundo vários episódios e problemas são devidos a aspectos ambientais, como fortes chuvas, chuvas longas à montante do barramento. Assim um índice que considere tais parâmetros é importante.

METODOLOGIA

O ISB- Índice de Segurança de Barragens é dado pela fórmula dada na equação 1:

$$ISB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde: q_i : nota do i -ésimo critério, um número entre 1 e 100, obtido na respectiva curva da função de valor, em função do conceito obtido no critério; w_i : peso correspondente ao i -ésimo critério, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de segurança. Os pesos (w_i) padronizados foram estabelecidos a partir de opiniões técnicas de diversos profissionais da área, obtidas a partir da resposta do questionário Aguiar et al. (2015),

O índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragem- ISASB, proposto neste trabalho, considera critérios ambientais para seu cálculo e a utilização deste

índice leva em consideração fatores ambientais da bacia onde a barragem está incluída.

A segurança de barragens é importante considerando os imensos desastres que já ocorreram no mundo e no Brasil. Entre estes desastres temos os abaixo relacionados, a maioria dos pesquisados com perdas materiais e humanas, tabela 1 e figura 2:

ANO	LOCAL	NOME	MORTOS/DESABRIGADOS/ CONSEQUÊNCIAS	CAUSA
1864	Inglaterra	Barragem DaleDyke	250 mortos	Fissura-percolação
1889	USA- Pensilvânia- Johnstown	Barragem SouthFork Rio Little Conemaugh	2.209 mortos. ondas de 12 metros chegaram aJohnstown, situada a 50 km da barragem, em 10minutos.	Após chuvas intensasFoi o maior desastre da história. 20 milhões toneladas de água atingiram a cidade. (= toda a água do rio mississippi)
1923	Itália- Bérgamo	Barragem de Gleno	4,5 milhões de lama atingiram as cidades	Físicas-Pressão Alterações feitas na Barragem
1928	USA- Califónia	Barragem SaintFrancis	450 mortos 47 milhões litros de água inundouo Vale de Santa Clarita	Instabilidade Geológica do Cânion. Estrutura “gravidade arqueada”. Modificou-se a altura (mais 3 metros) para aumentar a capacidade., sem compensação na largura.
1959	França- Frejus	Barragem Malpasset	423 mortos 50 milhões de metros cúbicos de água a70 km/ hora.	Separação da rocha da sua fundação, pela elevação da água na rocha de fundação.
1960	BRASIL- Ceará	Barragem de Orós	1.000 mortos.	Durante a construção. 620 de comprimento e 54metros de altura. Fortes chuvas causaram o rompimento antes da conclusão.
1975	China	Bangiro e Shimantan	26 mil mortos 6 milhões casas destruídas 145 mortos fome e epidemias 1,7 bilhões de metros cúbicos de água perdidos.	Período chuvoso de 24 hs e máconstrução
1976	USA-Idah- Teton	Barragem de Teton	Barragem de Terra, com 123 m e 356km ³ , gerou onda com 66.000 m ³ /s. 11 vítimas e várias cidades.	Ruptura por erosão laminar regressiva (piping).
1979	Índia-Morbi	Machchu-2	25 mil mortos atingiu a cidade de Morbi, a 5 km darepresa.	Desmanchou-se após tempestade de 20 min com 9 metros de altura

1980	Espanha-Andaluzia	Aznalcollar	Avalanche de zinco, cobre, cádmio, sulfetos chegou aos rios Agro e Guadiamar. 40 km de material tóxico atingiu o Parque Nacional de Doñana, Patrimônio da humanidade da UNESCO. Contaminação do ambiente.	-
1985	Itália-Stava	Barragem Rio Stava	268 mortos 180 mil metros cúbicos de areia, água e lama varreram a cidade de Stava.	Entupimento dos dutos de drenagem, com sedimentos, a água infiltrou-se no solo da represa.
1992	Srilanka	Barragem de Kantale	180 mortos 8 mil afetados	Ruptura da parede de contenção pelo excesso de tráfego pesado.
2000	USA	Martin County Barragem da Mineradora de Carvão Vegetal do sul dos USA	2 bilhões de lama de arsênico e mercúrio atingem os rios Tug Fork, Big Sandy e Ohio. Dissimou toda a vida aquática em poucos minutos.	.
2008	Índia-Nepal-fronteira	Barragem Koshi-Nepal	3 milhões desabrigados Centenas de mortos nos dois países. Áreas de agricultura soterradas	Falta manutenção
2010	Hungria-Kolontar	Barragem de Resíduos da Bauxita-Mineradora Mal, lama vermelha.	1 milhão de metros cúbicos atingem as cidades de Kolontar e Devecser. 4 mortos. Vários danos ambientais. Ondas de 3,5 metros, barragem de 300 metros de altura.	-
2015	BRASIL-MG-Mariana	Barragem de Fundão-Mineradora Samarco, Vale e BHP Biliton	62 milhões metros cúbicos de lama tóxica, atingem Bento Rodrigues em Minas Gerais. 19 mortes. Várias perdas materiais. Perdas com Economia.	Processo Construtivo da Barragem.
2019	BRASIL-MG-Brumadinho	Barragem de rejeitos de mineração da Vale. Barragem B1- córrego do feijão.	12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério. 270 mortos e 11 desaparecidos após 1 ano do desastre.	A Barragem rompeu.

Tabela 1- Desastres com Barragens

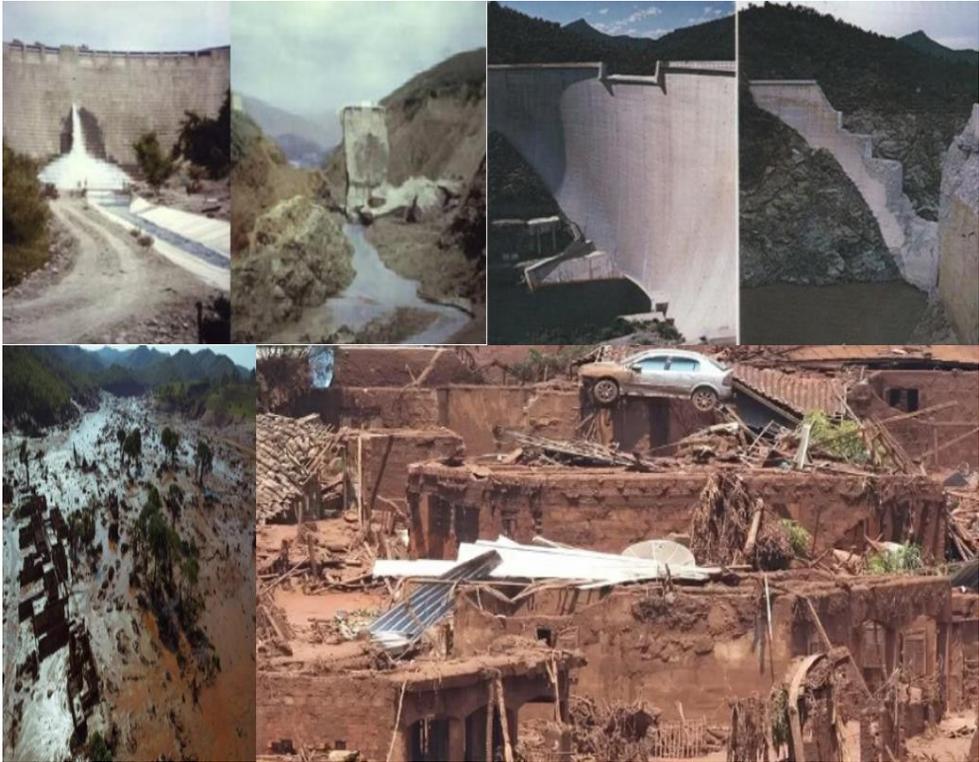


Figura 2-Barragem de Saint Francis-USA. Antes e após a ruptura, em 1928; Barragem de Malpasset-França, antes e após a ruptura, 1959; e Distrito de Bento Rodrigues- Mariana, em Minas Gerais- Rompimento da Barragem de Fundão, em 2015. Fotos: Google(2021).

As barragens são classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (BRASIL, 2020).

A classificação por categoria de risco em alto risco, médio e baixo risco será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao plano de segurança de barragens, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador (BRASIL, 2020).

A classificação por dano potencial associado à barragem em alto, médio e baixo risco será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem. O órgão fiscalizador deverá exigir do empreendedor a adoção de medidas que levem à redução da categoria de risco do barramento.

São instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010): O sistema de Classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado; O Plano de Segurança de Barragem, incluindo o PAE; o Sistema nacional de Informações sobre segurança de barragens (SNISB); o sistema nacional de informações

em meio ambiente (SINIMA); o cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental; o cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais; o relatório de segurança de barragens; o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos (SNIRH); o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência e os guias de boas práticas em segurança de barragens, estes três últimos foram acrescentados pela Lei 14.006 de 2020 (BRASIL, 2020).

A elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens classificadas como médio e alto dano potencial associado alto risco, a critério do órgão fiscalizador (BRASIL,2020). Mas independentemente da classificação quanto ao dano potencial ou ao risco, a elaboração do PAE é obrigatório para todas as barragens destinadas à acumulação ou a disposição de rejeitos de mineração (incluído na Lei 14.006 de 2020) BRASIL (2020).

RESULTADOS

A Matriz de categoria de risco e dano potencial associado para barragens, está na tabela 2:

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	C	E

Tabela 2- Matriz risco e dano potencial associado (ANA, 2012)

O relatório de segurança de barragens da ANA (2017) mostra que são mais de 7 acidentes com barragens por ano no Brasil. Em 7 anos foram 52 acidentes registrados pela ANA- Agência Nacional de Águas. A tabela 3 mostra o registro anual desde 2011:

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ACIDENTE	4	1	-	5	4	6	4
INCIDENTE	4	6	4	6	5	17	10

Tabela 3- Acidentes e Incidentes com Barragens de 2011 a 2017 (ANA,2017)

Brunner (2014) apresenta uma lista de eventos ligados diretamente ao rompimento de Barragens: cheias, falhas de fundação, *piping*, falha na operação das comportas, problemas estruturais, escorregamento, abalos sísmicos, ruptura de uma barragem a montante, esvaziamento rápido do reservatório, sabotagem e remoção planejada do barramento.

Para evitar que eventos como estes ocorram o PAE- Plano de Ação de Emergência estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso

de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência.

Aguiar et al.(2015) adicionou os seguintes parâmetros ao cálculo do ISB: o volume do reservatório, a vazão de projetos dos vertedores; a conservação das estruturas de captação, a instrumentação e monitoramento dos registros; a existência de barragens em série no mesmo curso, de água (efeito cascata), tipo de turbina hidráulica, tipo de comporta do vertedor, maquinário de, operação das comportas, nível de automação e capacidade instalada ou em operação.

Aguiar et al. (2015) sugeriu a inclusão de outros parâmetros ao ISB : tipo de fundação, tipo de uso do barramento, alterações na bacia hidrográfica à frente às ações antrópicas, taxa de assoreamento do lago, existência de eclusas e onda de cheia a jusante. Todos estes não consideram a variável ambiental, que influencia muito a segurança das barragens, como parâmetros que consideram as áreas verdes ao redor dos reservatórios e a intensidade das chuvas à montante do barramento, que causam alterações na vazão do rio e carreamento de sedimentos que influenciam a qualidade das águas que chegam aos reservatórios, assim como o assoreamento existente no reservatório e que diminui a área útil deste.

Assim este trabalho propõe a consideração dos seguintes parâmetros no cálculo deste novo índice, Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança da Barragem- ISASB:

Kas=O assoreamento existente na área do barramento: volume assoreado/volume morto da barragem, km^3/km^3 ;

Kav=A quantidade de área verde ao redor do barramento: km/km^2 ;

Kum=O uso múltiplo da barragem: quantidade de usuários/ km^2 ;

Kabd=Área degradada da Bacia de Drenagem: km^2/km^2 ;

Kacvb= área de cobertura vegetal na bacia de drenagem: km^2/km^2 ;

Kic= intensidade das chuvas na área da bacia, à montante da barragem: mm/hora .

$$\mathbf{ISASB} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

Onde: q_i : nota do i -ésimo critério, um número entre 1 e 100, obtido na respectiva curva da função de valor, em função do conceito obtido no critério; w_i : peso correspondente ao i -ésimo critério, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de segurança. Os pesos (w_i) padronizados serão estabelecidos a partir de opiniões técnicas de diversos profissionais da área. Os q_i são critérios de 1 a 100, relacionados aos parâmetros: Kas, Kav, Kum, Kabd, Kacvb e Kic. w_i são os pesos atribuídos a estes critérios.

O Kas=O assoreamento existente na área do barramento: volume assoreado/volume morto da barragem, km^3/km^3 é um parâmetro que permitirá avaliar a situação da barragem quanto ao assoreamento existente e como compromete a estrutura física da barragem; o

parâmetro K_{av} =a quantidade de área verde ao redor do barramento: km^2/km^2 permiti avaliar como a barragem está sujeita a desmoronamentos de áreas próximas a ela, sendo que as áreas verdes permitem proteção do solo da área do entorno e evitam assoreamento do reservatório; o K_{um} =O uso múltiplo da barragem: quantidade de usuários/ km^2 permite que seja analisada como é o aproveitamento e quantos dependem da barragem e contribuem para diminuir o seu nível, diminuindo os riscos de inundações; o K_{abd} =Área degradada da Bacia de Drenagem: km^2/km^2 permite avaliar como está a área da bacia de drenagem e a situação de erosão e transporte para o reservatório provocando assoreamento; o parâmetro K_{acvb} = área de cobertura vegetal na bacia de drenagem: km^2/km^2 permite avaliar como está a proteção de toda a bacia, onde a barragem está incluída e não apenas ao redor desta, como prevê a legislação; o K_{ic} = intensidade das chuvas em 24 horas, na área da bacia, à montante da barragem: $mm/hora$, permite avaliar se a quantidade de água provoca inundações no reservatório, devido às variações do El Niño e da La Niña e outros fenômenos climáticos.

Assim a proposta é que o Índice de Segurança de Barragens Global seja a soma: ISB + ISASB. Considerando tanto os parâmetros físicos, estruturais da barragem (ISB) quanto os ambientais da bacia (ISASB), onde o barramento está inserido. Na figura 3 tem-se um exemplo de Barragem de abastecimento de água com cobertura vegetal protegida e com margens preservadas. A Água infiltra no solo devido a preservação da cobertura vegetal e florestal na Bacia e não provoca erosão e carregamento de partículas para a barragem, também tem-se a preservação da mata ciliar ao longo do rio e da barragem, ambos evitam o assoreamento desta. Existe um controle do uso e ocupação do solo próximo ao barramento o que reduz a interferência antrópica. A primeira barragem teve início em 1894, e foi concluída em 1918. Entre 1945 e 1950 outra barragem foi construída, com 30 a 50 metros de profundidade e fornece 20 milhões litros de água, sendo administrada pela CESAN, considerada em situação de estabilidade pela AGERH, Agência de Águas do ES (FRANÇA e COSTALONGA, 2013). Em 1965 virou reserva florestal e em 1991 Reserva Biológica, sendo as áreas ao redor desapropriadas em 1912, para a preservação da floresta. Assim o ISASB resulta em um bom índice.



Figura 3- Barragem Duas Bocas em Cariacica- Reserva Biológica Duas Bocas. (IEMA, 2021)

CONCLUSÕES

O Índice de Sustentabilidade Ambiental permite que os parâmetros ambientais sejam levados em consideração quando da análise dos riscos a desastres com barramentos, principalmente com núcleos urbanos situados à jusante destes.

Ações de reflorestamento e recuperação da cobertura vegetal ao redor destes barramentos possibilita ampliar a capacidade de armazenamento e resulta em índices de segurança melhores, pois contribuem para a infiltração de água no solo, a proteção do solo contra a erosão e o assoreamento do barramento.

Um desafio é criar critérios que considerem estes parâmetros no cálculo do ISASB (q_i e w_i), o que necessita da experiência dos especialistas da área e de pesquisas. Outro grande desafio é a Educação Ambiental das comunidades ao redor do Barramento e a Gestão Ambiental da bacia Hidrográfica onde ele está inserido. Uma sugestão é o trabalho com os Comitês de Bacia Hidrográfica e a ampliação da participação de usuários, poder público e sociedade civil. Outra sugestão é investir num moderno Sistema de Informações Georreferenciadas e disponíveis e numa rede de monitoramento eficiente.

REFERÊNCIAS

- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011) ISO 31.000-*gestão de riscos*. Disponível:<<https://gestravp.files.wordpress.com/2013/06/iso31000-gestc3a3o-de-riscos.pdf>>. Acesso: janeiro de 2021.
- AGUIAR, D.P. de O.; FERREIRA, L.M. do C. F. Fais; GENOVEZ, A.I. B.; DALFRÉ, J. G. F. (2015) *Contribuição ao estudo do Índice de Segurança de Barragens- ISB* Revista Brasileira de Recursos Hídricos online ISSN 2318-0331, vol 20, nº 2, P. Alegre, abr./jun p.300-368. Disp.:<<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=157&SUMARIO=5061>> Acesso: janeiro de 2021.
- ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2011) *Resolução nº 742. Inspeções Regulares em Barragens*. Disp. em :<www.ana.gov.br>. Acesso: janeiro de 2021.
- ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2012) *Resolução nº 091. Plano de Segurança de Barragens. PAFSB-Planos anuais de fiscalização segurança de barragens*. D.< www.ana.gov.br>. Acesso: janeiro de 2021.
- ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2017) *Relatório de Segurança de Barragens*. Disp.: < www.ana.gov.br> Acesso: janeiro de 2021.
- BRASIL(2010) Lei Federal nº 12.334 *Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei n o 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4 o da Lei n o 9.984, de 17 de julho de 2000*. Disp. :<<https://www.ceivap.org.br/barragem/lei-12334-2010.pdf>> Acesso: janeiro de 2021.

BRASIL (2020) Lei Federal 14.066. *Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (código. mineração).*Disp.:<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=402126>> Acesso: janeiro de 2021.

BRUNNER, G. (2014) *Using HEC-RAS for Dam Break Studies*, TD-39-U.S. Army Corps of Engineers. Davis, CA. Disponível: <<https://pdf4pro.com/view/using-hec-ras-for-dam-break-studies-5bb280.html>> Acesso: janeiro de 2021.

IEMA – INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (2021) *Reserva Biológica de Duas Bocas e Reservatório de Água para Abastecimento Público da CESAN- Cariacica*. Disp.:www.meioambiente.es.gov.br. Acesso: janeiro de 2021.

FRANÇA, B.; COSTALONGA, E. (2013) *Reserva Biológica de Duas Bocas preserva ecossistema de Mata Atlântica*. Disponível em: <https://www.cariacica.es.gov.br/noticias/13882/reserva-biologica-duas-bocas-preserva-ecossistema-de-mata-atlantica>. Acesso: janeiro de 2021.

NEVES, LUIZ P. (2018) *Segurança de Barragens. Legislação Fed. Brasileira em Segurança de Barragens*. Disp.: < <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves>> Acesso: janeiro de 2021.

A

- Absorbância 56, 57, 61
Adsorção 53, 54, 57, 58, 62, 63
Adsorvente 2, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 59
Afluência hídrica 39
Água potável 31, 32, 33, 35, 36, 37
Águas atmosféricas 32
Águas meteóricas 31, 32, 34, 36
Águas pluviais 31, 34, 36
Água tratada 31, 32, 33, 34, 36
Analito 54
Argila 2, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62
Arsênio 2, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63

B

- Bacia do Rio Paraíba 41
Barragens 2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 40

C

- Cloração 35
Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) 3, 7

D

- Desinfecção 34, 35
Dessorção 51, 57, 58, 59

E

- Ecosistema aquático 51
Entropia M 2, 13
Escassez hídrica 39
Espectrometria de Absorção Atômica por Chama com Geração de Hidretos (HG-AAS) 55
Estações fluviométricas 14, 15, 16, 17

F

- Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) 33

I

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) 33

Índice de Segurança de Barragens (ISB) 4, 10, 11

Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragens (ISASB) 4

J

Jusante 1, 4, 9, 11, 24, 41, 44

L

Lâmpada de catodo oco 55

M

Mananciais 32

Medição de vazão 13, 15, 16, 17, 28, 30

Micro-organismos 35

Montante 2, 4, 8, 9, 10, 24

O

Organização das Nações Unidas (ONU) 33

Organização Mundial da Saúde (OMS) 32, 33, 53

P

Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) 2

Plano de Ação de Emergência 2, 8

Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) 1, 2, 7, 11

Projeto de Integração do rio São Francisco 2, 38

R

Recursos hídricos 1, 2, 1, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 29, 30, 42, 52, 62

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) 2, 13, 14

Remediação 51, 53, 65

S

Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) 2

Sistema público de abastecimento de água 35

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br