

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 5

AMIGO DO MEIO AMBIENTE



PENSE VERDE

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 5

AMIGO DO MEIO AMBIENTE



PENSE VERDE

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Lorena Prestes

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 5 / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-157-2 DOI 10.22533/at.ed.572200107</p> <p>1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. 3. Sustentabilidade. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 628</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra *“Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 5”* aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora e apresenta, em seus 25 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da sustentabilidade aplicada às novas tecnologias na engenharia sanitária e ambiental.

No campo do saneamento básico pouco esforço tem sido feito para refletir sobre a produção do conhecimento e os paradigmas tecnológicos vigentes, embora a realidade tenha, por si, só exigido inflexões urgentes, principalmente, no que diz respeito ao uso intensivo de matéria e energia e ao caráter social de suas ações.

Um dos grandes problemas da atualidade refere-se à quantidade de resíduos sólidos descartado de forma inadequada no meio ambiente. E com o objetivo de promover a gestão dos resíduos sólidos foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal 12.305/2010, considerada um marco regulatório, que permite o avanço no enfrentamento dos problemas relacionados ao manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Desta forma a conservação da vida na Terra depende intimamente da relação do homem com o meio ambiente, especialmente, quanto à preservação dos recursos hídricos. A água, dentre seus usos múltiplos, serve ao homem como fonte energética. Atualmente, em um contexto de conscientização ambiental, a opção por essa matriz de energia vem se destacando tanto no Brasil como no mundo.

O uso desordenado dos recursos hídricos pela população vem afetando na disponibilidade da água, a qual é indispensável para a manutenção da vida. Diante disso, buscam-se alternativas de abastecimento visando à preservação da mesma.

A utilização de recursos hídricos representa um desafio para a sociedade mundial e as águas residuárias de origem doméstica ou com características similares, podem ser reutilizadas para fins que exigem qualidade de água não potável.

Com o aumento da população e avanços científicos e tecnológicos, a cada dia a produção de resíduos cresce mais e os impactos ao meio ambiente, na mesma proporção. Com isso, os problemas relacionados à gestão destes resíduos necessitam da adoção de técnicas e tecnologias desde sua segregação à disposição final, visando à destinação adequada e a implantação de programas voltados tanto para uma redução na produção de resíduos, como também na disposição final destes.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos à sustentabilidade e suas tecnologias que contribuem ao desenvolvimento da Engenharia Sanitária e Ambiental. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista a preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A CONSOLIDAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTAIS COMO UMA FERRAMENTA DE CONTROLE E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO BRASIL E NO MUNDO	
Jordana dos Anjos Xavier Valter Antonio Becegato Daniely Neckel Rosini Flávio José Simioni	
DOI 10.22533/at.ed.5722001071	
CAPÍTULO 2	15
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO NO RS	
Vitória de Lima Brombilla Bruno Segalla Pizzolatti Siara Silvestri Julia Cristina Diel Willian Fernando de Borba	
DOI 10.22533/at.ed.5722001072	
CAPÍTULO 3	24
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE AGENTES QUÍMICOS OU DANOS AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS A <i>LEPTODACTYLUS LATRANS</i> (LINNAEUS, 1758)	
Raquel Aparecida Mendes Lima Adriana Malvasio Melissa Barbosa Fonseca Moraes	
DOI 10.22533/at.ed.5722001073	
CAPÍTULO 4	37
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE VIABILIDADE AGRONÔMICA E IMPACTOS AMBIENTAIS EM UM SISTEMA DE AQUAPONIA NA FAZENDA SÃO JOÃO - SÃO CARLOS - SP	
Gustavo Ribeiro Artur Almeida Malheiros Maria Olímpia de Oliveira Rezende Luiz Antonio Daniel Tadeu Fabrício Malheiros Jose F. Alfaro Maria Diva Landgraf	
DOI 10.22533/at.ed.5722001074	
CAPÍTULO 5	53
CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE NO MUNICÍPIO DE LAGES/SC	
Lais Lavnitck Valter Antonio Becegato Pamela Bicalli Vilela Camila Angélica Baum Eduardo Costa Duminelli Fabiane Toniazco Alexandre Tadeu Paulino	
DOI 10.22533/at.ed.5722001075	

CAPÍTULO 6	71
CONFLITOS AMBIENTAIS E O TERMO DE AJUSTAMENTO DE CONDUTA	
Laura Maria Bertoti Valter Antonio Becegato Vitor Rodolfo Becegato Alexandre Tadeu Paulino	
DOI 10.22533/at.ed.5722001076	
CAPÍTULO 7	81
ESTUDO OBSERVACIONAL DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DA FAMÍLIA DE FEIRA DE SANTANA, BA	
Isabela Machado Sampaio Costa Soares	
DOI 10.22533/at.ed.5722001077	
CAPÍTULO 8	90
GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: CONCEITOS E PERSPECTIVAS NA LITERATURA CIENTÍFICA	
Cristina Maria Dacach Fernandez Marchi	
DOI 10.22533/at.ed.5722001078	
CAPÍTULO 9	103
GESTÃO INTEGRADA E SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SUA IMPORTÂNCIA NO CONTROLE DO <i>Aedes Aegypti</i> E DE ARBOVIROSES NO BRASIL	
Luiz Roberto Santos Moraes	
DOI 10.22533/at.ed.5722001079	
CAPÍTULO 10	112
IMPACTO EM RUPTURA DE BARRAGENS DECORRENTES DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM HEDBERG	
Paola Bernardelli de Gaspar José Rodolfo Scarati Martins	
DOI 10.22533/at.ed.57220010710	
CAPÍTULO 11	132
INOVAÇÃO EM BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS SYSTEM - BIPV: ESTUDO DE CASO DA PATENTE DA TESLA PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS AO TELHADO	
Affonso Celso Caiazzo da Silva Maria Beatriz da Costa Mattos Maria Clarisse Perisse Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.57220010711	
CAPÍTULO 12	143
MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO LAGE, CARATINGA – MG	
José Geraldo da Silva Aline Gomes Ferreira Kleber Ramon Rodrigues Erick Wendelly Fialho Cordeiro	
DOI 10.22533/at.ed.57220010712	

CAPÍTULO 13 154

O DESAFIO DA COMUNIDADE RURAL DO MUNICÍPIO DE BOM RETIRO-SC SOBRE O USO DOS AGROTÓXICOS

Daniely Neckel Rosini
Valter Antonio Becegato
Alexandre Tadeu Paulino
Débora Cristina Correia Cardoso
Jordana dos Anjos Xavier

DOI 10.22533/at.ed.57220010713

CAPÍTULO 14 172

PANORAMA HIDROELÉTRICO E O LICENCIAMENTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO DE CONTROLE AMBIENTAL

Laura Maria Bertoti
Valter Antonio Becegato
Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino

DOI 10.22533/at.ed.57220010714

CAPÍTULO 15 188

PARADIGMAS TECNOLÓGICOS DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Patrícia Campos Borja
Luiz Roberto Santos Moraes

DOI 10.22533/at.ed.57220010715

CAPÍTULO 16 201

POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR NO RIO GRANDE DO NORTE

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento
Lucymara Domingos Alves da Silva

DOI 10.22533/at.ed.57220010716

CAPÍTULO 17 211

ELECTROCOAGULATION PROCESS TO THE INDUSTRIAL EFFLUENT TREATMENT

Evellin Balbinot-Alfaro
Alexandre da Trindade Alfaro
Isabela Silveira
Débora Craveiros Vieira

DOI 10.22533/at.ed.57220010717

CAPÍTULO 18 224

PROPOSTA DE AÇÕES PARA A GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO DO PASSÉ – BAHIA

João dos Santos Santana Júnior
Lorena Gomes dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.57220010718

CAPÍTULO 19 233

QUALIDADE AMBIENTAL DOS SOLOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS DO MUNICÍPIO DE BOM RETIRO-SC

Daniely Neckel Rosini
Valter Antonio Becegato
Alexandre Tadeu Paulino
Vitor Rodolfo Becegato
Jordana dos Anjos Xavier
Débora Cristina Correia Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.57220010719

CAPÍTULO 20 252

QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO DURANTE SECA PROLONGADA: UMA DISCUSSÃO PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Daniele Jovem da Silva Azevêdo
José Fernandes Bezerra Neto
Magnólia de Araújo Campos Pfenning
Evaldo de Lira Azevêdo
Wilma Izabelly Ananias Gomes
Joseline Molozzi

DOI 10.22533/at.ed.57220010720

CAPÍTULO 21 264

QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA POR MÓDULOS DE TELHADOS VERDES COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE VEGETAÇÃO

Thaís Camila Vacari
Zoraidy Marques de Lima
Eduardo Beraldo de Moraes

DOI 10.22533/at.ed.57220010721

CAPÍTULO 22 277

REUSO DE EFLUENTE SANITÁRIO TRATADO NA MANUTENÇÃO DE REDE COLETORA DE ESGOTO

Analine Silva de Souza Gomes
Breno Barbosa Polez
Renata Araújo Guimarães
Lucas do Socorro Ribeiro Paixão
Mariana Marquesini

DOI 10.22533/at.ed.57220010722

CAPÍTULO 23 286

SOCIAL-ENVIRONMENTAL UNDERSTANDING OF THE INHABITANTS OF REVITALIZED GARBAGE DUMPS, FORTALEZA-CE, BRAZIL

Pedro Victor Moreira Cunha
Márcia Thelma Rios Donato Marino
Matheus Cordeiro Façanha
Vanessa Oliveira Liberato
Clara D'ávila Di Ciero
Ana Beatriz Sales Teixeira
Ana Patrícia de Oliveira Lima
Glenda Mirella Ferreira da Costa

DOI 10.22533/at.ed.57220010723

CAPÍTULO 24 298

TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA: O MÉTODO POR DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS)

Eduardo Amim Mota Lopes
Fátima Maria Monteiro Fernandes
Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega

DOI 10.22533/at.ed.57220010724

CAPÍTULO 25 305

TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

Anna Carolina Perez Suzano e Silva
Bruno de Albuquerque Amâncio
Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega

DOI 10.22533/at.ed.57220010725

SOBRE O ORGANIZADOR..... 311

ÍNDICE REMISSIVO 312

IMPACTO EM RUPTURA DE BARRAGENS DECORRENTES DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM HEDBERG

Data de aceite: 17/06/2020
Data de Submissão: 06/03/2020

Paola Bernardelli de Gaspar

Instituição: Escola Politécnica da USP
São Paulo – SP

<http://lattes.cnpq.br/2091536792304874>

José Rodolfo Scarati Martins

Instituição: Escola Politécnica da USP
São Paulo – SP

<http://lattes.cnpq.br/6187823438322403>

RESUMO: Neste trabalho, busca-se compreender o impacto que alterações ambientais poderiam causar no comportamento de bacias. Mais precisamente, esse estudo contempla a preocupante situação em que essas mudanças poderiam oferecer risco de rompimento de barragens devido a um acréscimo de escoamento em dias críticos, motivação gerada pelos recentes abalos sofridos no Brasil em Mariana. Ainda que o caso tenha sido distinto do estudo em si, percebe-se que a construção e manutenção de barragens, mesmo em casos de extremo risco e investimento, pode possuir falhas de planejamento irreparáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem; Barragens; Mudanças climáticas; Hidrologia;

estatística

IMPACT ON DAM RUPTURE DUE TO ENVIRONMENTAL CHANGES: HEDBERG'S DAM STUDY CASE

ABSTRACT: In this article, we aim to understand the impact that environmental changes could impose into basins. More precisely, this study contemplates the alarming situation in which these changes could endanger the stability of a dam due to the raising in flow on critical days. Such aspect was motivated by the recent disaster suffered in Brazil, in Mariana. Although the case doesn't concern this exact study, it shows that the construction and management of dams, even in situations of extreme risk and investment, has flaws of planning that could be irreparable.

KEYWORD: Modeling; Dam; Climate change; hydrology; statistics

Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é apresentar como as mudanças climáticas afetarão os eventos hidrológicos nas bacias e como essa diferença impactará barragens.

1 | CONTEXTO

1.1 Mudanças ambientais (climáticas/humanas)

O cenário mundial do século XXI conta com inevitáveis mudanças ambientais, conseqüentes tanto da exploração excessiva do século passado quanto da ainda difícil adaptação a uma dinâmica de consumo e de expansão econômica sustentável. Ainda que seja natural que as regiões estejam sujeitas à variação sazonal de chuvas e temperatura, os efeitos antrópicos trazem alterações profundas nos extremos experimentados e, principalmente, no impacto sofrido.

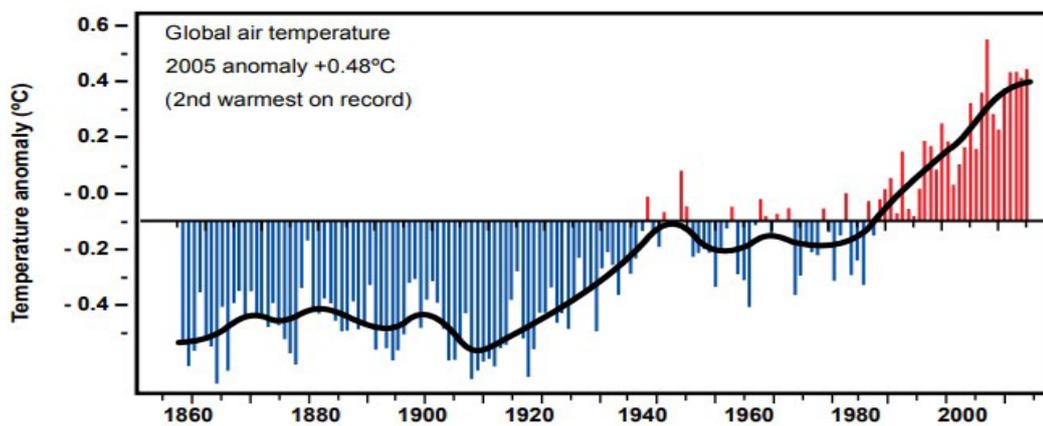


Figura 1 Gráfico de evolução de temperatura média na Terra (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007)

Como visto no gráfico, percebe-se uma tendência mundial desde o advento da revolução industrial de um aumento da temperatura média. Esse tipo de alteração é natural na Terra, mas na velocidade na qual ela se apresenta o ambiente e as estruturas humanas não possuem o tempo hábil de migração e adaptação.

O fenômeno da globalização permite o traçado de perfis de desenvolvimento comparativos entre os países e, simultaneamente, o estudo das diferentes sociedades e suas abordagens, perspectivas e metas. Tratando-se do Brasil, um país em vias de desenvolvimento com fortes impactos rurais devido a uma grande exportação de commodities, percebe-se tanto o agravante da migração no aumento das massas urbanas e do desmatamento na exploração agropecuária. Ambos os fenômenos alteram o comportamento médio de evapotranspiração e a impermeabilidade geral dos solos, trazendo alterações microclimáticas em precipitação e temperatura, além de dificultar a infiltração de água e aumentar o escoamento superficial tanto em regiões rurais desencapadas quanto no asfalto urbano. A soma destes efeitos eleva a amplitude de desastres quando as regiões sofrem precipitações severas.

É importante perceber que situações de risco não necessariamente provém de eventos extremos: a exposição e vulnerabilidade da população, mesmo em situações consideradas hidrológicamente normais, pode provocar impactos profundos nessas regiões. Um evidente exemplo são as constantes notícias de deslizamentos em locais de ocupação irregular e

situações de enchente em centros urbanos durante os meses de verão que, ano após ano, continuam acontecendo, mesmo sem eventos milenares de chuva nessas ocasiões.

A previsibilidade de eventos hidrológicos requer uma longa amostragem de dados para se fazer verossímil. Perceber as sutis alterações climáticas torna-se, portanto, um trabalho extenso e fino. No Brasil, são raros os locais que possuem mais de 100 anos consecutivos de dados, dificultando a análise.

No âmbito das mudanças climáticas é possível identificar, a partir de uma severa análise com vários anos de amostragem, três formas de alteração climática em uma região, todas referentes à curva de probabilidade: um deslocamento da média, uma mudança na variância ou uma assimetria da curva. No caso das chuvas em zonas tropicais em desenvolvimento, o relatório do IPCC admite um cenário de deslocamento da média em redução de 20% no período de retorno das chuvas. Esse conceito será explorado no capítulo 4. Análise das chuvas.

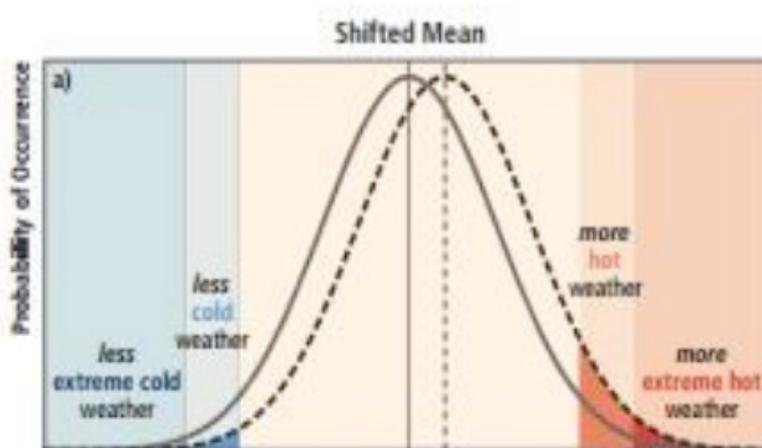


Figura 2 Alterações na curva de probabilidade (FIELD, ET AL., 2012)

1.2 Barragens

O represamento é uma técnica milenar que têm acompanhado a evolução humana há mais de 5.000 anos. As necessidades de se represar águas vêm de diversos fatores, como por exemplo o abastecimento de cidades, a produção de energia, a criação de uma força motriz para máquinas rudimentares, o lazer e o controle de cheias entre outras diversas funções.

Ao longo da sua história, as barragens tiveram suas técnicas de construção refinadas e sua manutenção prevista e controlada. No entanto, não são raros os eventos de rompimento e de desastres, tratando-se de estruturas que guardam grande poder destrutivo em seu volume e porte. Apenas no ano de 2015, no Brasil, foram registrados cinco acidentes e cinco incidentes com barragens (Agência Nacional de Águas, 2015).

Hoje, todas as construções de barragens são reguladas tanto por definições interestaduais como por leis federais. A Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, regula estruturas que possuam as seguintes características:

“Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no seu art. 6º.”

Barragens que se encaixem nas definições acima estão sujeitas à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e são anualmente reportados seus incidentes e acidentes pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), realizado um relatório sob a coordenação da Agência Nacional de Águas (ANA) e fiscalização do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Quanto a PNSB, pontua-se seus fundamentos:

“A segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;

o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la;

a promoção de mecanismos de participação e controle social;

a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais.”

1.2.1 Risco em barragens

Em 2014, das 14.966 barragens brasileiras cadastradas, 2.097 foram classificadas por categoria de risco e 1.681 quanto ao dano potencial associado. Esses números representam, respectivamente, 14% e 11% do total (Agência Nacional de Águas, 2014).

A categoria de risco, em geral, está associada à possibilidade de ocorrência de um desastre, enquanto o dano potencial associado está implícito no risco que a população de entorno sofre. Os primeiros estão mais relacionados a barragens de usos múltiplos no Nordeste, onde a infraestrutura para manutenção e controle é precária; enquanto os segundos encontram-se primordialmente na região Sudeste, onde a geração hidrelétrica costuma implicar em população próxima, e em barragens de minérios, como o caso de Mariana (Minas Gerais), que ocasionou a morte de 19 pessoas e um grande impacto ambiental em toda a bacia do Rio Doce (Agência Nacional de Águas, 2015). Estas últimas, ainda que bem

monitoradas, possuem grande potencial de desastre no caso de uma falha.

No caso de barragens de represas, existem duas principais situações de risco de ruptura: galgamento (*overtopping*, em inglês) e erosão interna no solo (*piping*, em inglês). O primeiro ocorre quando, em situações de cheia em que a barragem não suporta o volume de água, há vazão sobre a estrutura e alagamento da região. Este tipo de fluxo não é previsto como função estrutural da barragem, criando cargas críticas em seu topo e uma altura de queda maior, o que ocasiona erosão da base da barragem à jusante, podendo vir a romper toda a estrutura. Esse tipo de falha é especialmente crítico em barragens antigas, que foram construídas visando os parâmetros estatísticos hidrológicos da época de construção e que, como visto anteriormente, podem ter sido alterados por efeitos antrópicos.

O segundo ocorre quando há infiltração na barragem e a água lentamente carrega os sedimentos da base, enfraquecendo a fundação e criando a situação de risco. Situações pontuais como terremotos ou deslizamentos também são possíveis, mas considerando os casos mais correntes e previsíveis, os modelos hidrológicos costumam testar galgamento e erosão interna no solo em casos de ruptura de barragens.

Vale ressaltar que o evento crítico mais importante a ser estudado é o da onda de cheia dessa ruptura, que pode ocorrer em diferentes instantes do desastre. O fator de maior influência nessa análise é o “*failure time*”, ou seja, o tempo de ruptura em que seria formada a fissura por onde o volume de água passaria. Em casos de grandes represamentos, o fim do tempo de ruptura é simultâneo ao pico da onda de cheia. Em pequenos represamentos, no entanto, é comum que o pico ocorra antes (Wahl, 2004). É principalmente importante o estudo deste fator uma vez que ele determina o tempo em que se pode alarmar a população de entorno para evacuação e minimização de danos, princípio reforçado pela PNSB.

1.3 Gerenciamento de risco

A gestão de riscos faz-se de extrema necessidade no caso estudado. Pode-se perceber, em geral, que o fator mais agravante de desastres não é o evento extremo em si, mas o contexto vulnerável sobre o qual ele surte efeito. De acordo com (FIELD, ET AL., 2012), há seis aspectos cruciais na abordagem de gerenciamento de riscos: redução de exposição, aumento de resiliência para riscos mutáveis, transformação, redução de vulnerabilidade, preparação para resposta e recuperação e compartilhamento de risco.

Pode-se definir o risco como uma relação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e a magnitude de sua consequência. Situações com alta possibilidade de incidência, mas que não afetem diretamente uma população ou depredem em demasia um ecossistema, não são de alto risco. No entanto, o cenário oposto, com baixa probabilidade de ocorrência, mas com catastróficas consequências, pode ainda possuir um maior risco que a primeira situação.

Dentro dos fatores de probabilidade de ocorrência de um evento, devemos considerar, por exemplo, que construções bem monitoradas, mesmo que enormes, possuem maiores chances de ter suas falhas detectadas e corrigidas a tempo. Uma estrutura pouco monitorada, mas de pequenas proporções, ainda que tenha maior chance de se romper, não possui um

risco tão elevado uma vez que suas consequências de rompimento não são tão desastrosas. Estes fatores se equilibram, de certa forma, elevando o risco das barragens de proporções que se encontram entre os extremos: estruturas de médio porte que são pouco monitoradas.

2 | MÉTODO

2.1 Modelo HEC-RAS

O modelo hidrológico a ser utilizado é o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*), disponibilizado gratuitamente pelas forças armadas dos Estados Unidos. O sistema permite a introdução do Modelo Digital de Terreno (MDT) de uma bacia hidrográfica, em conjunto com informações ambientais e climáticas sobre a região, estruturais de pontes ou barragens e consta com informações acerca da qualidade da água. É possível, a partir dos dados e da sua correta calibração, encontrar cenários extremos e prever o comportamento da barragem no caso de uma ruptura, revelando a onda de cheia consequente ao evento.

Para tanto, o modelo consta com três possibilidades de cálculo: fluxo instável unidimensional: equações de Saint-Venant completas; fluxo instável bidimensional: equações de Saint-Venant completas ou equações de onda de difusão; e de nível da água. As situações uni e bidimensionais são mais adequadas para reservatórios compridos e rasos, enquanto o método do nível da água é mais adequado para reservatórios curtos e profundos. Essa diferença é devida principalmente às alterações devido à onda de cheia na superfície da água, conforme o escoamento devido à precipitação chega ao estuário.

2.2 Hidrologia: como funcionam cheias?

A ciência que estuda o comportamento de cheias em relação à precipitação e à permeabilidade do solo é a hidrologia. Levando em conta as tendências no Brasil, algumas regiões poderiam ser modeladas ao extremo em que houvesse completa impermeabilização do terreno por asfalto e as alterações microclimáticas típicas de regiões densamente urbanizadas. No entanto, como a bacia estudada está dentro de uma Floresta Nacional e é terreno tombado, não é concebível elevar o cenário a tal extremo.

Para o cálculo da permeabilidade do terreno, é convencional utilizar o método da *Soil Conservation Service* (SCS), atual *Natural Resources Conservation Service* (NRCS). A entidade norte-americana desenvolveu uma análise de tipos de solo e sua cobertura, devolvendo um número chamado de “*curve number*” (CN). Este pode ser utilizado para representar a impermeabilidade, sendo quão maior o CN, maior o escoamento superficial direto do terreno (Natural Resources Conservation Service, 2004).

A precipitação ocorre em eventos estatisticamente independentes, não podendo ser intuída em uma relação direta com chuvas recentes. É possível que a presença de área urbana na região e entornos alterem o microclima do local, aumentando a temperatura e diminuindo a evapotranspiração. Por outro lado, a área da reserva ainda pode contribuir

muito com a evapotranspiração, não sendo fácil apontar mudanças a curto prazo.

Ainda que, com o passar dos anos, a já existente ocupação urbana ilegal nas áreas da reserva poderia sofrer alterações, considerar-se-á tal invasão limitada onde ele já se encontra. Portanto, para o desenvolvimento dos cenários alternativos, apenas as considerações gerais dos modelos previstos pelo IPCC serão aplicáveis.

3 | ESTUDO DE CASO: BARRAGEM DE HEDBERG

3.1 História

As informações aqui contidas foram retiradas de diversas fontes e documentos, sendo principalmente do IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), do Plano de Manejo da FLONA de Ipanema e do jornal Cruzeiro.

3.1.1 Contexto de criação da barragem

Com a vinda da família real em 1808, o ministro Conde de Linhares autorizou a construção de uma fábrica de ferro em Ipanema visando tornar o país autossuficiente em ferro. O único documento que regulamenta a área é uma Carta Régia escrita por Dom João VI, em 04 de dezembro de 1810, criando a Fábrica de Ferro de Sorocaba. A barragem de Hedberg, no rio Ipanema, do tipo enrocamento (blocos de pedra e alvenaria), foi construída em 1811 para gerar força motriz à fábrica. Sua antiguidade foi averiguada pela diretoria do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CNEA), sediado na Floresta Nacional de Ipanema.

3.1.2 Conjuntura atual

Atualmente, a Fazenda de Ipanema encontra-se sob o Decreto nº 530, de 20/05/92 de criação da Unidade de Conservação (UC). Ela é enquadrada na classificação de UC Sustentável, onde é permitido o aproveitamento econômico direto de forma planejada e regulamentada. Estas são identificadas como Unidades de Uso Direto, onde estão inclusas as Florestas Nacionais.

Sabe-se que um dos canais da barragem foi inaugurado nos anos 80, com a intenção de se fazer uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) na FLONA. No entanto, o projeto nunca foi concluído e a presença desse canal no maciço aparenta trazer risco de erosão interna no solo para a estrutura.

3.2 Características gerais da bacia hidrográfica

3.2.1 Clima e localização

A bacia hidrográfica do rio Ipanema drena uma área de 234,86 km², sendo o seu curso d'água principal o rio Ipanema. A topografia da área apresenta montanhas médias, com espigões alongados. É atravessada em sua parte sul pelo Trópico de Capricórnio, portanto, em zona de transição de tropical para temperada. Segundo (Alvares & al., 2013), a área apresenta condições climatológicas tipo Cfa e Cfb. O primeiro corresponde a um clima

subtropical quente, constantemente úmido, com inverno menos seco (precipitação entre 30 e 60 mm), temperaturas máximas superiores a 22°C e mínimas inferiores a 18°C; já o segundo corresponde a um clima temperado, com verão ameno, com chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C (precipitação de 1.100 a 2.000 mm), geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias anualmente.

A precipitação média anual da região é da ordem de 1.400 mm, com mínimo de 800 mm e máximo de 2.200 mm, os meses menos úmidos vão de agosto a novembro e os mais úmidos vão de março a junho. As temperaturas máximas são superiores a 22°C e mínimas inferiores a 18°C.

Esta bacia pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos de no 10, correspondente à bacia hidrográfica dos rios Sorocaba e Médio Tietê, segundo a Lei Estadual 7.663 de 30/12/91 (Brasil, 1991), que trata do Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

O rio Ipanema possui 43 km de extensão até desaguar no rio Sorocaba. O lago que forma a barragem Hedberg, está localizado no rio Ipanema, tem uma área de 0,26 km² e uma profundidade média de 5 m.

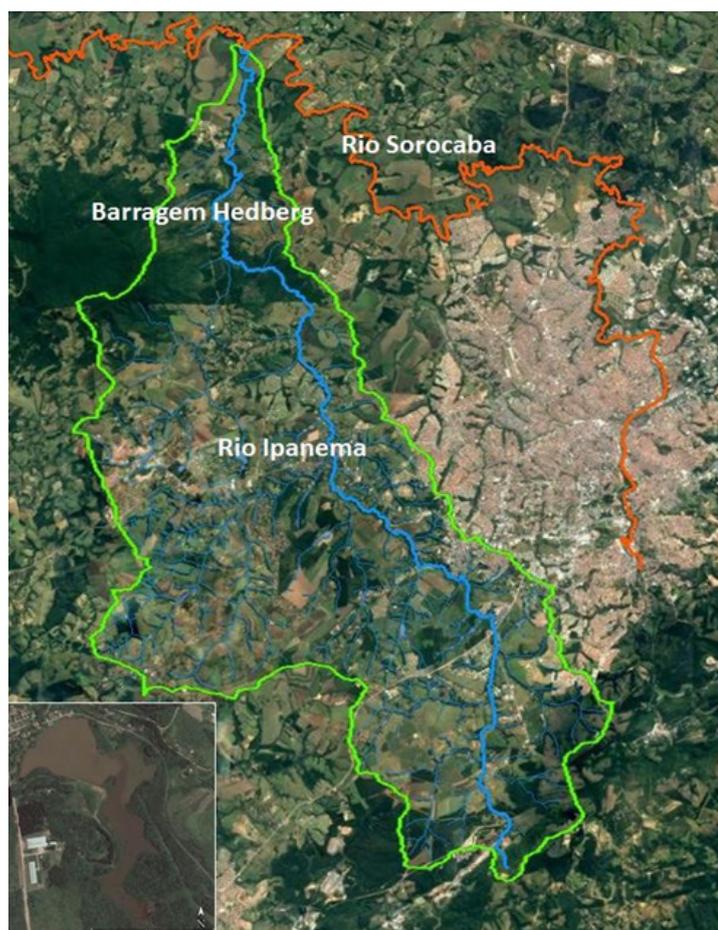


Figura 3 Hidrografia da bacia hidrográfica do rio Ipanema e do reservatório da barragem Hedberg no detalhe (Adaptado do Google Earth, imagem DigitalGlobe 2016)

O reservatório da barragem recebe contribuições de tributários dos municípios de

Araçoiaba da Serra, Sorocaba, Salto de Pirapora, Votorantim e de Iperó.

3.2.2 Uso e ocupação de solo

A área total da FLONA é de 5.069,73 hectares, com perímetro estimado em 37 km. O mapeamento de uso de ocupação do solo da área da bacia dos rios Sorocaba e Médio Tietê foi realizado em 2006 pelo Instituto de Pesquisas Técnicas – IPT, levantou que em relação à área total da bacia 13,57% é coberta por vegetação (1618,5 km²). O restante da área está submetido às ações antrópicas, sendo áreas urbanas (2,21%), culturas, campos e pastagens, destacando-se as áreas de pastagens com 67,64% (CBR-SMT, 2008) (IPT, 2008).

O Plano de Manejo da FLONA rege a distribuição de uso e ocupação do solo da região da Floresta e de seu entorno (zona de amortecimento, exigida em toda Unidade de Conservação - UC) para que o choque com o ambiente urbano ocorra de forma gradual (Figura 4). O entorno pode ser descrito resumidamente como: ao Norte, assentamentos rurais e áreas de pesquisas da Marinha; ao Oeste, residências e o Morro Araçoiaba com vegetação nativa; ao Sul, propriedades agrícolas e mata nativa.

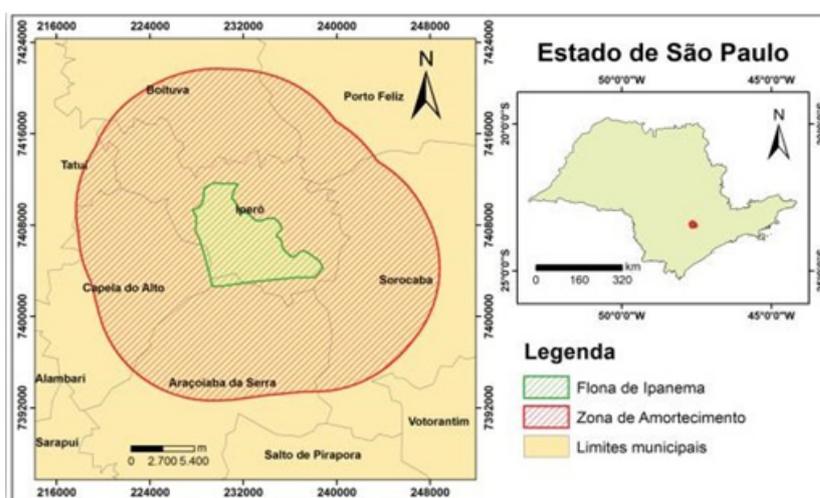


Figura 4 Zona de amortecimento da FLONA de Ipanema

A tabela seguinte apresenta o percentual de cada zona dentro da Flona de Ipanema:

Zona	% Área da FLONA
Intangível	22,04
Primitiva	44,84
Uso intensivo	0,76
Histórico-Cultural	0,19
Recuperação	7,36
Uso Especial	0,54
Produção	24,27

Tabela 1 Zoneamento da Flona de Ipanema Fonte: (IBAMA, 2012)

A barragem Hedberg está na zona histórico-cultural. Esta é constituída pela vila São João de Ipanema, por diversos monumentos históricos tombados e possui ainda três sítios arqueológicos já cadastrados no IPHAN. Essa área não é comumente sujeita a reformas.

Na região a montante do lago, a qual nos interessa para entender os tipos de poluição que pode afluir a este corpo hídrico, de acordo com o IBGE (Figura 5), prevalecem os usos urbanos e principalmente a atividade agropecuária.

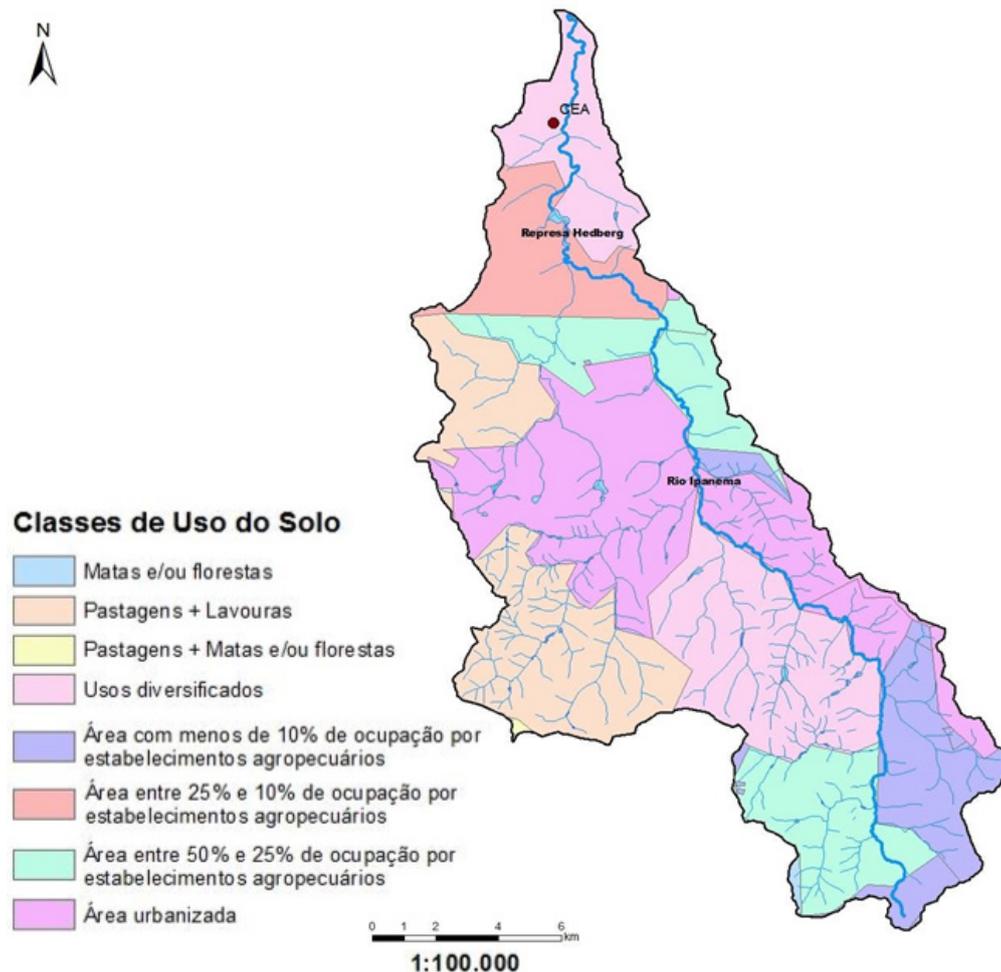


Figura 5 Mapa dos tipos de usos do solo para a bacia do rio Ipanema (Fonte: IBGE)

3.3 Modelo digital de terreno

No estado de São Paulo, foi realizada a produção de um levantamento cartográfico do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. No entanto, esse levantamento não possuía o nível de precisão necessário para modelar a onda de cheia no HEC-RAS, sendo necessário criar dados mais precisos a partir de curvas de nível levantadas na região. Como se trata de uma barragem antiga, precisou-se digitalizar um dos mapas e, com o auxílio do AutoCAD, vetorizá-lo. Em seguida, os dois levantamentos foram sobrepostos, possuindo a dimensão do levantamento geral com a precisão necessária na área de estudo.

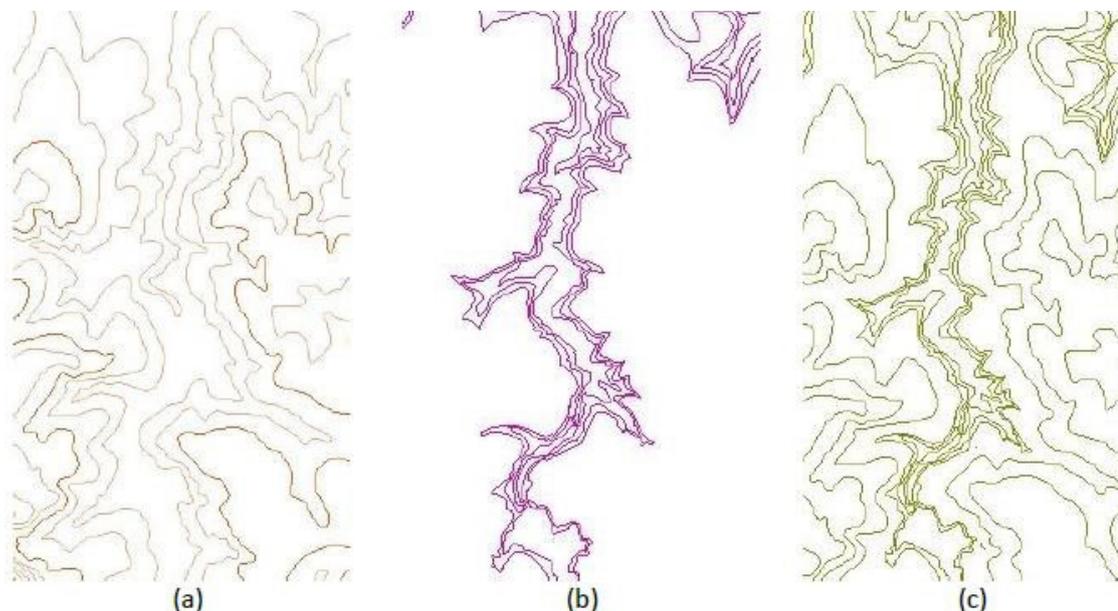


Figura 6 Trecho da geração de superfície topográfica por meio das técnicas de MDT utilizando curvas de nível: (a) levantamento cartográfico do IGG/IBGE (1:50.000); (b) levantamento cartográfico do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (escala 1:10.000) vetor

4 | ANÁLISE DAS CHUVAS

4.1 Dados hidrológicos na região da barragem

A barragem de Hedberg possui uma série de postos hidrológicos em seu entorno, no entanto, a maioria destes apresentam uma série histórica extremamente reduzida, entre os anos de 1940 e 1960, em geral. Coletando informações desses postos e comparando com os postos com maior série histórica no entorno (Iperó e Sorocaba), é possível traçar uma correlação e utilizar tais dados como uma base para a estatística de previsão de chuvas na região da bacia. Como houve períodos de falha, se considerou os anos de amostragem reais, como indicado na tabela:

<i>Posto</i>	<i>Responsável</i>	<i>Número</i>	<i>Ano Início</i>	<i>Ano Fim</i>	<i>Anos reais de amostra</i>
Iperó	DAEE	2346025	1937	2014	62
Bacetava	DAEE	2347133	1943	1954	10
Sorocaba	DAEE	2347034	1941	1998	46
Sorocaba	INMET	2347156	1944	1957	13

Tabela 2 Dados dos postos pluviométricos utilizados

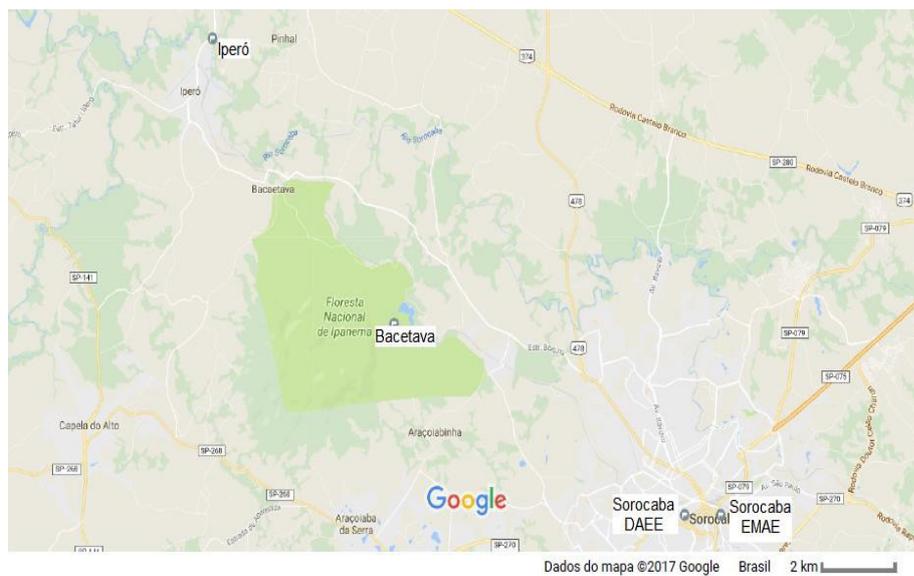


Figura 7 Localização dos postos pluviométricos (Adaptado: Google Maps)

Os dados foram sobrepostos e maximizados, ou seja, os postos cobriram as falhas uns dos outros e foram selecionados os maiores valores registrados no dia na região, de maneira a estimar o máximo possível que a bacia poderia sofrer com as chuvas. Essa aproximação é adequada devido à equidistância dos postos mais distantes (Sorocaba e Iperó) e à centralidade do posto de Bacetava (próximo à barragem).

Para melhor visualização, é adequada a formatação gráfica destes valores:

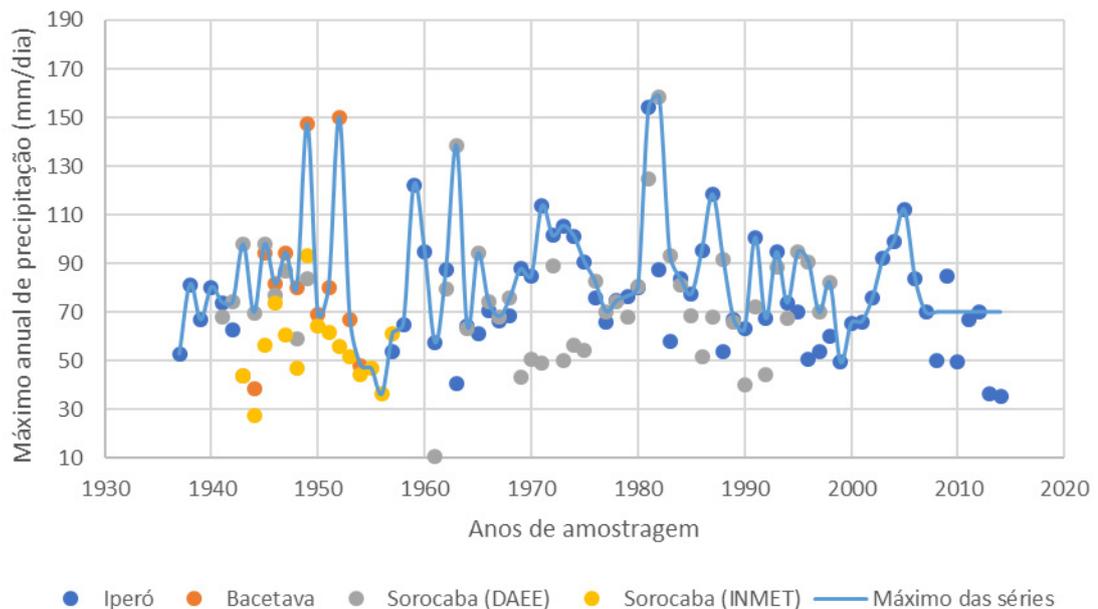


Figura 8 Comparação dos dados dos postos em gráfico

A partir da lista de máximos anuais diários, pode-se então colocá-la em ordem decrescente para se saber a probabilidade (tempo de retorno, ou TR) de cada uma das chuvas. Com essa relação de valores, possui-se uma base de dados com período máximo de retorno de 78 anos. É relevante, no entanto, apontar a imprecisão do método uma vez que entre estes valores poderia haver chuvas com probabilidades maiores que 1/78. Ainda, também, mudanças ambientais na região podem não ser percebidas e a série torna-se uma mesclagem de cenários. Inclusive, essa hipótese seria adequada uma vez que a cidade de Sorocaba de fato cresceu nos últimos 78 anos, mas ainda é extremamente impreciso apontar exatamente quais mudanças ocorreram e quais foram seus efeitos.

Além desses pontos a serem assinalados, também deve-se ter em mente que a reação do terreno às possíveis chuvas é de extrema importância. A velocidade de escoamento e a possibilidade de reais desastres implica, em grande parte, na suscetibilidade do solo para tanto, seja qual for a precipitação na região. Para a modelagem, no entanto, espera-se aplicar apenas as possíveis mudanças climáticas sobre um hipotético uso constante de solo da região, para então compreender o impacto único da alteração no tempo de retorno das chuvas.

4.1.1 Cenário inicial

O primeiro cenário de teste seria o atual, com a análise estatística das chuvas que ocorrem geralmente na região, excluindo a hipótese de alterações climáticas durante o período de coleta de dados na região. Para tanto, foram testados três tipos de modelos estatísticos: normal, log normal e Gumbel.

Para cada um dos tipos de modelo, foram empregadas ferramentas do Excel para realizar as projeções. No modelo “normal”, os parâmetros de média e desvio padrão embasam a projeção. As seguintes equações são obedecidas:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Equação 1 Função densidade de probabilidade de distribuição normal

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x). dx = P(X \leq x)$$

Equação 2 Função de distribuição normal acumulada

Nestas equações:

σ = desvio padrão (mm); x = dado pontual de chuva (mm); μ = média (mm).

Recomenda-se a utilizando a função “INV.NORM. N” do Excel.

Muito semelhante, o modelo de “log normal” também manipula o mesmo tipo de dado (média e desvio padrão). No entanto, eles são feitos sobre o logaritmo de base natural dos valores da amostra (y). As seguintes equações são obedecidas:

$$f(y) = \frac{e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}}{y \cdot \sigma_y \sqrt{2\pi}}$$

Equação 3 Função densidade de probabilidade de distribuição log normal

$$F(y) = \int_{-\infty}^y f(y). dy = P(Y \leq y)$$

Equação 4 Função de distribuição log normal acumulada

Nestas equações:

σ_y = desvio padrão da série logarítmica de precipitações; y = dado pontual da série logarítmica de precipitações; μ_y = média da série logarítmica de precipitações.

Recomenda-se o uso da função “INV.LOGNORMAL” do Excel para cálculo.

Já o modelo de “Gumbel” baseia-se na manipulação matemática com parâmetros que utilizam o desvio padrão:

$$\alpha = 1,2825\sigma$$

$$\beta = \mu - 0,45\sigma$$

$$y = -\alpha(x - \beta)$$

Equação 5 Parâmetros de Gumbel

Nestas equações:

σ = desvio padrão (mm); μ = média (mm).

A partir destes valores, pode-se utilizar das seguintes equações para realizar a modelagem:

Equação 6 Função densidade de probabilidade de distribuição Gumbel

$$f(x) = \alpha \cdot \exp[y - \exp(y)]$$

Equação 7 Função de distribuição Gumbel acumulada

$$F(x) = \exp[-\exp(y)]$$

Não há uma função específica no Excel para utilizar esse modelo, mas implementando as equações, obtêm-se:

<i>Tempo de Retorno (mm)</i>	<i>Máximo da série normal (mm)</i>	<i>Máximo da série ln (mm)</i>	<i>Máximo da série Gumbel (mm)</i>
1,1	49,0	52,7	54,2
2	82,7	79,1	78,6
5	104,0	102,1	100,9
10	115,1	116,7	115,7
25	126,9	134,6	134,3
50	134,6	147,6	148,2
100	141,5	160,4	161,9

Tabela 3 Valores obtidos estatisticamente pelos modelos

Com a comparação dos valores obtidos em cada um dos casos, obtêm-se o seguinte gráfico:

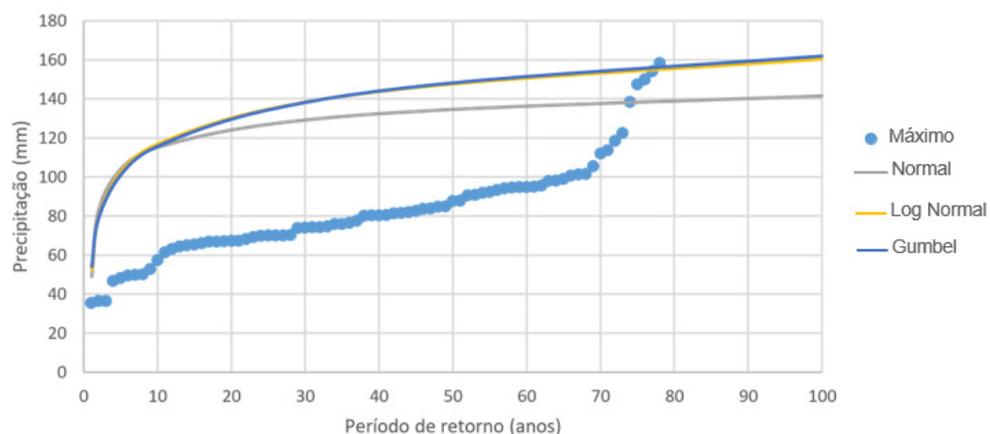


Figura 9 Gráfico de comparação dos dados de precipitação com as previsões estatísticas

Como percebido, os modelos estatísticos não oferecem uma relação adequada quanto à primeira parte da amostra. Isso pode ser explicado pela presença de chuvas com TR maior que 78 na série. Dessa forma, foram utilizados os dados já conhecidos para a estimativa de precipitação com TR de 10 e 25 anos e, por maximizar os dados, foi empregado o modelo de Gumbel para a expansão do gráfico para os 100 anos.

4.1.2 Cenário futuro

A partir das estatísticas originais acima, pode-se então manipulá-las para os cenários futuros prováveis e previstos. Em regiões de trópicos, aponta-se um possível cenário de redução de 20% no período de retorno de chuvas (Field, et al., 2012). A tabela a seguir sintetiza alguns dos valores obtidos nessa transformação:

<i>TR (anos)</i>	<i>Máximo C0 (mm)</i>	<i>Máximo C1 (mm)</i>
1,1	35,4	66,8
2	36,4	66,9
5	48,1	67,3
10	57,4	70
25	69,9	80,4
50	87,6	100,7
62	95,5	158,3

Tabela 4 Precipitações ajustadas ao cenário previsto com seu respectivo tempo de retorno (TR). C0 corresponde à série medida e C1 ao cenário IPCC

Com a nova base de dados, foram empregados os mesmos modelos estatísticos usados anteriormente. As seguintes relações de precipitação e tempo de retorno foram obtidas:

TR (anos)	Máximo normal (mm)	Máximo ln (mm)	Máximo Gumbel (mm)
1,1	60,5	65,5	65
2	90	87,7	86,4
5	108,6	105,5	105,9
10	118,3	116,2	118,8
25	128,7	128,8	135,2
50	135,4	137,6	147,3
100	141,4	146,1	159,3

Tabela 5 Valores obtidos estatisticamente pelos modelos

Unindo estes resultados, pode-se traçar o seguinte gráfico:

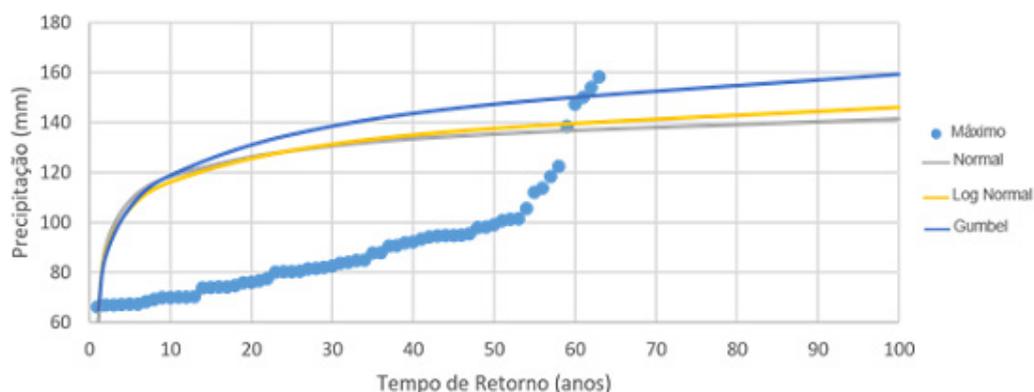


Figura 10 Gráfico de comparação dos dados de precipitação com as previsões estatísticas do cenário previsto

4.2 Parâmetros adotados

Para realizar a calibração do modelo, foram utilizados os seguintes valores: vazão sobre a crista da barragem: 2,59m³/s; profundidade média no rio: 1,2m; profundidade média na barragem: 5m; extensão do rio Ipanema: 43km. Além disso, os valores de precipitação utilizados são os seguintes:

<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>Cenário 0 (mm)</i>	<i>Cenário IPCC (mm)</i>
10	57,4	70
25	69,9	80,4
100	161,9	159,3

Tabela 6 Cenários testados no modelo

Curiosamente, percebe-se que a estimativa de precipitação com período de retorno de 100 anos no cenário futuro é menor que no cenário inicial. Pode-se atribuir esse resultado à um efeito da redução de dados amostrais, condensando a linha de tendência e reduzindo o desvio padrão. A diferença, no entanto, é mínima, relevando que as grandes alterações de precipitação devido ao aumento de sua probabilidade ocorrem justamente na parte mais crítica da amostra: nas chuvas mais prováveis. Dessa maneira, uma alteração como a prevista pelo IPCC revela que, de uma maneira geral, a região teria que suportar mais frequentemente chuvas mais pesadas, não alterando tanto a intensidade de precipitações raras.

5 | MODELAGEM

5.1 Inserção de dados

A fim de se realizar a modelagem no HEC-RAS, faz-se necessário, primordialmente, definir o relevo do terreno. Para tanto, foram unidas duas informações geométricas: os dados do projeto de levantamento do estado de São Paulo, com menor precisão, e um mapa com curvas de níveis mais precisas e de menor intervalo de medidas.

Em seguida da geometria, são estabelecidos alguns dados de calibração, como a vazão de base, o volume inicial do reservatório e condições gerais de uso de solo. Como o modelo já havia sido usado no projeto (FCTH, 2016), ele foi reaproveitado para essa pesquisa. As únicas alterações foram: a implementação das chuvas dos cenários propostos anteriormente; a redução dos passos, adaptados para um dia de chuva com intervalos horários, e a manutenção do fluxo básico previsto.

5.2 Problemas

Apesar da inserção de dados tal qual o programa exige (geometria, condições de contorno, dados meteorológicos, passos etc.), os cenários não apresentaram mudanças significativas quando comparados.

Duas condições foram testadas em todos os casos: a existência ou não de uma condição

de contorno com o escoamento de base. No primeiro, todos os modelos apresentaram a mesma velocidade de acréscimo de sua vazão e mantendo-a constante após chegar nesse pico, o que contradiz a literatura, que exigiria que a curva da onda de cheia diminuísse após o máximo escoamento da bacia. No segundo então, sem a vazão de base, a precipitação não foi suficiente para produzir uma curva, decrescendo o fluxo do rio em passos semelhantes.

Acredita-se, sobretudo, que essa incoerência tenha sido fruto de algum detalhe na implementação dos passos não considerado, requerendo uma análise mais profunda das equações de Saint Venant para a compreensão e reparação do modelo.

6 | CONCLUSÃO

Ainda que o modelo tenha apresentado evidentes falhas, pode-se chegar a interessantes conclusões a partir das análises estatísticas e do que, de fato, saber-se-ia sobre as alterações de precipitação na região.

Comparando os tempos de retorno de ambos os cenários, atual e futuro, pode-se perceber um evidente aumento no volume de precipitação do cenário futuro provável, ainda que as chuvas calculadas em cenários de maior tempo de retorno sejam menores. Os principais efeitos causados por esse tipo de alteração climática seriam um maior volume de arraste de sedimentos, o que agravaria o aterramento do reservatório da região, e um aumento de vazão, com uma consequente demanda física de resistência da barragem a eventos de galgamento.



Figura 11 Gráfico de comparação dos cenários (C0 controle e C1 previsão)

Em associando estes resultados com os prévios estudos feitos em análise e gerenciamento de risco, percebe-se uma acentuação crítica de eventos de potencial médio na barragem pelos cenários previstos pelo IPCC. Esse tipo de desgaste em maior frequência, considerando os dois séculos de existência da barragem, torna relevante a realização de estudos precisos para compreender finamente os riscos de rompimento. Para tanto, é preciso realizar um estudo nos efeitos de erosão interna no solo e galgamento, principalmente. Além disso, para complementar e melhorar esse estudo, poder-se-ia refazer e estudar os modelos de fato, possibilitando a demonstração da onda de cheia e seus efeitos na área afetada.

REFERÊNCIAS

Alvares, C., & al., e. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil** (Vol. 22). Stuttgart: Meteorologische Zeitschrift.

Brasil. (1991). **Lei Estadual 7.663 de 30 de dezembro de 1991.**

Brasil. (2010). **Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).**

CBR-SMT. (2008). **Fundamentos da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Sorocaba e Médio Tietê**

FCTH. (2016). **Relatório Final 2 Etapa I - Estudos de Avaliação Hidrodinâmica e Ecológica do Reservatório da Barragem Hedberg. Volume 7 – Avaliação Ecológica do Reservatório, 7, 1.** São Paulo.

Field, C., Barros, V., Stocker, T., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K., . . . IPCC. (2012). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IBAMA. (2012). **Plano de Manejo da FLONA de Ipanema.**

IBGE - EMBRAPA. (2001). **Mapa de Solos do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE.

IPT. (2008). **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10) - revisão para atendimento da deliberação CRH 62.** São Paulo: IPT/CETAE/FEHIDRO.

Ministério do Meio Ambiente. (2007). **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade.**

Natural Resources Conservation Service. (2004). National Engineering Handbook. **Hydrologic Soil-Cover Complexes.**

Wahl, T. (maio de 2004). **Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters.** *Journal of hydraulic engineering*. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:5(389)

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agrotóxicos 26, 29, 34, 35, 40, 44, 51, 99, 100, 101, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 233, 235, 244, 246

Água 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 31, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 58, 60, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 92, 93, 96, 103, 104, 105, 106, 113, 115, 116, 117, 118, 137, 140, 141, 143, 144, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 156, 161, 163, 165, 166, 172, 173, 174, 179, 182, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 212, 225, 234, 236, 238, 241, 242, 245, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 266, 267, 268, 270, 271, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310

Aplicações 38, 304, 309, 310

Ar 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 58, 73, 80, 166, 204, 205, 206, 225, 237, 238, 265

Áreas Rurais 55, 64, 160, 168, 195, 233, 300

B

Bacia Hidrográfica 53, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 117, 118, 119, 143, 144, 145, 146, 149, 150, 151, 152, 153, 181

Barragens 112, 114, 115, 116, 117, 183

C

CONAMA 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 53, 54, 55, 59, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 84, 89, 101, 180, 181, 182, 183, 185, 203, 209, 233, 234, 238, 242, 247, 248

Contaminação Ambiental 157, 163, 235

Controle 12, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 37, 40, 68, 79, 82, 83, 91, 92, 93, 95, 96, 99, 103, 104, 107, 108, 110, 111, 114, 115, 130, 152, 154, 155, 156, 158, 161, 162, 165, 169, 171, 172, 180, 182, 184, 185, 188, 195, 199, 226, 231, 235, 238

D

Dano 5, 73, 74, 76, 77, 78, 115, 183

Desenvolvimento 9, 2, 3, 4, 28, 32, 38, 39, 41, 45, 51, 73, 74, 75, 78, 82, 91, 92, 93, 95, 99, 106, 108, 109, 110, 113, 114, 115, 118, 133, 137, 147, 151, 155, 166, 173, 174, 180, 181, 186, 189, 191, 195, 196, 197, 202, 203, 207, 212, 224, 226, 234, 243, 244, 254, 267, 278, 299, 300, 302

Desinfecção 161, 277, 279, 280, 281, 282, 298, 300, 301

Dessalinização 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 305, 306, 307, 308, 309

E

Economia 2, 3, 16, 18, 20, 22, 25, 38, 75, 157, 173, 179, 190, 207, 226, 235, 277, 279, 282, 283, 284, 299

Educação Ambiental 33, 40, 80, 83, 88, 110, 168, 224, 231

Efluente Tratado 277, 279, 280, 284

Eletrocoagulação 212, 223

Energia 9, 38, 73, 114, 132, 133, 134, 135, 137, 139, 140, 141, 144, 172, 173, 174, 175, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 190, 191, 193, 195, 204, 205, 208, 223, 282, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 309
Escassez hídrica 201, 202
Esgoto 96, 195, 205, 208, 277, 279, 280, 281, 284, 285
Espaço urbano 287
Estatística 52, 112, 122, 124, 246, 297, 300
Eutrofização 38, 253, 254, 257, 263

F

Filtração 277, 281, 282
Fontes 4, 5, 6, 11, 12, 16, 54, 64, 68, 73, 118, 152, 174, 179, 204, 209, 236, 246, 258, 266, 267, 303

G

Geomorfologia 143
Gramínea 265

H

Herbácea 264, 265, 267, 268, 270, 271, 272, 273
Hidroeletricidade 172, 173, 174, 175, 177, 178, 183
Hidrologia 117, 153, 112, 117, 153
Histopatologia 24, 27

I

Impactos 9, 13, 25, 29, 37, 38, 40, 53, 55, 67, 72, 81, 92, 93, 94, 95, 108, 113, 154, 156, 157, 161, 164, 166, 168, 170, 172, 173, 174, 178, 179, 180, 181, 183, 186, 193, 197, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210, 225, 227, 228, 230, 231, 233, 234, 235, 247, 264, 287
irrigação 24, 26, 29, 31, 152, 179, 207, 254, 258, 277, 280, 284

L

Lixo Urbano 65, 246, 287

M

Meio Ambiente 1, 9, 3, 4, 5, 6, 40, 65, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 81, 83, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 100, 105, 109, 154, 157, 161, 167, 168, 172, 173, 178, 179, 183, 184, 185, 190, 199, 201, 202, 203, 224, 226, 228, 233, 7, 10, 11, 12, 14, 34, 36, 67, 70, 71, 79, 80, 98, 131, 132, 153, 161, 180, 182, 184, 185, 186, 201, 203, 209, 231, 248, 255, 297, 298, 305, 311
Metais 53, 55, 58, 59, 60, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 166, 171, 205, 233, 234, 235, 238, 239, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 266, 274
Mitigação 3, 93, 172, 181, 201, 203
Modelagem 68, 112, 124, 129, 126, 129, 153
Morfometria 143, 150, 153
Mudanças Climáticas 23, 112, 114, 124, 131, 260

N

Nutrientes 37, 38, 40, 48, 49, 51, 55, 152, 195, 196, 204, 205, 234, 240, 241, 242, 254, 257, 258, 264, 266, 267, 270, 273, 274

P

Pluvial 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 65, 106, 195, 198, 266, 267

Poluição 1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 25, 26, 72, 73, 80, 91, 93, 107, 109, 121, 166, 173, 180, 184, 185, 195, 196, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 225, 226, 227, 234, 235, 245, 264, 266, 274

Potabilidade 299, 300

Produção Agrícola 179, 233, 247

Produtores Rurais 154, 158, 159

R

Reservatório 17, 18, 20, 21, 73, 115, 119, 129, 130, 179, 183, 253, 257, 258, 259, 260, 267, 280, 282, 283

Residuais 205

Resíduos hospitalares 81, 83, 86

S

Solo 38, 39, 47, 54, 55, 57, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 116, 117, 118, 120, 121, 124, 129, 130, 144, 146, 152, 153, 166, 204, 207, 225, 230, 233, 234, 235, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 265, 266, 267, 268, 273, 274, 55, 61, 62, 66, 68, 70, 113, 144, 196, 233, 234, 235, 236, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249

Sustentável 38, 40, 52, 78, 91, 92, 95, 99, 101, 106, 110, 111, 113, 173, 174, 180, 186, 198, 200, 203, 226, 278, 297, 300, 301

T

Tratamento 16, 19, 22, 37, 63, 83, 106, 107, 108, 109, 134, 145, 161, 193, 196, 197, 198, 202, 205, 207, 208, 212, 223, 227, 228, 229, 277, 278, 279, 280, 281, 283, 284, 298, 299, 300, 301, 303, 308

 **Atena**
Publisher

2 0 2 0