

**LUIS RICARDO FERNANDES DA COSTA  
(ORGANIZADOR)**

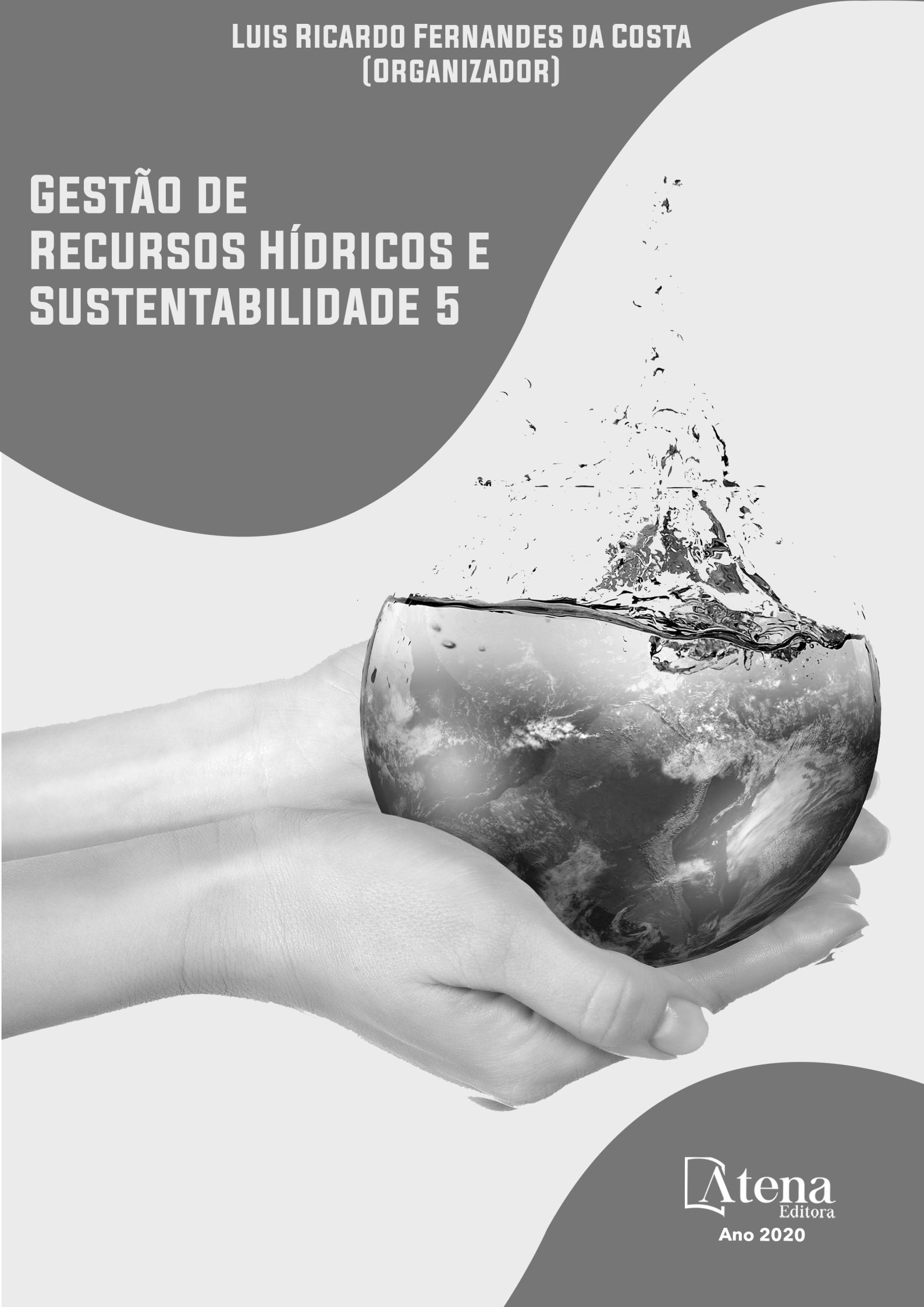
# **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE 5**



**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**LUIS RICARDO FERNANDES DA COSTA  
(ORGANIZADOR)**

# **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE 5**



**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:** Karine de Lima

**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 Internazionele 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
G393	<p>Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade 5 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-107-7            DOI 10.22533/at.ed.077201206</p> <p>1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 343.81</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

É com muito prazer que apresentamos a obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade 5”, que apresenta uma série de sete contribuições acerca de problemas relacionados a dinâmica e o gerenciamento dos recursos hídricos.

A abertura do livro, com o capítulo “Tecnología e innovación para la mejora de la gestión integrada de recursos hídricos: el caso de la demarcación hidrográfica del río Segura (Sureste de España)”, procura analisar as medias e situações para um melhor aproveitamento e melhoria da gestão dos recursos hídricos em área de bacia hidrográfica.

No capítulo 2 “Degradação das águas subterrâneas na cidade de Fortaleza-CE” avalia a degradação dos recursos hídricos subsuperficiais, ocorridas em decorrência da expansão urbana ao longo dos últimos 40 anos na cidade de Fortaleza.

No capítulo 3 “Diagnóstico ambiental em balneários públicos na região oeste do estado de São Paulo, Brasil” apresenta uma análise acerca das condições ambientais de balneários públicos em dois municípios na região Oeste do estado de São Paulo, os balneários de Teodoro Sampaio e Rosana, por meio de protocolos de avaliação rápida – PARs.

No capítulo 4 “Variação espacial da qualidade de água da microbacia hidrográfica do ribeirão Piracicamirim, Piracicaba - SP” analisa os parâmetros de qualidade de água em amostras bimensais entre outubro de 2016 a julho de 2017, onde foram selecionados 12 pontos ao longo da microbacia visando compreender os diferentes usos do solo.

No capítulo 5 “A gestão dos recursos e o meio ambiente: estudo realizado nas lavanderias industriais” analisa a problemática quanto ao uso da água por parte de gestores de lavanderias industriais em um cenário de escassez desse recurso.

No capítulo 6 “Curvas envoltórias para a estimativa de vazões máximas na bacia do rio Pindaré” apresenta uma contribuição para o entendimento hidrológico regional na bacia hidrográfica do rio homônimo, no estado do Maranhão.

Para o encerramento da presente obra, é apresentado o trabalho intitulado “Vida nova ao velho rio: o financiamento do projeto estratégico meta 2014 dentro da política ambiental do governo de Minas Gerais” onde o objetivo é mostrar a descontinuidade do Projeto Estratégico Meta 2014, bem como evidenciar as consequências desta ação. A Meta 2014 foi um programa do Governo de Minas Gerais direcionado à revitalização do Rio das Velhas.

Assim, a coleção de artigos dessa obra evidencia a diversidade na análise e gestão dos recursos hídricos, consolidando ainda mais essa importante área interdisciplinar do campo científico.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS: EL CASO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL RIO SEGURA (SURESTE D ESPAÑA)	
Ramón García Marín Víctor Ruiz Álvarez Francisco Javier Lozano Parra Daniel Moreno Muñoz Rubén Giménez García	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0772012061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA CIDADE DE FORTALEZA-CE	
Ediu Carlos Lopes Lemos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0772012062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM BALNEÁRIOS PÚBLICOS NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL	
Danielli Cristina Granado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0772012063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
VARIAÇÃO ESPACIAL DA QUALIDADE DE ÁGUA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRACICAMIRIM, PIRACICABA SP	
Elen Blanco Perez Thiago Paes de Almeida Mendes Pablo Eric Toledo Majer Plínio Barbosa de Camargo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0772012064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
A GESTÃO DOS RECURSOS E O MEIO AMBIENTE: ESTUDO REALIZADO NAS LAVANDERIAS INDUSTRIAIS	
Francinildo Carneiro Benicio Antônio Vinícius Oliveira Ferreira Ana Luiza Carvalho Medeiros Ferreira Lennilton Viana Leal Anderson Lopes Nascimento Augusta da Rocha Loures Ferraz Rosilene Gadelha Moraes Joyce Silva Soares de Lima Ednael Macedo Felix Andreza Cristina de Sousa Fernandes Thiago Alberto Viana de Sousa Márcio Henrique Marques da Cunha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0772012065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
CURVAS ENVOLTÓRIAS PARA A ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS NA BACIA DO RIO PINDARÉ	
José Alexandre Pinto Coelho Filho Matheus Fonseca Durães	



Maísa de Lourdes Martins Araújo

DOI 10.22533/at.ed.0772012066

**CAPÍTULO 7 ..... 86**

VIDA NOVA AO VELHO RIO: O FINANCIAMENTO DO PROJETO ESTRATÉGICO META 2014  
DENTRO DA POLÍTICA AMBIENTAL DO GOVERNO DE MINAS GERAIS

Cristina de Souza Domingues Raposo

DOI 10.22533/at.ed.0772012067

**SOBRE O ORGANIZADOR:..... 112**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 113**

## CURVAS ENVOLTÓRIAS PARA A ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS NA BACIA DO RIO PINDARÉ

*Data de aceite: 12/05/2020*

*Data de submissão: 04/03/2020*

### **José Alexandre Pinto Coelho Filho**

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Belo Horizonte – MG

[lattes.cnpq.br/8126442721739341](mailto:lattes.cnpq.br/8126442721739341)

### **Matheus Fonseca Durães**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Curitiba – PR

[lattes.cnpq.br/1590867287779709](mailto:lattes.cnpq.br/1590867287779709)

### **Maísa de Lourdes Martins Araújo**

Consultora Ambiental

Belo Horizonte – MG

[lattes.cnpq.br/4881198580682213](mailto:lattes.cnpq.br/4881198580682213)

**RESUMO:** O cálculo das vazões máximas em bacias hidrográficas apresenta interesse científico e tecnológico, uma vez que permite a elaboração de diretrizes para o projeto e a avaliação de risco de estruturas hidráulicas associadas ao aproveitamento de recursos hídricos. Um dos métodos de sintetizar graficamente os extremos hidrológicos em uma determinada região consiste na elaboração das curvas envoltórias de cheias. As curvas envoltórias são ferramentas hidrológicas

clássicas que sintetizam graficamente o limite superior de inundações extremas de uma região. Este artigo apresenta a elaboração da curva envoltória regional para a bacia do rio Pindaré, localizado no estado do Maranhão, cuja análise de frequência local foi feita a partir da distribuição generalizada de valores extremos – GEV. Os resultados indicaram um desvio médio de 10% entre os quantis de vazão máxima, obtidos pela análise de frequência local, em relação às vazões máximas que compõem a envoltória com tempo de retorno associado por sua interpretação probabilística.

**PALAVRAS-CHAVE:** inundação, análise de frequência, hidrologia, GEV.

### ENVELOPES CURVES FOR MAXIMUM FLOWS IN PINDARÉ RIVER BASIN

**ABSTRACT:** Maximum flows estimation in watersheds has both scientific and technological interest, since it allows the elaboration of guidelines for design and risk assessment of hydraulic structures associated with the use of water resources. One of the methods of graphically synthesizing the hydrological extremes in a given region consists in the elaboration of the flood envelope curves. Envelopes curves are classic hydrological tools

that graphically synthesize the upper boundary of extreme floods in a given region. This study presents the elaboration of the regional envelope curve for the Pindaré river basin, located in the state of Maranhão, whose local frequency analysis was based on the generalized distribution of extreme values - GEV. The results indicated an average deviation of 10% between the maximum flow quantiles, obtained by the local frequency analysis, in relation to the maximum flows that make up the envelope with associated time of return by its probabilistic interpretation.

**KEYWORDS:** Flooding, frequency analysis, hydrology, GEV.

## 1 | INTRODUÇÃO

A estimação de vazões máximas vem sendo objeto de constante interesse científico e tecnológico, motivado pela necessidade de prover diretrizes para o projeto e a avaliação de risco de um grande número de estruturas de aproveitamento de recursos hídricos e de mitigação de cheias, tais como barragens, canais, bacias de retenção, entre outras.

A ideia de que existe um limite físico superior para a produção de tormentas e eventos de cheias extremas em uma bacia hidrográfica, tal como sugere Horton (1936), reforça o conceito de se buscar a síntese dos limites de experiência em cheias extremas através de observações sistemáticas de vazões de enchentes em uma certa região.

Uma das alternativas para determinar esses limites superiores é pela metodologia da enchente máxima provável (EMP), resultante de uma precipitação máxima provável (PMP), a qual foi definida segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1973) como a maior altura de chuva para uma dada duração, cuja ocorrência sobre uma área, em uma certa região geográfica, em uma determinada época do ano, é meteorologicamente possível.

O método da EMP é empregado no Brasil e em outros países como critério de projeto de vertedores de grandes barragens, e preconizada para tal fim por alguns boletins da ICOLD – *International Commission on Large Dams*, contudo, observa-se que anteriormente à proposta do método hidrometeorológico da PMP e de sua transformação em EMP, outros métodos empíricos eram de uso corrente, enquanto os fundamentos da teoria probabilística de valores extremos começavam a ser estabelecidos e aplicados ao estudo de enchentes por Fréchet em 1927, como por exemplo, as curvas envoltórias regionais de cheias.

A curva envoltória é entendida como um meio simples de sintetizar graficamente o regime de extremos hidrométricos em uma dada região geográfica, sendo inclusive utilizado como recomendação para comparar os valores obtidos pela aplicação de uma outra metodologia na estimativa da cheia de projeto, com eventos extremos já

observados (ELETROBRÁS, 1987).

De fato, as curvas envoltórias de cheias têm sido empregadas desde a década de 1920, destacando-se o pioneirismo de Jarvis (1925), Creager et al. (1945), além dos trabalhos de Francou e Rodier (1967), Crippen e Bue (1977), Kadoya (1992) e, mais recentemente os trabalhos de Herschy (2003), Bayazit e Önöz (2004), Castellarin et al. (2005), Castellarin (2007), Castellarim et al. (2009), Guse et al. (2010), Coelho Filho et al. (2011), Ahsan et al. (2016), dentre outros.

Por outro lado, embora sua simplicidade as tornem adequadas à estimação de cheias em locais não-monitorados ou com dados escassos, sua dependência das amostras disponíveis faz com que os limites superiores empíricos não sejam inequívocos e, portanto, passíveis de serem excedidos.

Assim, buscando uma interpretação probabilística à curva envoltória de cheias, Castellarin (2007) estabeleceu uma metodologia para a associação de um tempo de retorno à envoltória e, como extensão, pode-se utilizar essas vazões máximas para o dimensionamento de obras hidráulicas.

Nesse sentido, o presente estudo apresenta a curva envoltória regional elaborada para a bacia hidrográfica do rio Pindaré, no estado do Maranhão e sua interpretação probabilística por meio da associação do tempo de retorno à curva regional, conforme metodologia preconizada por Castellarin (2007), realizando a análise de frequência local pela aplicação da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), com seus parâmetros estimados pelo método dos momentos-L (MML).

Para validar os valores das vazões máximas que compõem a envoltória, com seus respectivos tempos de retorno obtidos pela interpretação probabilística, foram comparados com os quantis de vazões máximas obtidas pela aplicação da análise de frequência local, com emprego da distribuição GEV, e posterior cálculo dos respectivos desvios percentuais. Com efeito, a interpretação probabilística de curvas envoltórias regionais pode ser aplicada para a estimação de vazões máximas em localidades desprovidas de uma eficiente rede de monitoramento hidrométrico, contribuindo para o conhecimento hidrológico local e permitindo o dimensionamento de obras hidráulicas.

Assim, este estudo pretende contribuir para o entendimento hidrológico regional na bacia hidrográfica do rio Pindaré, no Estado do Maranhão, uma vez que não se tem observado muitos estudos dessa natureza nesta região, colaborando para implementar políticas de segurança hídrica por meio da avaliação das estruturas hidráulicas.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A curva envoltória regional foi elaborada para a bacia hidrográfica do rio Pindaré (Figura 1), afluente do rio Mearim no estado do Maranhão, região nordeste do Brasil, com área de drenagem de 40.482 km<sup>2</sup>. Essa bacia abrange os municípios de Alto Alegre do Pindaré, Santa Inês, Pindaré Mirim, e dezenas de povoados, com ocupação diversificada, abrangendo áreas urbanas, rurais e reservas indígenas. A nascente do rio Pindaré está localizada nas proximidades da cidade de Montes Altos e Amarante do Maranhão, na serra do Gurupi, na área indígena denominada Krikati, percorrendo até sua foz no rio Mearimum percurso de 466,3 km.

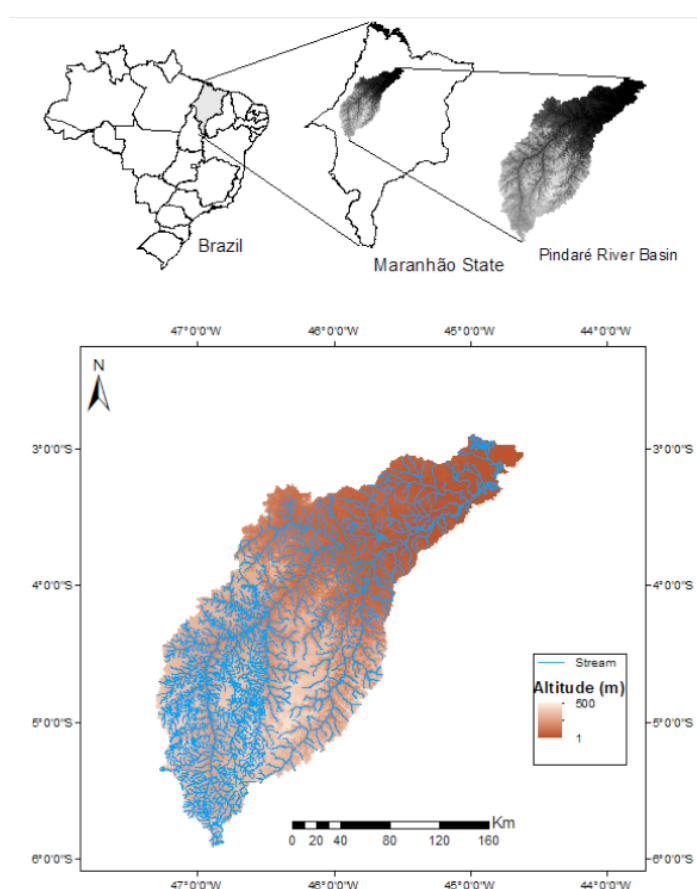


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pindaré.

Para a aplicação da metodologia proposta por Castellarin (2007) é necessário que a região seja hidrológicamente homogênea, ou seja, com características semelhantes do ponto de vista hidrológico, climatológico e geomorfológico. Nesse caso em particular, foi utilizado o estudo conduzido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2002), de regionalização de vazões máximas anuais da Sub-bacia 33, região 1, a qual corresponde à bacia do rio Pindaré, conforme a divisão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Para estimar os valores extremos, a partir da metodologia das curvas envoltórias, foram utilizados dados de 4 estações fluviométricas (Tabela 1 e Figura 2) mediante a análise de suas disponibilidades em relação ao tamanho e continuidade da série histórica, destacando-se as estações Vale do Pindaré (código: 33025000), Ponte BR-222 (código: 33050000), Esperantina (código: 33170000) e Pindaré-Mirim (código: 33190000).

Ponto	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Operação	
						Início	Fim
P1	33025000	-4.6961	-46.9342	140	5480	1979	-
P2	33050000	-4.2989	-46.4944	54	4750	1979	-
P3	33170000	-4.0331	-45.7789	50	5930	1972	-
P4	33190000	-3.66	-45.4669	4	35400	1971	-

Tabela 1. Informações das estações fluviométricas analisadas para estimativa das curvas envoltórias.

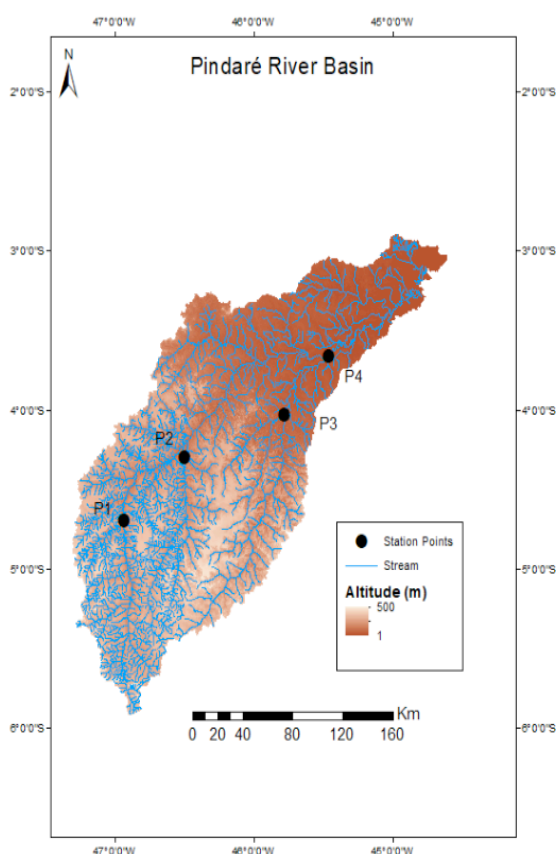


Figura 2. Mapa de localização das estações fluviométricas na bacia do rio Pindaré.

## 2.2 Curvas envoltórias de cheias

Castellarin *et al.* (2005) definem as curvas envoltórias como o sumário gráfico das vazões máximas registradas por unidade de área em diferentes estações fluviométricas de uma bacia hidrográfica *versus* a área de drenagem das respectivas

bacias, em escala bi-logarítmica, onde a envoltória é representada pela linha mais contígua que envolve todos os pontos. De maneira geral, uma curva envoltória de cheias pode ser posta sob a forma:

$$\ln\left(\frac{Q_{\max}}{A}\right) = a + b \ln(A) \quad (1)$$

Na qual  $Q_{\max}$  denota a máxima enchente observada em uma estação fluviométrica de área de drenagem  $A$ ,  $a$  e  $b$  representam coeficientes regionais de regressão estabelecidos com base em diferentes locais de monitoramento ao longo de uma região homogênea, sob a ótica dos mecanismos físicos e climáticos que governam as ocorrências locais de enchentes extremas.

Em sua interpretação probabilística das curvas envoltórias, Castellarin *et al.* (2005) adotaram as seguintes premissas: (i) a região que contém as estações fluviométricas em estudo é considerada homogênea, no sentido das hipóteses inerentes ao método de regionalização da cheia-índice, ou *index-flood*, tal como proposto por Dalrymple (1960); (ii) a relação entre a cheia-índice (ou a cheia-média) local, representada por  $\mu_x$ , e a respectiva área de drenagem  $A$  obedece uma lei de escala dada por:

$$\mu_x = C A^{b+1} \quad (2)$$

Onde  $b$  e  $C$  denotam constantes, sendo  $b$  coincidente com o coeficiente angular da equação (1).

O coeficiente angular da equação 1 pode ser expresso por meio da regressão das cheias-índice, em função de suas respectivas áreas de drenagem. Por outro lado, a estimativa do intercepto  $a$  pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$a = \max_{j=1, \dots, M} \left\{ \ln\left(\frac{Q_j}{A_j}\right) - \hat{b} \ln(A_j) \right\} \quad (3)$$

Onde  $Q_j$  representa a máxima vazão observada no local  $j$ , entre as  $M$  estações fluviométricas da região homogênea, e  $A_j$  representa a respectiva área de drenagem.

### 2.3 Estimação da probabilidade de superação da envoltória

Conforme Castellarin (2007), a estimação da probabilidade de superação da curva envoltória pode ser expressa da seguinte forma:

$$p = 1 - \frac{\hat{n}_{ef} - \eta}{\hat{n}_{ef} + 1 - 2\eta} \quad (4)$$

Onde  $\eta$  representa uma probabilidade empírica, calculada por meio de um parâmetro de posição de plotagem, o qual é dependente da distribuição selecionada, e  $\hat{n}_f$  denota o número efetivo de observações amostrais, resultante da soma dos tamanhos efetivos das amostras de todos os subconjuntos regionais, conforme

apresentado no item seguinte.

## 2.4 Estimação do número efetivo de observações amostrais

Castellarin (2007) propõe um número efetivo de observações amostrais, conforme apresentado pelas equações 5 e 6:

$$n_{ef} = n_1 + \sum_{s=1}^{N_{sub}} \frac{L_s \cdot l_s}{1 + \rho^\beta (L_s - 1)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1,4(L_s \cdot l_s)^{0,176}}{(1 - \rho)^{0,376}} \quad (6)$$

Os termos  $\rho^\beta$  e  $(1-\rho)^{0,376}$  são os valores médios das respectivas funções de coeficiente de correlação  $\rho$  entre as estações  $i$  e  $j$ , com  $1 \leq i < j \leq M$  ( $M$  é o número de estações da região homogênea),  $l_s$  denota o número de vezes em que uma combinação ou anos, ao longo da série hidrológica, que caracterizam a formação de um subconjunto regional composto por  $L_s$  postos de monitoramento.

## 2.5 Modelagem da correlação cruzada entre as estações

Para Castellarin (2007), uma função de correlação mais simples e passível de utilização para a análise da tendência do decaimento gradual do grau de correlação cruzada em função da distância entre as estações utilizadas no estudo é dada por:

$$\rho_{i,j} = \exp(-\lambda d_{ij}) \quad (7)$$

Onde,  $\rho_{i,j}$  indica a correlação entre as estações  $i$  e  $j$ , separadas pela distância  $d_{i,j}$  e  $\lambda$  denota o coeficiente de decaimento exponencial da correlação cruzada para a região em estudo.

## 2.6 Estimação da posição de plotagem

De acordo com Castellarin (2007), a aplicação da distribuição GEV para a estimação da posição de plotagem é a que fornece resultados mais assertivos na interpretação probabilística das curvas envoltórias.

Conforme apresentado por Arnell *et al.* (1986), reportado no trabalho de Castellarin (2007), uma estimativa da posição de plotagem para o cálculo de uma probabilidade empírica  $\eta$  segundo uma distribuição de frequência GEV pode ser aproximada por uma relação linear, tal como descreve a equação 8:



$$\eta(k) \cong \frac{\exp(\gamma)-1}{\exp(\gamma)} - \frac{\pi^2}{12\exp(\gamma)} k \cong 0,439 - 0,462k \quad (8)$$

onde  $\gamma = 0,5772$  representa a constante de Euler e  $k$  é o parâmetro de forma da distribuição GEV.

## 2.7 Análise de desempenho

Uma vez associado o tempo de retorno às vazões máximas das estações pela interpretação probabilística da curva envoltória regional, composta pelas estações fluviométricas pertencentes à região homogênea, pode-se proceder a análise de frequência local para a estimação dos quantis de vazões máximas das respectivas estações consideradas pelo ajuste da distribuição GEV que, de acordo com Vogel e Douglas (2005), é considerado um modelo distributivo usual para descrever o comportamento de eventos extremos.

A formulação matemática da função inversa da função acumulada de probabilidades (FAP) do modelo distributivo GEV é dada por:

$$x(T) = \beta + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^\kappa \right\} \quad (9)$$

Onde  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$  são, pela ordem, os parâmetros de escala, forma e posição, os quais descrevem a distribuição GEV, e  $T$  representa o tempo de retorno (anos).

Para a estimação dos parâmetros da distribuição GEV foi aplicado o método dos momentos-L (MML), conforme proposto por Hosking e Wallis (1997), uma vez que se verifica um crescimento significativo do número de aplicações em análise de frequência de variáveis hidrológicas devido às vantagens potenciais inseridos por esse método de estimação (Davis e Naghettini, 2001).

Em última etapa, foram calculados os desvios percentuais entre os quantis estimados pela análise de frequência local, em relação aos valores das vazões máximas registrados nas estações fluviométricas com o tempo de retorno obtido pela análise probabilística da curva envoltória regional.

## 2.8 Identificação de regiões homogêneas

Versiani e Carneiro (2001) avaliam que dentre todas etapas de uma análise de frequência regional envolvendo postos de observação, a identificação das regiões homogêneas é normalmente a mais difícil, uma vez que requer uma certa subjetividade. Segundo Naghettini e Pinto (2007), as regiões homogêneas são descritas como aquelas em que existem evidências suficientes de que as diferentes

amostras de um grupo possuam a mesma distribuição de frequências.

Assim, as curvas de frequência foram elaboradas para cada estação fluviométrica, com seu sequenciamento consistindo no (i) ordenamento decrescente dos registros de vazões máximas anuais, (ii) na adimensionalização de cada registro de vazão máxima anual ordenada pela média aritmética dos registros de vazões máximas anuais, (iii) estabelecimento do número de ordem das séries de registros máximos de vazões anuais adimensionalizadas, (iv) cálculo da posição de plotagem, (v) por meio da divisão do número de ordem das vazões máximas anuais adimensionalizadas pelo valor obtido pela aplicação da fórmula de posição de plotagem efetua-se o cálculo do tempo de retorno empírico, e (vi) estimando os parâmetros de posição, escala e forma de uma distribuição GEV e, utilizando sua função inversa de distribuição de probabilidade, calcula-se os quantis adimensionais associados aos respectivos tempos de retorno empíricos calculados em (v).

### **3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Definição da região homogênea**

As curvas envoltórias assumem que, dentro de uma mesma região hidroclimática, a vazão máxima para uma bacia hidrográfica é similar à de outra, embora existam diferenças morfológicas e, segundo Orem & Pelletier (2016), essa suposição permite que dados esparsos ou de curta duração ao longo dessas regiões homogêneas sejam incorporados à análise e assim, fornecer informações em um maior intervalo possível.

Contudo, de acordo com Yevjevich (1992), as falhas nas observações que compõem a série histórica podem resultar na possibilidade de grandes incertezas quanto às estimativas de parâmetros estatísticos e, por esse motivo, não foram considerados neste estudo, os dados dos anos que apresentaram meses com mais de 10 falhas de registro de observação para a elaboração das séries de vazões máximas anuais.

O alinhamento das distribuições empíricas adimensionais é um indicador positivo de que a região é homogênea, conforme proposto por CPRM (2002), podendo ser observada na Figura 3.

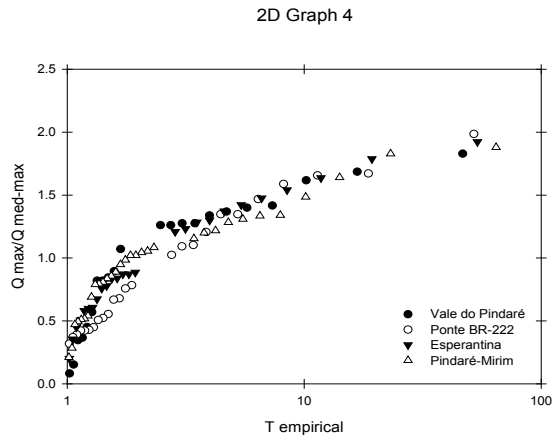


Figura 3: Curva de frequência adimensional para as estações analisadas.

### 3.2 Definição das curvas envoltórias empíricas

Com o valor de  $b$  a ser obtido pelo expoente do ajuste potencial (Figura 4) sobre a lei de escala proposta por Castellarin *et al.* (2005), pode-se calcular o valor do coeficiente linear  $a$  da curva envoltória por meio da aplicação direta da equação 3. Este procedimento é repetido para cada posto de uma região considerada homogênea, e o máximo valor do coeficiente linear  $a$  dentre as estações pertencentes a esta região é utilizado para o cálculo da envoltória.

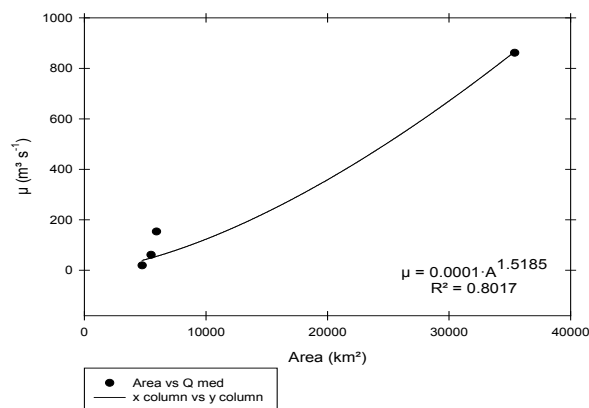


Figura 4: Ajuste potencial sobre a lei de escala para a bacia do Pindaré.

O cálculo da envoltória é realizado pela aplicação da equação 1. Os dados de vazões máximas anuais das séries históricas registradas pelas estações que compõem a região homogênea foram divididos pelas respectivas áreas de drenagem. Em seguida, foram tomados os valores dos logaritmos naturais desses resultados e compilados no eixo das ordenadas do gráfico da curva envoltória (Figura 5), enquanto o eixo das abscissas representa os logaritmos naturais das áreas de drenagem das respectivas estações fluviométricas pertencentes à região homogênea.

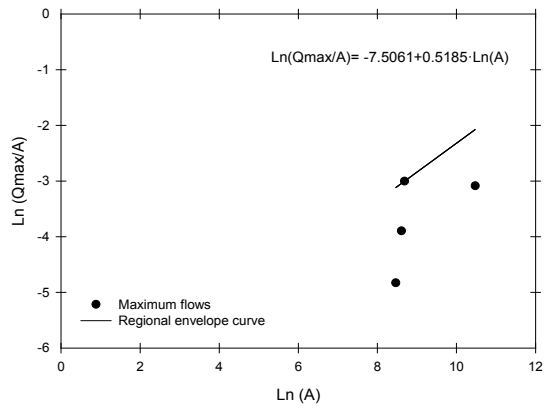


Figura 5: Curva envoltória traçada para a bacia do Pindaré.

### 3.3 Redução da variabilidade espacial dos dados amostrais

Castellarin (2007) ajustou um modelo de correlação cruzada usando as distâncias,  $d_{i,j}$ , entre os centroides das bacias hidrográficas formadas pela área de drenagem controlada pelas respectivas estações fluviométricas (equação 7).

Para simplificar a aplicação, considera-se que a distância refere-se àquela que separa as seções transversais de duas estações fluviométricas, tal como aplicado por Coelho Filho e Naghettini (2011), os quais mostraram que esse procedimento não irá resultar em alterações significativas para a aplicação da metodologia descrita por Castellarin (2007).

A modelagem da correlação cruzada é realizada a partir do cálculo da correlação entre as estações  $i$  e  $j$ , separadas pela distância  $d_{i,j}$ . Foram calculados os coeficientes de correlação para o período em comum de dados de vazões máximas, e combinados com as respectivas distâncias entre as estações. Desta maneira, pode-se construir a representação gráfica das distâncias entre as estações *versus* os valores dos coeficientes de correlação, conforme apresentado na Figura 6. Através de um ajuste exponencial sobre os dados contidos no gráfico, tem-se a calibração do modelo.

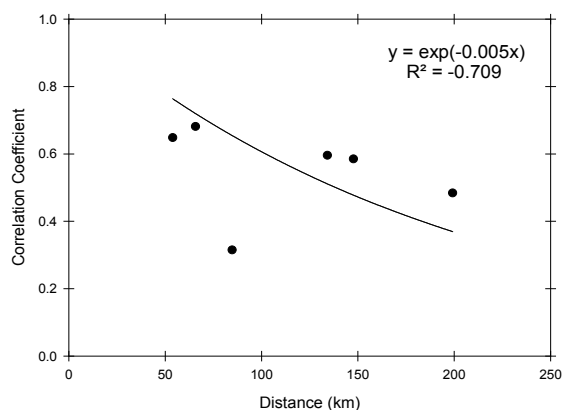


Figura 6: Calibração da equação 7 para a área de estudo.

### 3.4 Cálculo da posição de plotagem da GEV

O cálculo da probabilidade empírica  $\eta$  pode ser efetuado pela aplicação da equação 8, a qual é dependente apenas do parâmetro de forma  $k$  da distribuição GEV. Foi utilizado o método dos momentos-L para a estimativa dos parâmetros de forma locais das estações selecionadas para a região homogênea, tal como realizado por Guse et al. (2010) na Alemanha.

O parâmetro regional ( $k = 0,241$ ) foi obtido pelas médias dos parâmetros locais, ponderadas pelos respectivos comprimentos das séries e, após essa etapa, o cálculo da probabilidade empírica  $\eta$  para a região homogênea pode ser obtida pela aplicação direta da equação 8 ( $\eta = 0,328$ ).

### 3.5 Número efetivo de observações amostrais e associação do tempo de retorno à curva envoltória

Esta etapa consiste no cálculo do número efetivo de observações amostrais a serem efetivamente utilizados no estudo, dentre os registros de observações de vazões máximas anuais presentes nas  $M$  estações fluviométricas tomadas para análise. Assim, são definidos os subconjuntos regionais  $N_{sub}$  e o número de observações únicas  $n_r$ . De acordo com Castellarin (2007), esse procedimento busca a utilização das observações independentes entre as estações de monitoramento, reduzindo a correlação cruzada entre os postos utilizados na análise.

A obtenção do grau de correlação entre os subconjuntos regionais é realizada pela utilização do modelo de correlação cruzada proposto conforme a equação 7. Através da calibração por meio de um ajuste exponencial sobre os dados contidos da Figura 5, obtêm-se o coeficiente de correlação entre as estações que constituem os subconjuntos regionais.

Esse procedimento é repetido para os demais subconjuntos regionais, permitindo o cálculo dos termos  $\overline{(1-\rho)^{0,376}}$  e  $\overline{\rho^\beta}$  das equações 6 e 5, respectivamente, e em seguida efetua-se o cômputo do número de observações efetivas.

Após o cálculo da probabilidade empírica  $\eta$ , e do número efetivo de observações amostrais a serem utilizados no estudo, pode-se aplicar a equação 4 para estimar uma probabilidade de superação  $p$ , cujo inverso denota o tempo de retorno associado à curva envoltória traçada para a região homogênea em análise. A Tabela 1 apresenta o resumo dos relutados obtidos.

Cálculos Efetuados	
Número de estações	4
Número de observações	121
Número de observações únicas ( $n_i$ )	1
Número de observações efetivas ( $n_{ef}$ )	108,149
Coefficiente angular ( $b$ )	0,5185
Coefficiente linear ( $a$ )	-7,5061
Parâmetro do modelo de correlação ( $\lambda$ )	-0,005
Probabilidade empírica ( $\eta$ )	0,328
Subconjuntos amostrais ( $N_{sub}$ )	7
Probabilidade de excedência ( $p$ )	0,00619
Tempo de retorno (anos)	161,55

Tabela 1: Síntese dos resultados obtidos na aplicação da metodologia

### 3.5 Análise de desempenho da metodologia

O cálculo dos quantis de vazão máxima anual para as estações fluviométricas foi realizado pela metodologia de análise de frequência, onde se relacionou a magnitude dos eventos de vazão máxima anual com sua frequência de ocorrência, utilizando-se a função de probabilidades GEV, a qual foi aceita pela aplicação dos testes de aderência realizados (Qui-Quadrado e Anderson-Darling, usando um nível de significância de 5%).

A Figura 7 apresenta os quantis de vazões máximas, obtidos para diversos tempos de retorno, para as estações fluviométricas pertencentes à região homogênea.

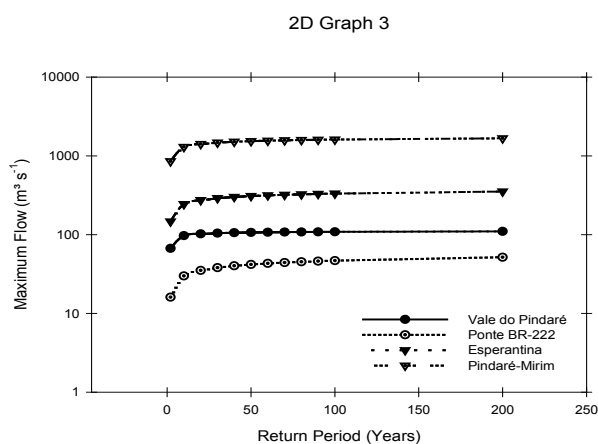


Figura 7: Quantis de vazões máximas associados a diversos tempos de retorno.

Na sequência foi realizada a comparação entre os quantis de vazão com tempo de retorno associado pela interpretação probabilística da curva envoltória, em relação àqueles obtidos pela análise de frequência local. Aos resultados são apresentados na Tabela 2.

Estação	A (km <sup>2</sup> )	$\mu_{\text{amostral}}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\mu_{\text{estimado}}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{\text{max}}$ observada (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{\text{max}}$ estimada AF (m <sup>3</sup> /s)	Desvio %	Operação	
							Início	Fim
33025000	5.480,0	60,90	47,57	111,40	109,80	1,46	1979	-
33050000	4.750,0	19,14	38,29	38,00	50,06	-24,10	1979	-
33170000	5.930,0	153,28	53,63	294,80	347,44	-15,15	1972	-
33190000	35.400,0	861,49	808,47	1620,00	1658,27	-2,31	1971	-

Tabela 2: Comparação dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia da curva envoltória e da análise de frequência local

A Tabela 2 também mostra o comparativo das médias das vazões máximas anuais registradas pelas estações fluviométricas ( $\mu_{\text{amostral}}$ ), em relação à média estimada ( $\mu_{\text{estimado}}$ ) pela aplicação do ajuste potencial sobre a lei de escala proposta por Castellarin (2007).

Para o cálculo dos desvios percentuais entre as vazões obtidas pela análise de frequência local ( $Q_{\text{max estimada AF}}$ ) e as vazões máximas que compõem a envoltória ( $Q_{\text{max observada}}$ ), foi considerado o tempo de retorno obtido pela associação probabilística da curva, correspondente a 161,55 anos, sendo o desvio médio de 10%. A Figura 8 ilustra a proximidade dos valores de vazão da análise de frequência local, considerando o tempo de retorno de 161,55 anos, e dos máximos anuais que compõem a envoltória.

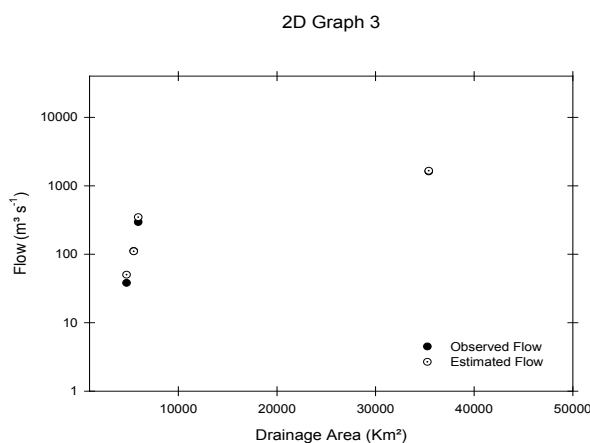


Figura 8: Comparativo das vazões observadas que compõem a envoltória em relação aos quantis obtidos pela análise de frequência considerando o tempo de retorno de 161,55 anos.

## 4 | CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo a interpretação probabilística da curva envoltória regional na bacia hidrográfica do rio Pindaré. A aplicação da metodologia indicou um tempo de retorno de 161,55 anos às vazões que compõem a envoltória. Os quantis de vazões máximas estimados pela aplicação da análise de frequência local, para o tempo de retorno associado à envoltória, foram próximos em relação

às vazões máximas da curva regional.

Um aspecto a ser destacado é a aplicação do método dos momentos-L para a estimativa do parâmetro de forma regional da distribuição GEV. Novos estudos podem ser conduzidos no sentido de se verificar outras metodologias de estimativa do parâmetro de forma, e como esse resultado irá refletir nos resultados da interpretação probabilística da envoltória.

Nesta aplicação, não foi verificada nenhuma tendência de qual metodologia (envoltória ou análise de frequência local) fornece uma estimativa de quantis de vazões máximas com valores sistematicamente maiores ou menores.

É importante mencionar que a presente aplicação não traz a pretensão de prover qual das duas metodologias fornece estimativas mais confiáveis de quantis de vazões máximas. A comparação foi realizada para a verificação da análise de desempenho da metodologia de associação de tempo de retorno à curva envoltória, uma vez que o procedimento de análise de frequência de variáveis hidrológicas, e a aplicação do método dos momentos-L para a estimativa dos parâmetros da distribuição de probabilidades, são consagrados na literatura técnica.

Diante dos resultados apresentados, e dentro dos limites das áreas de drenagem das estações que compõem a curva envoltória regional, os quantis de vazão máxima da curva podem ser utilizados para o dimensionamento de obras hidráulicas, considerando o tempo de retorno de 161,55 anos.

## REFERÊNCIAS

- AHSAN, H.; MABI, G.; BOOTA, M. W.; ABBAS, T. Development of envelope curve for Indus and Jhelum River basin in Pakistan and estimation of upper bound using envelope curve. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, v. 49, n.1, p. 98-109, 2016.
- ARNELL, N. W., M. BERAN, e J. R. M. HOSKING, Unbiased plotting positions for the general extreme value distribution, *Journal of Hydrology*, v. 86, p. 59– 69, 1986.
- BAYAZIT, M.; ÖNÖZ, B. Envelope curves for maximum floods in Turkey. *Teknik Dergi*, v. 15, n. 1, p. 3125-3130, 2004.
- CASTELLARIN, A. Probabilistic envelope curves for design flood estimation at ungauged sites. *Water Resources Research*, 43, 2007.
- CASTELLARIN, A.; MERZ, R.; BLÖSCHL, G. Probabilistic envelope curves for extreme rainfall events. *Journal of Hydrology*, v. 378, p. 263-271, 2009.
- CASTELLARIN, A.; VOGEL, R. M.; MATALAS, N. C. Probabilistic behavior of a regional envelope curve. *Water Resources Research*, 41, W06018, 2005.
- COELHO FILHO, J. A. P.; NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. Curvas Envoltórias Probabilísticas para a Estimação de Cheias de Projeto. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, p. 83-96, 2011.



Fortaleza. Regionalização de vazões da sub-bacia 33, Convênio ANEEL, Relatório-síntese. Fortaleza, 2002.

CREAGER, W. P.; JUSTIN, J. D.; HINDS, J. *Engineering for dams*. New York: John Wiley and Sons, 1945. (General Design, 1).

CRIPPEN, J. R.; BUE, C. D. *Maximum flood flows in the conterminous United States*. Geological Survey Water Supply Paper 1887, US GPO, Washington, 1977.

DALRYMPLE, T., *Flood-frequency analysis, Manual of Hydrology: Part.3. Flood-flow Techniques*, Geological Survey Water Supply Paper 1543-A, U.S. GPO, Washington, D.C., 80p., 1960.

DAVIS, E. G. e NAGHETTINI, M. C. *Estudo de Chuvas Intensas, Projeto Rio de Janeiro*, CPRM, Belo Horizonte, 2001.

DOUGLAS, E.M.; VOGEL, R.M. The probabilistic behavior of floods of record in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2005.

ELETROBRÁS – Centrais Hidrelétricas S.A., Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores, Ministério das Minas e Energia, 1987.

FRANCOU, J.; RODIER, J. A. *Essai de classification des crues maximales observées dans le monde*. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, V. IV (3), Paris, 1967.

FRÉCHET, M. Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Annales de la Société Polonaise de Mathématique*, v.6, p. 93-117, 1927.

GUSE, B.; HOFHERR, T.; MERZ, B. Introducing empirical and probabilistic regional envelope curves into a mixed bounded distribution function. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.14, p. 2465-2478, 2010.

HERSCHY, R. *World catalogue of maximum observed floods*. IAHS Publication 284, 2003.

HORTON, R. E. Hydrologic conditions as affecting the results of the application of methods of frequency analysis to flood records. *U.S. Geological Survey Water-Supply Papers*, n. 771, p. 433-449, 1936.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*. 1ª ed. New York: Cambridge University Press, 1997, 224 p.

JARVIS, C. S. Flood flow characteristics. *Transactions ASCE*, 88, p. 985-1032, 1925.

KADOYA, M. Study on record flood peaks in Japan. *Proceedings of the Japanese Academy*, Series B, v. 68, p. 133-138, 1992.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. 1ª ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

OREM, C. A.; PELLETIER, J. D. Constraining frequency-magnitude-area relationships for rainfall and flood discharges using radar-derived precipitation estimates: example applications in the Upper and Lower Colorado river basins, USA. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20, p.4483-4501, 2016.

VERSIANI, B. R.; CARNEIRO, R. M. F. Identificação de regiões homogêneas na análise regional de precipitações e de vazões máximas na bacia do rio São Francisco, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.6, n. 3, p. 67-80, 2001.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Estimation of probable maximum precipitation*. WMO Report no. 332, Geneva, 1973.

YEVJEVICH, V. *Flood and Society*, in: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Yevjevich, V. (ed.) – *Coping With Floods*, pp. 3 - 9, 1992.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Açude 54, 56, 59, 60, 64

Água 17, 18, 20, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 35, 37, 38, 40, 42, 44, 46, 47, 48, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 85, 92, 93, 94, 99, 103, 106

Ambientes 19, 21, 31, 32

Análise 19, 29, 30, 35, 37, 38, 39, 45, 51, 54, 60, 61, 62, 66, 67, 69, 71, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 96, 107, 110

Aquáticos 31, 32, 35, 50, 92

Avaliação 29, 31, 32, 35, 38, 52, 67, 68, 69, 91, 93

### B

Balneabilidade 37, 38

Balneários 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38

### C

Cabeceira 40, 42

Castanhão 54, 56, 59, 60, 64

Clima 2, 16, 19, 46, 58

Cromatografia 40, 41, 44, 49, 51

### D

Degradação 17, 18, 19, 25, 32, 43, 51, 93, 103, 104

Demanda 1, 7, 10, 16, 40, 44, 49, 50, 58, 60, 90, 92, 108

Demarcación Hidrográfica Del Río Segura 1

Despesas 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 96, 104

### E

Enchente 20, 68, 72

### F

Fortaleza 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 53, 54, 61, 62, 63, 64, 82

Frequência 67, 69, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81

### G

Gestão 2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,

25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112

## H

Hidrobiogeoquímica 41

Hidrologia 29, 67, 82

## I

Inovaciones tecnológicas 1, 4

Inundação 67

Íons 40, 41, 44, 47, 49, 50, 51

## M

Meio Ambiente 19, 26, 37, 38, 39, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 64, 65, 66, 84, 93, 94, 97, 99, 100, 104, 105, 106, 107, 108

Microbacia 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52

Minas Gerais 82, 84, 85, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 108

Mudanças 21, 22, 52, 55, 85, 91

## O

Obras 4, 10, 14, 66, 69, 81, 87, 88

Orçamento 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 102, 106, 107

## P

Parâmetros 29, 40, 41, 44, 46, 51, 52, 58, 69, 74, 75, 78, 81, 108

População 17, 19, 20, 27, 28, 32, 34, 37, 42, 89, 90, 91, 96, 102, 104

Precipitação 68

Protocolos 31, 32, 35, 36, 38

## R

Receitas 32, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 101, 102, 104

Região geográfica 68

Revitalização 84, 92, 96, 103, 108

Rio Paranapanema 34, 59, 60, 84, 85, 92, 93, 96, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 108

## S

Santiago Pontones 1

Sequías 1, 3, 9, 15

Solo 2, 17, 19, 20, 25, 27, 28, 29, 40, 41, 45, 46, 50, 51, 52, 58

Subterrânea 17, 18, 21, 66

## Z

Zona litorânea 18

Zoneamento 19

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**