

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da  
Silva Paniagua  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da  
Silva Paniagua  
(Organizador)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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 Alfnas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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 Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. 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. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
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 – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
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  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
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 Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 3

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-974-5

DOI 10.22533/at.ed.745210804

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.  
CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

O e-book “Base de conhecimento gerado na Engenharia Ambiental e Sanitária 3”, constituído por vinte e oito capítulos de livros que foram organizados e divididos em três grandes áreas temáticas: (i) gestão de resíduos sólidos e líquidos; (ii) uso e impactos ambientais gerados por aterros sanitários e (iii) gestão e qualidade dos recursos hídricos.

Diante disso, inúmeros estudos já concluíram que vários recursos naturais (água, minerais, combustíveis fósseis e seus derivados entre outros) não são renováveis para suprir a necessidade e crescente demanda para manter tanto a atual quanto as futuras gerações, se não houver uma mudança drástica no atual estilo de vida e visão do homem. Neste sentido, a forma se pensar a relação homem/ambiente, surge a necessidade de melhorar a gestão de materiais e práticas de trabalho. Neste contexto, a construção civil e os diferentes seguimentos industriais passaram por uma mudança radical encararam ao criar e aplicar novas práticas e rotinas de trabalho, possibilitando a geração mínima de resíduos e aumentando o seu reaproveitamento em outros setores da sociedade. Neste sentido, a adoção de novas práticas de fabricação e trabalho levou a: (i) redução de custos com aquisição de matérias – primas; (ii) incorporação de resíduos na composição de diversos produtos industrializados; (iii) o reaproveitamento e tratamento de efluentes antes do seu lançamento em corpos aquáticos; (iv) aprimoramento constante do quadro de colaboradores e (v) aquisição de novas tecnologias foram os principais fatores para se atingir este êxito. Entretanto, a falta de um sistema de educação mais efetivo e uma legislação mais restritiva e punitiva para o poluidor ou a fonte de poluição, se constitui em um entrave para a prática de um desenvolvimento mais sustentável.

Diante disso, inúmeros resíduos são gerados e destinados a áreas para receber todo material enviado que será disposto da forma mais adequada – os aterros sanitários. No entanto, a existência destes não significa em eliminar o impacto gerado pelos resíduos, visto que estas áreas possuem um tempo de vida útil e a precarização da infraestrutura faz com que estes espaços sejam vetores de transmissão de doenças e com alto poder de contaminação tanto do solo com de recursos hídricos que estejam próximos. Não obstante a presença de pessoas e animais nestes lugares se caracteriza como um centro de veiculação de inúmeras doenças.

A destinação inadequada de resíduos se constitui no maior responsável por alterar a qualidade dos recursos hídricos contribuindo tanto para a sua não utilização para fins potáveis quanto para a sobrevivência dos diferentes organismos dos diversos ecossistemas existentes no Brasil. Logo, a utilização de tecnologias que promovam o monitoramento e tratamento dos corpos aquáticos é de suma importância para preservar e garantir que estes não venham a faltar em um futuro bem próximo.

Pensando nisso, a editora Atena trabalha com o intuito de estimular e incentivar tanto

a publicação de trabalhos científicos quanto a disponibilidade destes de forma gratuita por intermédio de diferentes plataformas em tempo real e acessível a todos, contribuindo para o desenvolvimento de uma maior consciência ambiental.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **COMPARAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE DUAS OBRAS EM BELÉM, PARÁ, BRASIL**

Yuri Antônio da Silva Rocha  
Bruno Mitsuo Hiura  
Douglas Matheus das Neves Santos  
Paulo Roberto Estumano Beltrão Júnior  
Danúbia Leão de Freitas  
Yan Torres dos Santos Pereira  
Hugo Augusto Silva de Paula  
William de Brito Pantoja  
Juliane da Silva Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.7452108041**

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO PARA RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA NA CIDADE DO RECIFE, PERNAMBUCO**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Vanessa Luana Bezerra Barbosa  
Adriane Mendes Viera Mota  
Maria Clara Pestana Calsa  
Andréa Cristina Baltar Barros

**DOI 10.22533/at.ed.7452108042**

### **CAPÍTULO 3..... 22**

#### **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Mariane Viviurka Fernandes  
Silvano da Silva Coutinho  
Sílvia Carla da Silva André Uehara  
Adriana Aparecida Mendes  
Maiara Veiga Coutinho  
Tatiane Bonametti Veiga

**DOI 10.22533/at.ed.7452108043**

### **CAPÍTULO 4..... 37**

#### **AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO DO SHOPPING MEGA MODA PARK, EM GOIÂNIA-GO**

Rafaella Ferreira Rodrigues Almeida  
Viníciu Fagundes Bárbara  
Rosana Gonçalves Barros

**DOI 10.22533/at.ed.7452108044**

### **CAPÍTULO 5..... 57**

#### **DIAGNÓSTICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA, ESGOTAMENTO SANITÁRIO E DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM TIMON-MA, BRASIL**

George Ventura Alves Neri

Adriana Sotero Martins

Maria José Salles

**DOI 10.22533/at.ed.7452108045**

**CAPÍTULO 6..... 71**

**ESTUDO DE CASO SOBRE A PERCEÇÃO AMBIENTAL DOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO SOBRE O DESCARTE DO ÓLEO DE COZINHA**

Eduardo Antonio Maia Lins

Natália Dias Feijó

Adriane Mendes Vieira Mota

Andréa Cristina Baltar Barros

Maria Clara Pestana Calsa

**DOI 10.22533/at.ed.7452108046**

**CAPÍTULO 7..... 82**

**SUBTRAÇÃO DE VOLUMES EM ATERROS SANITÁRIOS: GESTÃO DE RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES URBANAS**

Barbara Lucia Guimarães Alves

**DOI 10.22533/at.ed.7452108047**

**CAPÍTULO 8..... 94**

**GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO**

Eduardo Antonio Maia Lins

João Victor de Melo Silva

Regina Coeli Lima

Suzana Paula da Silva França

Sérgio Carvalho de Paiva

Raphael Henrique dos Santos Batista

Camilla Borges Lopes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7452108048**

**CAPÍTULO 9..... 103**

**IMPACTOS AMBIENTAIS EM ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE SEBERI-RS**

Tariana Lissak Schüller

Malva Andrea Mancuso

**DOI 10.22533/at.ed.7452108049**

**CAPÍTULO 10..... 115**

**GESTÃO AMBIENTAL CONJUNTA DOS SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS**

Ricardo Pêra Moreira Simões

**DOI 10.22533/at.ed.74521080410**

**CAPÍTULO 11 ..... 127**

**A INTRUSÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS E O INCREMENTO DE VAZÕES EM ETE'S**

Diogo Botelho Correa de Oliveira

Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda

Camila Barrêto Rique de Barros

Lorena Clemente de Melo  
Willames de Albuquerque Soares  
**DOI 10.22533/at.ed.74521080411**

**CAPÍTULO 12..... 136**

**POTENCIALIDADES NO USO DA ÁGUA DO AQÜÍFERO GUARANI**

Gilmar Antônio da Rosa  
Priscila Mara Knoblauch

**DOI 10.22533/at.ed.74521080412**

**CAPÍTULO 13..... 153**

**CONFLITOS TERRITORIAIS EM BACIAS URBANAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO NA FRONTEIRA BRASIL/COLÔMBIA E PERU**

Ercivan Gomes de Oliveira  
Adorea Rebello da Cunha Albuquerque  
Manoel Góes dos Santos  
Jefferson Rodrigues de Quadros

**DOI 10.22533/at.ed.74521080413**

**CAPÍTULO 14..... 160**

**DESAFIOS DO NOVO MARCO LEGAL DO SETOR DE SANEAMENTO**

Hugo Sergio de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.74521080414**

**CAPÍTULO 15..... 169**

**BIOPROSPECÇÃO DE RIZOBACTERIAS DE CAFÉ CONILON**

Joyce Rayra Pereira Leite  
Wanderson Alves Ferreira  
Sabrina Spalenza de Jesus  
Elson Barbosa da Silva Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.74521080415**

**CAPÍTULO 16..... 185**

**COMPARAÇÃO ENTRE A ANTIGA E A NOVA CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA DOS AGROTÓXICOS UTILIZADOS NA CULTURA DA MAÇÃ NO MUNICÍPIO DE VACARIA/RS**

Nilva Lúcia Rech Stedile  
Cassiano da Costa Fioreze  
Fernanda Meire Cioato  
Tatiane Rech

**DOI 10.22533/at.ed.74521080416**

**CAPÍTULO 17..... 204**

**AVALIAÇÃO DE RISCO RELATIVO DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA DE FONTES DE ABASTECIMENTO INDIVIDUAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA LOCALIZADAS NO BAIRRO GURIRI, SÃO MATEUS-ES**

Tamires Lima da Silva  
Fernando Soares de Oliveira



Talita Aparecida Pletsch  
Daniela Teixeira Ribeiro  
Yuri Graciano Bissaro Romualdo  
Abrahão Welson de Souza  
Bruna Bonomo Cosme

**DOI 10.22533/at.ed.74521080417**

**CAPÍTULO 18.....215**

**PROGRAMA UM MILHÃO DE CISTERNAS [P1MC]: ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE INFORMANTES-CHAVE**

Juliana Elisa Silva Santos  
Patrícia Campos Borja

**DOI 10.22533/at.ed.74521080418**

**CAPÍTULO 19.....229**

**AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE SANEAMENTO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS TRIBUTÁRIOS DO SISTEMA LAGUNAR DE MARICÁ, RJ**

Luane Marques Toledo  
Fernanda Carvalho Moreno Wall  
Marcelo Obraczka  
André Luís de Sá Salomão

**DOI 10.22533/at.ed.74521080419**

**CAPÍTULO 20.....244**

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA DO BALNEÁRIO VENEZA EM CAXIAS – MA**

Manoel Vyctor Rocha da Silva  
Deuzuita dos Santos Freitas Viana

**DOI 10.22533/at.ed.74521080420**

**CAPÍTULO 21.....253**

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE ESGOTO EM REDES COLETORAS ASSENTADAS EM DECLIVIDADES DRÁSTICAMENTE REDUZIDAS USANDO AS EQUAÇÕES DE SAINT-VENANT E DE BOUSSINESQ**

Wolney Castilho Alves  
Luciano Zanella

**DOI 10.22533/at.ed.74521080421**

**CAPÍTULO 22.....268**

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA DO MONTE ALEGRE, SÃO PAULO**

Fernanda Marques dos Santos  
Camila Gallassi  
Juliana Noronha Primitz  
Vinicius Rainer Boniolo  
Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

**DOI 10.22533/at.ed.74521080422**

**CAPÍTULO 23.....274**

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DOS MODELOS GR4J, GR5J E GR6J NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO JOÃO, MINAS GERAIS**

Wallace Maciel Pacheco Neto  
Fabianna Resende Vieira  
Cristiano Christofaro Matosinhos

**DOI 10.22533/at.ed.74521080423**

**CAPÍTULO 24.....289**

**USO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA A PLANIFICAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO SANITÁRIO COM WETLAND CONSTRUÍDO EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Lessandro Morini Trindade

**DOI 10.22533/at.ed.74521080424**

**CAPÍTULO 25.....302**

**SIBOOST – A INOVAÇÃO NA METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM FOCO NA REGULARIDADE DOS EQUIPAMENTOS PRESSURIZADORES DURANTE AS SINGULARIDADES DAS CRISES HÍDRICAS E ENERGÉTICAS – CASE CARMELO BARONI UNIDADE DE NEGÓCIOS SUL – SABESP**

Kleber dos Santos  
Ricardo Barros Cunha  
Marco Antônio de Oliveira  
Rogério de Castro Peres  
Anderson Cleiton Barbosa  
Vagner Motta

**DOI 10.22533/at.ed.74521080425**

**CAPÍTULO 26.....319**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE UM TELHADO VERDE SUBMETIDO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Camila Barrêto Rique de Barros  
Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda  
Diogo Botelho Correa de Oliveira  
Ariela Rocha Cavalcanti  
Willames de Albuquerque Soares

**DOI 10.22533/at.ed.74521080426**

**CAPÍTULO 27.....330**

**REMOÇÃO DE ÁCIDOS HÚMICOS NA FILTRAÇÃO LENTA COM PRÉ-OXIDAÇÃO COM RADIAÇÃO SOLAR**

Carlos Henrique Rossi  
Edson Pereira Tangerino  
Tsunao Matsumoto  
Anielle Ferreira de Jesus Pardo

**DOI 10.22533/at.ed.74521080427**

<b>CAPÍTULO 28.....</b>	<b>342</b>
<b>PHOTODEGRADATION OF WATER POLLUTANTS WITH TIO<sub>2</sub> CATALYSTS ACTIVATED WITH VISIBLE LIGHT AND UV LIGHT</b>	
Maricela Villicaña Mendez	
Luisa Verónica Piña Morales	
Ma. Guadalupe Garnica Romo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74521080428</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>352</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>353</b>

## AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DOS MODELOS GR4J, GR5J E GR6J NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO JOÃO, MINAS GERAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 04/03/2021

### Wallace Maciel Pacheco Neto

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)  
Diamantina-MG, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7964225405130260>

### Fabianna Resende Vieira

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)  
Diamantina-MG, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9676285021894184>

### Cristiano Christofaro Matosinhos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)  
Diamantina-MG, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1920874373761507>

**RESUMO:** As bacias hidrográficas constituem a principal escala de estudos envolvendo recursos naturais, especialmente quando há interesses em aspectos relacionados à qualidade e/ou disponibilidade de água. Os modelos hidrológicos são ferramentas importantes no gerenciamento dos recursos hídricos e o estudo hidrológico de bacias hidrográficas, visto que, esses modelos avaliam, simulam e preveem os danos causados por eventos de precipitação levando a um melhor entendimento dos fenômenos hidrológicos que ocorrem nessas bacias, auxiliando no planejamento, manejo e tomada de decisões relacionadas aos recursos

naturais. Dessa maneira, os objetivos deste trabalho consistem, primeiramente, em testar o desempenho do modelo GR4J do fluxo de chuva na bacia hidrográfica Ribeirão São João e, em segundo lugar, comparar o resultado do GR4J com os modelos GR5J e GR6J. Os resultados obtidos mostram o modelo GR4J apresentou melhor desempenho em relação aos modelos GR5J e GR6J. Porém, a partir da análise dos hidrogramas e dos valores de NSE e KGE gerados, os modelos GR4J e GR5J se mostraram eficazes na modelagem de bacias de baixo fluxo, como é o caso da bacia do Ribeirão São João.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacias hidrográficas; Modelos hidrológicos; GR4J; GR5J; GR6J; Recursos Hídricos.

### PERFORMANCE ASSESSMENT OF GR4J, GR5J AND GR6J MODELS IN THE RIBEIRÃO SÃO JOÃO HYDROGRAPHIC BASIN, MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The hydrographic basins constitute the main scale of studies involving natural resources, especially when there are interests in aspects related to the quality and / or availability of water. Hydrological models are important tools in the management of water resources and the hydrological study of hydrographic basins, since, these models evaluate, simulate and predict the damage caused by precipitation events leading to a better understanding of the hydrological phenomena that occur in these basins, helping in planning, management and decision-making related to natural resources. Thus, the objectives of this work are, first, to test the performance of

the GR4J model of rain flow in the Ribeirão São João hydrographic basin and, secondly, to compare the GR4J result with the GR5J and GR6J models. The results obtained show that the GR4J model showed better performance compared to the GR5J and GR6J models. However, from the analysis of the hydrograms and the NSE and KGE values generated, the GR4J and GR5J models proved to be effective in modeling low flow basins, as is the case of the Ribeirão São João basin.

**KEYWORDS:** Watersheds; Hydrological models; GR4J; GR5J; GR6J; Water resources.

## INTRODUÇÃO

O entendimento completo de todos os processos hidrológicos envolvidos em suas escalas espaciais e temporais é necessário para o gerenciamento e avaliação dos recursos hídricos dentro das bacias hidrográficas (Koffi & Bernier *et al.*, 2007). Os estudos hidrológicos em bacias hidrográficas permitem compreender o funcionamento do balanço hídrico, movimento das águas e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (Whitehead *et al.*, 1993, Castilho, 2005).

Contudo, a compreensão da dinâmica dos recursos hídricos apresenta alta complexidade devido a diversos fenômenos que podem alterar sua dinâmica. Estiagens, inundações, produção e transporte de sedimentos são exemplos de dificuldades que podem influenciar na compreensão do funcionamento do ciclo hidrológico em estudos ambientais (Andrade *et al.*, 2013).

Diante dessas complexidades modelos hidrológicos numéricos vêm se mostrando uma poderosa ferramenta de análise ambiental, segundo Viola *et al.* (2012) estes modelos podem ser aplicado à previsão de vazões, avaliação de cenários climáticos, de uso do solo, estudos de disponibilidade hídrica, preenchimento de falhas em séries de dados (Silans *et al.*, 2000), entre outros. Diversos modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e utilizados em várias partes do mundo, como o SWAT (Stackelberg *et al.*, 2007), SMAP (Saraiva *et al.*, 2011), NRM3 (Notter *et al.*, 2007), annAGNPS (Yuan *et al.*, 2011), AGNPS (Licciardello *et al.*, 2007) dentre outros. Esses modelos diferem entre si principalmente em relação à quantidade e qualidade dos dados de entrada, bem como à distribuição espacial dessas variáveis (Zhou & Wang, 2008). Os modelos de precipitação pluviométrica permitem aos usuários prever o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica a partir da quantidade de precipitação recebida por essa bacia hidrográfica (Donnelly-Makowecki & Moore, 1999). Assim, uma vez que escoamento superficial tem íntima relação com a topografia/geomorfologia, uso e ocupação, solo, vegetação e mudanças climáticas que atuam sobre a bacia hidrográfica os efeitos dessas variáveis sobre a produção de água das bacias podem ser avaliados a partir desses modelos (Ziu *et al.*, 2002).

A partir da calibração e validação dos parâmetros dos modelos é possível chegar a resultados satisfatórios da relação entre a chuva e a vazão nas bacias hidrográficas. Contudo, a complexidade dos modelos é um fator importante a ser considerado nos

estudos hidrológicos. Um número excessivo de parâmetros e de dados de entrada, bem com a exigência de uma discretização espacial detalhada pode invalidar a utilização desses modelos.

Os modelos hidrológicos GR (Génie Rural) são construídos para simulação da vazão em diversas escalas temporais, utilizando como entrada séries temporais de vazão, precipitação, evapotranspiração e temperatura (Coron *et al.*, 2016). Os modelos (GR) de chuva-vazão incluem os modelos diários GR4J (Perrin *et al.*, 2003), GR5J (Le Moine, 2008) e GR6J (Pushpalatha *et al.*, 2011), apresentando baixa complexidade e desempenho considerado satisfatório em algumas situações (Perrin *et al.*, 2003; Le Moine, 2008; Pushpalatha *et al.*, 2011). Segundo Coron *et al.*, (2016) estes modelos concentrados utilizam de quatro a seis parâmetros calibráveis, sendo aplicáveis a diversas escalas de tempo e para a avaliação da estimativa do balanço hídrico, previsão e simulação de impactos no ciclo hidrológico, dentre outras aplicações.

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho de três modelos diários chuva-vazão (GR4J, GR5J e GR6J), identificando os principais parâmetros relacionados à geração da vazão na bacia do Ribeirão São João no Estado de Minas Gerais, Brasil.

## ÁREA E DADOS DO ESTUDO

A bacia do Ribeirão São João está inserida na bacia hidrográfica do Rio Araçuaí, localizada entre a latitude  $-16,69^\circ$  e a longitude  $-41.50^\circ$  (figura 3). Sua nascente está localizada no município de Padra Paraíso-MG e, além disso, percorre os municípios de Itamarandiba e Carbonita, totalizando uma área de, aproximadamente, 308 km<sup>2</sup>, o que representam cerca de 2,0% da área da bacia do rio Araçuaí (IGAM, 2010).

O ribeirão São João torna-se importante por ser, juntamente com o córrego Santo Antônio (afluente do rio Araçuaí), um dos mananciais de abastecimento público de água da sede municipal de Itamarandiba. Além disso, os usos preponderantes das suas águas são para consumo humano, contato primário e irrigação de pequenas culturas (IGAM, 2010).

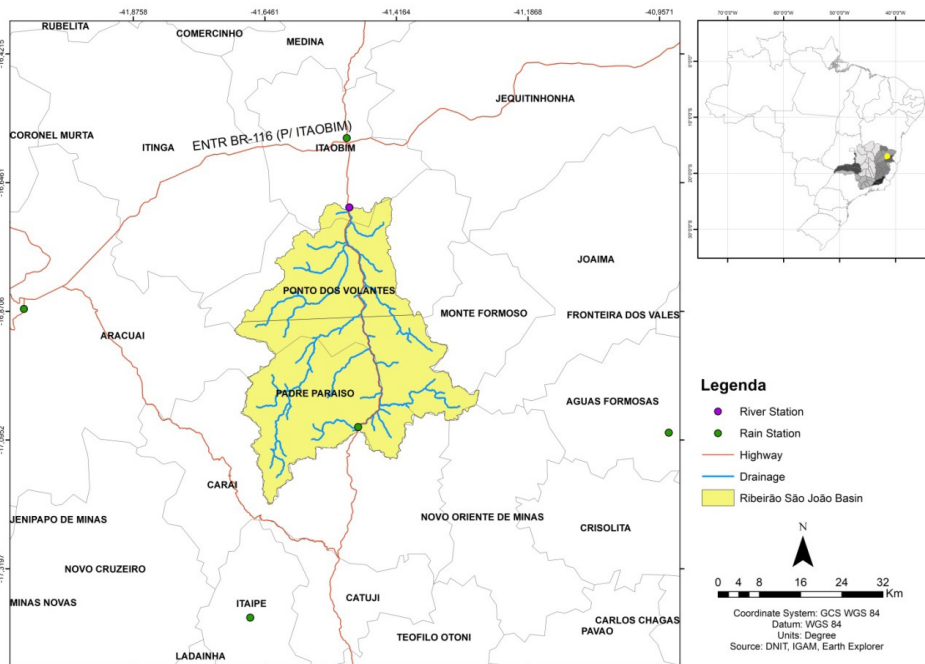


Figura 1: Localização da área de estudo.

A região apresenta clima tropical de altitude, com seis meses secos (de abril a setembro). A precipitação máxima ocorre durante os meses de novembro, dezembro e janeiro. A temperatura média anual é de 25°C com índice pluviométrico médio de 1.300 mm anuais. As médias das temperaturas, mínima e máxima, acompanham a evolução da temperatura média ao longo do ano. O cerrado representa o principal tipo de vegetação. A paisagem predominante de relevo é a montanhosa (40%), com as feições planas (30%) e onduladas (30%) em menor proporção (CPRM, 2005).

As principais rochas presentes na área de estudo correspondem às rochas do Grupo Macaúbas, sendo a Formação Ribeirão da Folha a maior representante deste grupo na região (CPRM, 2005). Suas litologias correspondem a xistos, grauvacas, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas (BIF's) e Metaconglomerados. Além da presença de depósitos aluvionares representados por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, localmente com níveis de cascalho. Os solos predominantes na área de estudo são os Latossolos, representados pelos solos mais evoluídos e presente nos fundos dos vales e encostas baixas da região e os Argissolos estando associados às regiões mais altas da área de estudo (IGAM, 2010).



## MÉTODOS

O modelo GR4J é um modelo chuva-vazão diário de quatro parâmetros, que pertence à família dos modelos de contabilidade de umidade do solo (Perrin *et al.* 2003). Como muitos outros modelos conceituais, sua estrutura consiste de componentes genéricos representando a bacia dinâmica a partir de uma perspectiva funcional (Fencia *et al.* 2011) (Fig. 1): (a) um elemento reservatório para armazenamento do solo e liberação de água com capacidade máxima definida pelo parâmetro X1 (mm); (b) um elemento de função de atraso, incluindo um operador de convolução definido através do parâmetro X4 (dias) e um repositório de roteamento com capacidade máxima definida pelo parâmetro X3 (mm), para transmissão e atrasos de fluxos; e (c) junção elementos para mesclar ou dividir fluxos. Além do que, além do mais, a estrutura do modelo GR4J inclui um termo de ganho / perda em o balanço hídrico modelado, que pode ser assimilado a um termo de troca de água subterrânea, proporcional ao parâmetro X2 (mm).

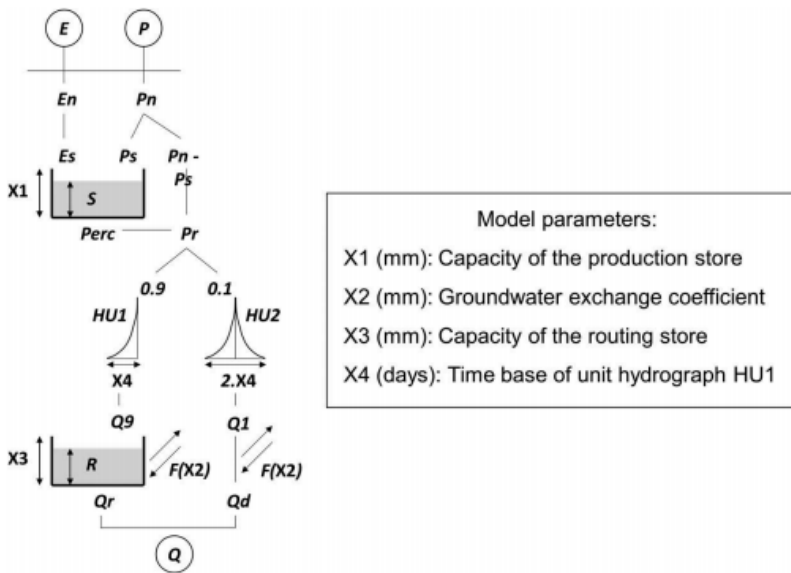


Figura 2: Diagrama simplificado do modelo chuva-vazão GR4J.

Fonte: Modificado de Perrin et al. (2003).

Os modelos GR5J e GR6J também são modelos chuva-vazão diários, que apresentam cinco e seis parâmetros, respectivamente. O modelo GR5J, além dos quatro parâmetros que compõe o modelo GR4J, apresenta o parâmetro X5 que constitui o limite de trocas na bacia. Já o modelo GR6J, além dos cinco parâmetros que compõe o modelo GR5J, apresenta o parâmetro X6 (mm), que representa o coeficiente de esvaziar o

armazenamento exponencial (Coron, et al., 2019).

O processo de aplicação dos modelos incluiu o levantamento dos dados de entrada e a simulação propriamente dita, sendo subdividida em calibração e validação.

## Dados de Entrada

A delimitação da bacia foi realizada a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Farr *et al.* 2007), com resolução espacial de 30 metros, (USGS, 2019), processadas no programa QGIS (2.18.13).

Os modelos GR4J, GR5J e GR6J exigem como dados de entrada: séries de temperatura e precipitação, série temporal de vazão, tamanho e latitude da bacia, e, curva hipsométrica (somente em casos de existência de neve na bacia).

Os dados de evapotranspiração foram calculados com base na equação de Priestley-Taylor (1972), utilizando como dados de referência diária a temperatura máxima e mínima (INMET, 2018), além de latitude e altitude da área de estudo, pelo uso do pacote EcoHydRology (Fuka *et al.* 2018). As descrições das estações de temperatura, pluviométricas e fluviométrica utilizadas estão apresentadas na tabela 1. A pluviosidade média da bacia foi determinada a partir do peso das estações 67% e 33%, calculado a partir do polígono de Thiessen.

	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Mínima	Máxima	Média	Número de NAs
Estação Fluviométrica	54590000	-16.6894°	-41.4986°	400 Metros	0.005	8.894	0.272	4780
Estação Pluviométrica	1741013	-17.0728°	-41.4831°	480 Metros	0.000	90.450	2.474	5559
	1641007	-16.6894°	-41.4986°	400 Metros				
Estação de Temperatura	83442	-16.8389°	-42.0609°	289 Metros	6.50 °C	42.60 °C	24.80 °C	18595

Tabela 1: Características das estações fluviométrica, pluviométrica e de temperatura utilizadas no estudo dada bacia do Ribeirão São João no período de 1998 a 2013.

Os dados faltantes foram preenchidos pelo método de múltipla imputação, por meio do pacote “mice” (Buuren *et al.* 2011) do programa R (R Core Team, 2019).

## Simulação

A simulação do modelo foi dividida em: calibração e validação.

A calibração foi baseada no método *Calibration\_Michel*, é um algoritmo de calibração que otimiza o critério de erro selecionado como função objetivo (Michel, 1991). Para a calibração, foi considerado o período entre 01/01/1998 a 31/12/2008, sendo utilizados os coeficientes de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash-Sutcliffe, 1970) e de Kling-Gupta

(KGE) (Grupta *et al.* 2009) como função objetivo.

O Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash-Sutcliffe, 1970) é a estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual (ruído), comparada com a variância dos dados observados, e é calculado como:

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Y_{obs,i} - Y_{model})^2}{\sum (Y_{obs,i} - \bar{Y}_{obs})^2}$$

O NSE descreve a quantidade de variância entre os valores observados ao longo do tempo de simulação. O NSE varia entre  $-\infty$  e 1,0, onde o valor 1 indica o ajuste perfeito. Valores entre 0 e 1 são geralmente visto como níveis aceitáveis, sendo a classificação de desempenho para Moriasi *et al.* (2007), muito boa quando o NSE está entre 0,75 e 1; boa quando o NSE está entre 0,65 e 0,75; satisfatória quando o NSE está entre 0,50 e 0,65 e, insatisfatória quando o NSE é menor ou igual a 0,50.

O Coeficiente de Eficiência de Kling-Gupta (KGE) foi desenvolvido por Grupta *et al.* (2009), para fornecer uma decomposição da eficiência Nash-Sutcliffe, o que facilita a análise da importância relativa de seus diferentes componentes no contexto da modelagem hidrológica, e é calculado pela fórmula:

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$$

Em que,  $r$  = coeficiente de correlação linear entre  $Q$  [simulado] e  $Q$  [observado], e  $\alpha = \sigma[\text{sim}] / \sigma[\text{obs}]$ ,  $\beta = \mu[\text{sim}] / \mu[\text{obs}]$ . O KGE varia entre -1 e +1, sendo que, quanto mais próximo de 1 melhor, indicando o ajuste perfeito para o modelo.

A validação do modelo foi feita considerando os melhores resultados dos parâmetros obtidos na calibração. Foram considerados três períodos de validação, sendo o primeiro de 01/01/2009 a 01/08/2018, o segundo de 01/01/2009 a 01/08/2013, e 01/01/2016 a 01/08/2018.

Os resultados dos modelos GR4J, GR5J e GR6J, foram comparados entre si, a fim de verificar quais deles apresentaram melhor desempenho na bacia. As simulações foram realizadas no pacote “airGr” (Coron *et al.*, 2019) do programa R (R Core Team, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Calibração

Os resultados da simulação no período de calibração (01/01/1998 a 31/12/2008) para os modelos GR4J, GR5J e GR6J são apresentados na figura 4.

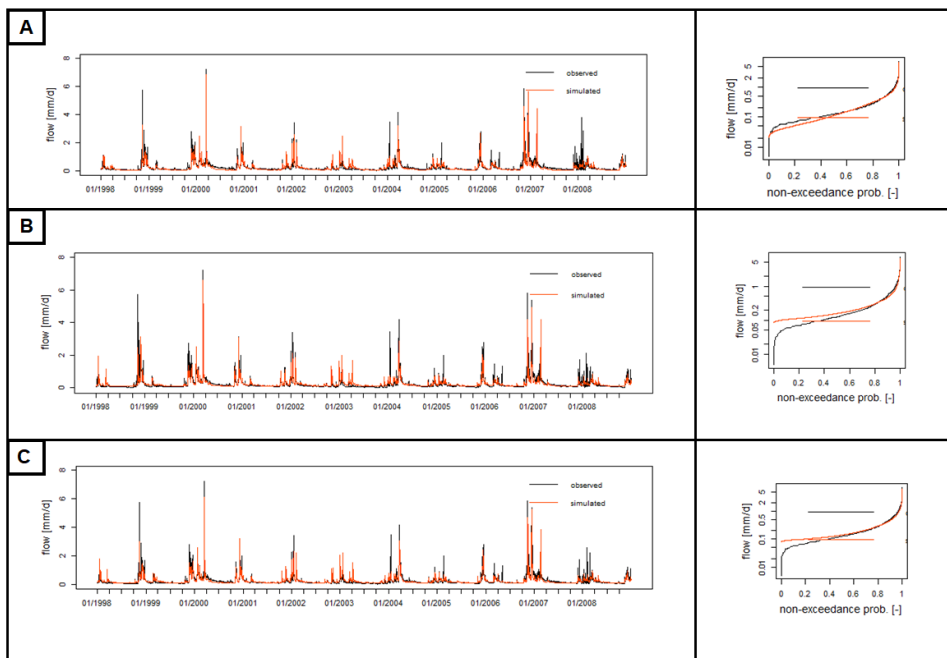


Figura 3: Vazão simulada versus observada na simulação da relação chuva-vazão pelos modelos GR4J (A), GR5J (B) e GR6J (C) na bacia do Rio São João, no período de calibração, de 01/01/1998 - 31/12/2008.

Os modelos representaram satisfatoriamente a variação sazonal marcante das vazões na região de estudo, ao longo dos anos (Figura 3). No hidrograma do modelo GR4J (Figura 3A), constata-se uma tendência de superestimação da vazão pelo modelo no período de 01/2005 a 01/2007, enquanto para o período de 01/1999 a 01/2004, a vazão simulada apresentou tendência de subestimação, o que pode estar associado a alguma alteração climática local, ou com os erros na vazão modelada (Figura 4A) onde no primeiro período citado (próximo a 01/2007) pode ser observado no gráfico um grande erro positivo na vazão simulada, já no segundo período (01/1999 a 01/2005) os maiores erros na vazão simulada apresentam tendência negativa. Blöschl e Montanari (2010) argumentaram que mudanças nas condições climáticas têm efeitos diferentes no clima e na hidrologia, dependendo de características locais como topografia, geomorfologia e solos da bacia hidrográfica.

No hidrograma do modelo GR5J (Figura 3B) e GR6J (Figura 3C) constata-se que a calibração não conseguiu simular bem as vazões para esse modelo, visto que, de modo geral, a vazão observada superestima a simulada, com exceção do período 01/2003, que a vazão observada é subestimada em relação à simulada, este comportamento pode ser explicado a partir dos erros positivos na vazão simulada neste período e podem ser observados na Figura 4. Este comportamento de superestimação da vazão simulada sobre

a observada também ocorre no modelo GR4J.

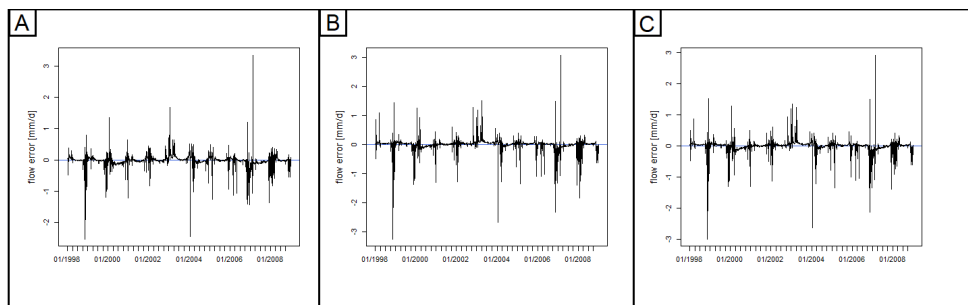


Figura 4: Distribuição temporal dos erros da vazão modelada no período de calibração nos modelos GR4J (A), GR5J (B) e GR6J (C).

As curvas de probabilidade de não excedência de vazão modelada apresentou maior similaridade com os maiores valores de vazão nos três modelos (Figura 3A, 3B e 3C), este padrão ilustra uma relação linear mais forte para as maiores vazões. Em situações de baixo fluxo o modelo GR4J subestimou as vazões simuladas nestes gráficos (Figura 3A), já os modelos GR5J e GR6J superestimaram as vazões simuladas (Figura 3B e 3C).

Os valores de NSE obtidos nos modelos GR4J, GR5J e GR6J foram de 0,7521, 0,7337 e 0,7527, respectivamente, de acordo com a classificação de desempenho elaborada por Moriasi et al. (2006) os valores gerados no modelo GR4J e GR6J obtiveram um resultado muito bom e para o modelo GR5J um resultado bom. Os valores de KGE obtidos nos modelos GR4J, GR5J e GR6J foram de 0,8226, 0,7882 e 0,8150, respectivamente, os valores encontrados apresentaram resultado de bom a ótimo, os quais se aproximaram de 1,0, sendo este o melhor ajuste possível, conforme Grupta et al. (2009).

	GR4J	GR5J	GR6J
NSE	0,7521	0,7337	0,7527
KGE	0,8226	0,7882	0,8150

Tabela 2: Valores de NSE e KGE gerados na calibração dos três modelos.

## Validação

Os resultados da simulação no período de validação (01/01/2009 a 01/08/2013) para os modelos GR4J, GR5J e GR6J são apresentados na figura 5.

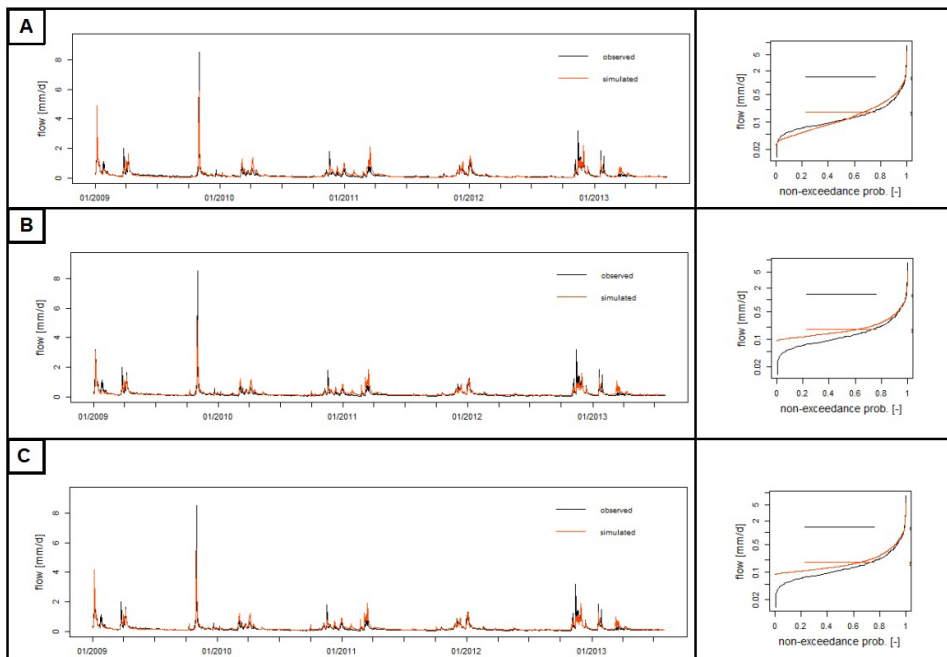


Figura 5: Vazão simulada versus observada na validação da relação chuva-vazão pelos modelos GR4J (A), GR5J (B) e GR6J (C) na bacia do Rio São João, no período de calibração, de 01/01/2009 - 01/08/2013.

No hidrograma da Figura 5, para o modelo GR4J (A), observa-se que o período de validação de 01/01/2009 a 01/08/2013 apresentou bons resultados, para esse modelo ao analisar o comportamento das linhas de vazões simuladas e observadas, com exceção dos períodos 10/2009 e 11/2012, onde o modelo não conseguiu simular as altas vazões observadas. Além disso, o gráfico de probabilidade de não excedência de vazão obteve curvas de simulação e observação similares.

Para o modelo GR5J (B) e GR6J (C), observa-se que no geral o modelo não conseguiu simular bem as vazões de alto fluxo, pois em alguns períodos do gráfico, que compara o fluxo observado com o simulado, os valores de vazão simulada subestimaram os valores de vazão observada, este comportamento ocorre nos períodos de 10/2009 e 11/2012. Tal comportamento, em vazões de alto fluxo, também foi observado pelos autores Pushpalatha (2013) e Cherki (2018). Enquanto as curva de probabilidade de não excedência da vazão modelada apresentou um ajuste pouco relevante em relação à vazão observada, principalmente em ocasiões de baixo fluxo.

No gráfico de erro da Figura 6, pode-se observar o erro negativo de vazão, que ocorre no período 10/2009, para os modelos GR4J (A), GR5J (B) e GR6J(C), sendo comprovado pela não simulação das altas vazões observadas para a validação. Este erro também ocorre para o período 11/2012, como já citado acima. Além disso, observou-se

que o erro positivo de fluxo simulado ocorre somente para os modelos GR4J e GR6J, no período de 01/2009, sendo comprovado pelos hidrogramas da Figura 5 (A) e (C), visto que, esses apresentaram vazões simuladas superestimadas.

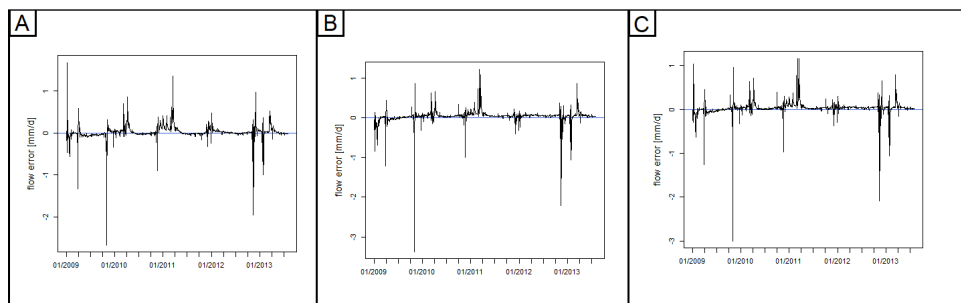


Figura 6: Distribuição temporal dos erros da vazão modelada no período de validação nos modelos GR4J (A), GR5J (B) e GR6J (C).

Os valores de NSE obtidos nos modelos GR4J, GR5J e GR6J foram de 0,7844, 0,7730 e 0,7898, respectivamente, de acordo com a classificação de desempenho elaborada por Moriasi *et al.* (2006) os valores gerados para todos esses modelos obtiveram um resultado muito bom. Enquanto os valores de KGE obtidos nos modelos GR4J, GR5J e GR6J foram de 0,8249, 0,6933 e 0,7649, respectivamente, indicando que os valores encontrados apresentaram resultado de bom a ótimo, visto que, se aproximaram de 1,0, sendo este o melhor ajuste possível, conforme Grupta *et al.* (2009). De acordo com os resultados obtidos, o modelo GR6J apresentou maior eficiência quando comparado ao GR5J, visto que, esse modelo simula os fluxos com menor perda de eficiência em situações altos fluxos. Esse fato também é observado por Pushpalatha (2013).

	GR4J	GR5J	GR6J
NSE	0,7844	0,7730	0,7898
KGE	0,8249	0,6933	0,7649

Tabela 3: Valores de NSE e KGE gerados na validação dos três modelos.

## CONCLUSÕES

O modelo GR4J apresentou melhor desempenho em relação aos modelos GR5J e GR6J, com valores de 0,7521 (NSE) e 0,8226 (KGE) no período de calibração e 0,7844 (NSE) e 0,8249 (KGE) como melhor desempenho na validação. Enquanto o modelo que apresentou pior desempenho foi o GR5J, com valores de 0,7337 (NSE) e 0,7882 (KGE) no



período de calibração e 0,7730 (NSE) e 0,6933 (KGE) para o período de validação.

Os modelos GR4J, GR5J e GR6J tiveram seu desempenho prejudicado na representação da simulação dos períodos de pico de chuva, como pode ser observado nos períodos 10/2009 e 11/2012. Tal fato pode ser explicado por serem períodos de alta variação climática, com elevada pluviosidade na área de estudo, que contribuem aos processos hidrológicos da bacia e devido ao comportamento dos modelos em situações de altas vazões. Porém, a partir da análise dos hidrogramas e dos valores de NSE e KGE gerados, os modelos GR4J e GR5J se mostraram eficazes na modelagem de bacias de baixo fluxo, como é o caso da bacia do Ribeirão São João.

A mudança e variabilidade climática podem interferir no sistema hidrológico da bacia de estudo. Considerando estes fenômenos, novas simulações, que abranjam períodos de calibração e validação, diferentes dos considerados, podem ser realizados com intuito de obter uma maior compreensão do comportamento da bacia do Ribeirão São João.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. A.; DE MELLO, C. R.; BESKOW, S. **Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 1, 2013.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. **Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.
- ARNOLD, J.G.; YOUSSEF, M.A.; YEN, H. ; WHITE, M.J.; SHESHUKOV, A.Y.; SADEGHI, A.M.; MORIASI, D.N.; STEINER, J.L.; AMATYA, D.M.; SKAGGS, R.W.; HANEY, E.B.; JEONG, J.; ARABI, M.; GOWDA, P.H. **Hydrological processes and model representation: Impact of soft data on calibration. Transactions of the ASABE**, v. 58, n. 6, p. 1637-1660, 2015.
- BLOSCHL, G.; MONTANARI, A. **Climate Change Impacts – Throwing the Dice? Hydrological Processes**, 24, 374-381. 2010.
- CASTILHO, C. P. G. **Simulação hidrológica de uma bacia rural utilizando o modelo TOPMODEL acoplado a um modelo de interceptação de chuva pela cobertura vegetal**. 2005. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.
- CHERKI, K. **Infiltration between GR5J modelling in the oued n’chef watershed and water balance calculation of meffrouch dam (Tafna, North-West Algerian)**. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2602-7828, n. 35, p. 73-86, 2018.
- CORON, L., THIREL, G., DELAIGUE, O., PERRIN, C. and ADREÁSSIAN, V. **The Suite of Lumped GR Hydrological Models in an R package**. Environmental Modelling and Software, 94, 166-171. DOI: 10.1016/j.envsoft.2017.05.002. 2017.

CORON, L., DELAIGUE, O., THIREL, G., PERRIN, C. and MICHL, C. airGR: **Suite of GR Hydrological Models for Precipitation-Runoff Modelling**. R package version 1.3.2.23. 2019

COZ M. L., BRUGGEMAN, A., CAMERA, C., LANGE, M. A. **Impact of precipitation variability on the performance of a rainfall-runoff model in Mediterranean mountain catchments**. Hydrological Sciences Journal. 2016.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM/COMIG**. Escala 1:1.000.000. Meio Digital. 2003.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Vale do Jequitinhonha**. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, SECRETARIA EXECUTIVA. 2005

DONELLY-MAKOWECKI, L. M. and MOORE, R. D. **Hierarchical testing of three rainfall-runoff models in small forested catchments**. Journal of Hydrology, 219(3/4), 136-152. 1999.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; SEAL, D. **The shuttle radar topography mission**. Reviews of geophysics, v. 45, n.2, 2007.

FENICIA, F., KAYETSKI, D., and SAVENIJE, H.H.G. **Elements of a flexible approach for conceptual hydrological modeling: 1. Motivation and theoretical development**. Water Resources Research. 2011.

FUKA D.R., WALTER M.T., ARCHIBALD J.A., STEENHUIS T.S. and EASTON Z.M. **EcoHydrology: A Community Modeling Foundation for Eco-Hydrology**. R package version 0.4.12.1. 2018.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. **Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 4, n. 2, p. 135-143, 1999.

GUPTA, H. V., KLING, H., YILMAZ, K. K. and MARTINEZ, G. F. **Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling**. Journal of Hydrology, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí**. Gama Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. Governo do estado de Minas Gerais. Ficha Técnica. 2010

KOFFI, F.K. and Monique BERNIER, Droh L. GONÉ, Mahaman B. SALEY, René LEFÈVRE, Nagnin SORO et Aimé KOUDOU. **Integrating geo space in a distributed hydrological model for the simulation of water flow in the humid tropics of Ivory Coast (West Africa)**. Journal Remote Sensing, 2007, vol. 7, No. 1-2-3-4, pp. 217-23. 2007.

LICCIARDELO, F.; ZEMA, D. A.; ZIMBONE, S. M.; BINGNER, R. L. **Runoff and soil erosion evaluation by the AnnAGNPS model in a small Mediterranean Watershed**. Transactions of the ASABE, 50, 1585-1593. 2007.

LIU, Z.; TODINI, E. **Towards a comprehensive physically-based rainfall model**. Hydrology and Earth system sciences,6(5), pp . 859-881. 2002.

MICHEL, C. **Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux**, Hydrology handbook (in French), Cemagref, Antony, France. 1991.

MORIASI, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L.. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

MOUELHI S. **Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier**, PhD thesis (in French), ENGREF - Cemagref Antony, Paris, France. 2003.

MOUELHI, S., C. MICHEL, C. PERRIN and V. ANDRÉASSIAN. **Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model**, Journal of Hydrology. 2006.

MULETA, M. K.; NICKLOW, J. W. **Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model**. Journal of Hydrology, v. 306, n. 1-4, p. 127-145, 2005.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles**. Journal of Hydrology, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

NaARASAYYA, K.; ROMAN, U.C.; MEENA, B.L.; SREEKANTH, S.; NAVEED ALI, S. **Prediction of storm-runoff using physically based hydrological model for burhanpur watershed, India**. International journal of remote sensing and geosciences (IJRSG), vol.2, pp.76-85. 2013.

NOURANI, V.; ROUGHANI, A.; GEBREMICHAEL, M. **TOPMODEL Capability for rainfall-runoff modeling of the ammameh watershed at different time scales using different terrain algorithms**. Journal of urban environment engineering, vol.5.n.1, PP.1-14. 2011.

NOTTER, B.; MACMILLAN, L.; VIRIROLI, D.; WEINGARTNER, R.; LINIGER, H. P. **Impacts of environmental change on water resources in the Mt. Kenya Region**. Journal of Hydrology, 343, 266-278. 2007.

PERRIN, C., MICHEL, C., and ANDRÉASSIAN, V. **Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation**. Journal of Hydrology, 279 (1–4), 275–289. doi:10.1016/S0022-1694(03)00225-7. 2003.

PUSHPALATHA, R., C. PERRIN, N. LE MOINE, T. MATHHEVET and V. ANDRÉASSIAN. **A downward structural sensitivity analysis of hydrological models to improve low-flow simulation**, Journal of Hydrology, 411(1-2), 66-76. 2011.

PUSHPALATHA R. **Low-flow simulation and forecasting on French river basins: A hydrological modelling approach**. Phd Thesis, Agro Paris Tech, France, 230 p. 2013.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019.

REFSGAARD, J.C. **Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models**. Journal of Hydrology, v. 198, n. 1-4, p. 69-97, 1997.

SARAIVA, I.; FERNANDES, W.; NAGHETTINI, M. **Simulação hidrológica mensal em bacias sem monitoramento fluviométrico.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, p.115-125, 2011.

SILANS, A. M. B. P. et al. **Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do PEIXE-Estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 5-19, 2000.

STACKELBERG, N. O. v.; CHESCHEIR, G. M.; SKAGGS, R. W.; AMATYA, D. M. **Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the Tacuarembó River Basin, Uruguay.** Transactions of the ASABE, 50, 455-468. 2007.

VAN BUUREN, S., GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. **Multivariate Imputation by Chained Equations in R.** Journal of Statistical Software, 45(3), 1-67. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Água Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco 2005.**

VIOLA, M. R. **Modelagem hidrológica em uma sub-bacia hidrográfica do baixo rio Araguaia, TO.** Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 3, n. 3, 2012.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. **Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts..** Journal de Hydrology, 145:217-230, 1993.

YUAN, Y.; BINGER, R. L.; LOCKE, M. A.; THERURER, F. D.; STAFFORD, J. **Assessment of subsurface drainage management practices to reduces nitrogen loadings using AnnAGNPS.** Applied Engineering in Agriculture, v.27, p.335-344, 2011.

ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de matas nativas.** São Carlos, 1998.

ZHOU, Y.; WANG, Y. Q. **A distributed and object-oriented rainfall-runoff simulation model with high spatial resolution impervious surface .** Annual conference Portland, Oregon, pp.1-12, 2008.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ácidos graxos 99

Afluentes 129, 234, 238, 239, 339

Agricultura 84, 137, 140, 144, 145, 170, 171, 181, 182, 185, 189, 202, 203, 222

Águas pluviais 96, 118, 120, 127, 128, 129, 132, 134, 240

Águas residuais 77, 86, 100, 115, 118, 120, 154

Águas subterrâneas 103, 104, 105, 106, 108, 109, 112, 114, 134, 137, 139, 141, 145, 149, 150, 151, 152, 212, 214

Aproveitamento energético 85, 94, 96, 97

Aquífero 106, 114, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 149, 150, 151, 152

Aterro sanitário 32, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 112, 113, 114

Atividade antrópica 156

### B

Bacia hidrográfica 141, 154, 156, 229, 274, 275, 276, 281, 285, 286, 288, 297, 300

Bactérias 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 182, 183, 204, 206, 249, 332

Biodegradabilidade 334, 335, 339

Biodiversidade 180, 232, 245

Biogás 94, 96, 97, 99, 100

### C

Chorume 96, 108, 111, 112, 113

Coleta seletiva 71, 74, 80

Coliformes fecais 107, 206, 209, 233

Coliformes totais 105, 107, 109, 112, 139, 204, 205, 206, 207, 212, 213

Combustíveis renováveis 100

Composto orgânico 89

Conselho nacional de meio ambiente (CONAMA) 34

Contaminação do solo 110, 112

Cor 30, 147, 173, 175, 187, 188, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 244, 247, 248, 249, 335, 336, 337, 338, 339

Corpos hídricos 95, 96, 113, 128, 233, 238, 239, 240

Crescimento populacional 39, 83, 95, 155, 230, 231, 236

## **D**

Decomposição anaeróbia 94, 95  
Degradação ambiental 37, 38, 72, 153, 230, 240  
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 105, 109, 111, 233  
Demanda química de oxigênio (DQO) 105  
Descarte 8, 25, 49, 57, 58, 59, 60, 64, 67, 71, 73, 74, 76, 77, 80, 81, 239, 247, 295  
Desenvolvimento sustentável 26, 35, 58, 69, 151, 152, 181, 294, 320  
Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 94, 95, 96, 99  
Doenças de veiculação hídrica 69, 154, 204, 205, 206, 209, 210, 211, 213, 230

## **E**

Ecosistema 81  
Educação ambiental 5, 7, 33, 35, 49, 58, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 185, 195, 240, 352  
Efeito estufa 95, 99  
Efluentes 16, 96, 105, 106, 107, 108, 111, 113, 114, 127, 128, 133, 134, 145, 149, 153, 156, 158, 205, 230, 231, 232, 238, 239, 240, 241, 246, 339, 342, 352  
Escoamento pluvial 320, 321  
Esgoto doméstico 235, 242, 290  
Estação de tratamento de esgoto (ETE) 134, 352

## **G**

Geoprocessamento 67, 289, 291, 293  
Gerenciamento de resíduos 1, 2, 9, 10, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 26, 33, 34, 35, 36, 49, 71, 81

## **I**

Impacto ambiental 104, 108, 112, 241  
Infraestrutura urbana 149, 155  
Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) 12, 39, 55, 59, 68, 69, 269, 273

## **L**

Lagoas de estabilização 103, 105, 107, 108, 111, 113, 114  
Lixo 13, 34, 36, 49, 64, 77, 81, 83, 92, 128  
Lodos ativados 99, 130

## **M**

Meio ambiente 2, 7, 10, 11, 13, 14, 20, 21, 23, 24, 26, 32, 34, 40, 58, 68, 69, 72, 76, 79, 80, 81, 82, 102, 103, 104, 113, 116, 120, 128, 134, 182, 200, 201, 251, 270, 320, 333

Micro-organismos 31

## **P**

Parâmetros físico-químicos e biológicos 231, 352

Patogênicos 8, 31, 204, 206

Política nacional de resíduos sólidos (PNRS) 4, 10, 11, 12, 35, 58, 68

Política nacional do meio ambiente (PNMA) 20, 26, 34

Poluição 14, 49, 72, 100, 121, 122, 141, 154, 156, 158, 170, 229, 230, 231, 244, 245, 246, 247, 251, 290, 294, 295

Poluidor-pagador 26

Potabilidade da água 140, 204, 212

Preservação ambiental 13, 14, 171

## **R**

Radiação solar 330, 331, 333, 334, 335, 339, 352

Reaproveitamento 1, 4, 5, 8, 9, 26, 83, 85, 86, 87, 91, 96, 100

Reciclagem 1, 3, 7, 9, 12, 15, 17, 19, 20, 26, 49, 52, 64, 72, 74, 80, 84, 92

Recursos hídricos 66, 68, 102, 134, 140, 145, 150, 151, 152, 154, 158, 160, 214, 225, 241, 242, 243, 245, 266, 273, 274, 275, 286, 288, 289, 290, 291, 294, 295, 300, 340

Recursos naturais 14, 66, 72, 95, 145, 171, 245, 274

Resíduos biológicos 25, 29, 31

Resíduos perigosos 21, 23, 24, 35, 36, 100

Resíduos químicos 29, 30, 31, 35

Resíduos recicláveis 31

Resíduos sólidos 1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 23, 24, 34, 35, 36, 37, 49, 52, 53, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 82, 83, 85, 90, 91, 92, 93, 100, 103, 104, 113, 153, 156, 232, 239, 290, 295

Reutilização 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 18, 21, 26, 52, 81, 352

## **S**

Saneamento básico 58, 59, 68, 69, 118, 129, 154, 157, 168, 229, 230, 231, 233, 235, 236, 237, 240, 241, 242, 245, 252, 266, 269, 303, 306, 340

Segregação de resíduos 17, 35

Sistema de esgotamento sanitário 123, 128, 239, 269, 292, 293, 300

Sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS) 58, 68, 231, 273

Sustentabilidade 9, 11, 12, 39, 40, 54, 72, 81, 91, 104, 146, 148, 160, 181, 183, 184, 319, 328



## **T**

Tratamento biológico 96, 331



Turbidez 66, 233, 244, 247, 248, 249, 251, 337, 338, 339

## **V**

Valor máximo permitido (VMP) 108, 140, 213, 244, 248, 249





# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)