



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)

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 Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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
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 – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
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
Profª Drª 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
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
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
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. 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
Profª 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
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 Alborno – 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
Profª Ma. Lillian 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. Dr. 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. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª 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

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª 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

Evolução do conhecimento científico na engenharia ambiental e sanitária

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E93 Evolução do conhecimento científico na engenharia ambiental e sanitária / Organizador Daniel Sant'Ana. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-477-1
DOI 10.22533/at.ed.771202610

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. I. Sant'Ana, Daniel (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
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “*Evolução do Conhecimento Científico na Engenharia Ambiental e Sanitária*” tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

É de suma importância perceber que o constante crescimento populacional vem pressionando os recursos hídricos pela elevada demanda por água e poluição de corpos hídricos. Conseqüentemente, observa-se uma piora na qualidade da água e uma pressão nos sistemas de produção e distribuição de água potável.

Com isso em mente, os primeiros capítulos deste livro apresentam diferentes estudos que apresentam soluções capazes de otimizar os sistemas urbanos de abastecimento de água potável. Em seguida, os capítulos subsequentes abordam temas relacionados a modelagem e análise da qualidade de água de diferentes sistemas hídricos, indicando a necessidade de se investir em ações, projetos e políticas públicas voltadas a preservação ambiental e de recursos hídricos.

Políticas públicas e programas governamentais são instrumentos essenciais para preservação do meio ambiente, conservação de água e garantir saúde e bem-estar à sociedade. Como exemplo, os Planos de Preservação e Recuperação de Nascentes das Bacias Hidrográficas da Codevasf, apresentado no Capítulo 9.

Com o novo marco legal do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020), não há como não demonstrar preocupação com o novo modelo de operação do setor de saneamento básico através de empresas públicas de capital aberto e de prestação direta por empresas privadas (Capítulo 10).

Com isso, torna-se crucial neste momento, o estabelecimento de parâmetros e indicadores para fiscalização do cumprimento das metas da universalização do saneamento básico. O Capítulo 11 apresenta proposições de mudança do SNIS para aumentar a qualidade e a confiabilidade dos dados registrados no novo sistema, o SINISA, uma ferramenta que poderá auxiliar nesta nova gestão do saneamento básico no Brasil.

Realmente, ainda há muito trabalho pela frente no que se diz respeito a universalização do saneamento básico no Brasil (Capítulo 12). Mesmo assim, podemos observar nos últimos capítulos que diferentes soluções para o tratamento de esgoto e de manejo de resíduos sólidos e do solo vêm sendo estudadas com o intuito de preservar o meio ambiente.

Este volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes partes do país e da Espanha, trazendo, de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos à qualidade de água e preservação de recursos hídricos, abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e manejo de resíduos sólidos e do solo. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS EN BANCO DE ENSAYOS. APLICACIÓN EN SIMULACIÓN DE LLENADO-VACIADO DE CONDUCCIONES

Paloma Arrué Burillo

Antonio Manuel Romero Sedó

Jorge García-Serra García

Vicent B. Espert Alemany

Román Ponz Carcelén

DOI 10.22533/at.ed.7712026101

CAPÍTULO 2..... 15

DESARROLLO DE UN SOPORTE DIGITAL COMO BASE DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTELIGENTE DE REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

José Pérez-Padillo

Pilar Montesinos Barrios

Emilio Camacho Poyato

Juan Antonio Rodríguez Díaz

Jorge Pérez Lucena

Jorge García Morillo

DOI 10.22533/at.ed.7712026102

CAPÍTULO 3..... 28

COMPARAÇÃO ENTRE MIGHA E AG PARA A CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO

Alessandro de Araújo Bezerra

Renata Shirley de Andrade Araújo

Marco Aurélio Holanda de Castro

DOI 10.22533/at.ed.7712026103

CAPÍTULO 4..... 37

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO PARA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAVEIRAS

Lucas de Bona Sartor

Taciana Furtado Ribeiro

Camila Caroline Branco

Mariáh de Souza

Lais Sartori

Bruna da Silva

DOI 10.22533/at.ed.7712026104

CAPÍTULO 5..... 48

MODELAGEM DE QUALIDADE DA ÁGUA (MQUAL) APLICADA NO ESTUDO DE SISTEMAS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Jesuéte Bezerra Pachêco

José Carlos Martins Brandão

Carlos Henke de Oliveira

Carlos Hiroo Saito

DOI 10.22533/at.ed.7712026105

CAPÍTULO 6..... 67

ANÁLISE LITOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA ITAQUI – BACANGA, SÃO LUÍS, MARANHÃO: EVIDÊNCIA DA INTRUSÃO MARINHA

Flávia Rebelo Mochel

Luís Alfredo Lopes Soares *in memoriam*

Paulo Roberto Saraiva Cavalcante

DOI 10.22533/at.ed.7712026106

CAPÍTULO 7..... 86

ANÁLISE FITOPLANCTÔNICA DA BARRAGEM DO RIO MARANGUAPINHO E ANÁLISE HIDROLÓGICA DA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ

Paloma Paiva Santiago

Laiane Maria Costa Lima

Leticia Soares Sousa

Marina Andrade Costa

Leticia Penha de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.7712026107

CAPÍTULO 8..... 94

ANÁLISE DA QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA MIRIM E DO CANAL SÃO GONÇALO

Vitoria Rovel da Silveira

Gabriel Borges dos Santos

Marlon Heitor Kunst Valentini

Henrique Sanchez Franz

Victória Huch Duarte

Larissa Aldrighi da Silva

Denise dos Santos Vieira

Beatriz Muller Vieira

Diuliana Leandro

Willian Cezar Nadaleti

Bruno Müller Vieira

DOI 10.22533/at.ed.7712026108

CAPÍTULO 9..... 106

PLANOS NASCENTES: PRESERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE NASCENTES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SÃO FRANCISCO, PARNAÍBA, ITAPECURU E MEARIM

Eduardo Jorge de Oliveira Motta

Camilo Cavalcante de Souza

Renan Loureiro Xavier Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.7712026109

CAPÍTULO 10..... 120

POLÍTICA DE SANEAMENTO BÁSICO NO CONTEXTO DO MARCO REGULATÓRIO EM SÃO LUÍS DO MARANHÃO, BRASIL

Marcos Antônio Silva do Nascimento

Antonio José de Araújo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.77120261010

CAPÍTULO 11..... 135

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: DO SNIS AO SINISA

Marise Teles Condurú

José Almir Rodrigues Pereira

João Diego Alvarez Nylander

Rafaela Carvalho da Natividade

DOI 10.22533/at.ed.77120261011

CAPÍTULO 12..... 146

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CARÊNCIA HABITACIONAL NA ZONA NORTE DE NATAL, METRÓPOLE BRASILEIRA

Ruan Henrique Barros Figueredo

Vinícius Navarro Varela Tinoco

Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes

Brenno Dayano Azevedo da Silveira

Almir Mariano de Sousa Junior

DOI 10.22533/at.ed.77120261012

CAPÍTULO 13..... 155

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE EFLUENTES TRATADOS ATRAVÉS DE MODELO DE FOSSA SÉPTICA COM FILTRO BIOLÓGICO

José Vicente Duque dos Santos

Edson Barboza Pires

Yuri Sotero Bomfim Fraga

DOI 10.22533/at.ed.77120261013

CAPÍTULO 14..... 167

IMPACTO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA GESTÃO E NA CONCEPÇÃO, PROJETOS, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Maria Eugenia Gimenez Boscov

DOI 10.22533/at.ed.77120261014

CAPÍTULO 15..... 178

MONITORAMENTO E PREVISÃO DE RECALQUES A LONGO PRAZO USANDO MODELOS DE COMPRESSIBILIDADE: ESTUDO DE CASO

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Gabrielle Sthefanine Silva Azevedo

Leandro Rangel Corrêa

Elisabeth Ritter

DOI 10.22533/at.ed.77120261015

CAPÍTULO 16..... 189

UTILIZAÇÃO DE OZÔNIO COMBINADO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA O

TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Jandira Leichtweis

Siara Silvestri

Nicolý Welter

Mariana Islongo Canabarro

Keila Fernanda Hedlund Ferrari

Elvis Carissimi

DOI 10.22533/at.ed.77120261016

CAPÍTULO 17..... 199

COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA* E *EUCALYPTUS CITRIODORA*

Winkler José Pinto

André Batista de Negreiros

DOI 10.22533/at.ed.77120261017

SOBRE O ORGANIZADOR..... 213

ÍNDICE REMISSIVO..... 214

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO ENTRE MIGHA E AG PARA A CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 27/07/2020

Alessandro de Araújo Bezerra

Universidade Federal do Piauí, Departamento
de Recursos Hídricos, Geotecnia e
Saneamento Ambiental
Teresina – PI
<http://lattes.cnpq.br/1375170517742002>

Renata Shirley de Andrade Araújo

Universidade Federal do Piauí, Departamento
de Recursos Hídricos, Geotecnia e
Saneamento Ambiental
Teresina – PI
<http://lattes.cnpq.br/6959135851581992>

Marco Aurélio Holanda de Castro

Universidade Federal do Ceará, Departamento
de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Fortaleza - CE
<http://lattes.cnpq.br/9250831617884112>

RESUMO: O objetivo deste trabalho é comparar o método de calibração do fator de atrito em redes de distribuição de água, denominado Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) com o já consagrado método dos algoritmos genéticos (AG). Para a comparação foi utilizada uma rede fictícia calibrada com uso dos dois métodos. O MIGHA apresenta uma equação para a calibração do fator de atrito através de processo iterativo com posterior cálculo da rugosidade absoluta e o AG é um algoritmo de busca em que foi

calibrado diretamente a rugosidade absoluta de cada trecho. Foram comparados resultados de pressão e rugosidade absoluta. Os melhores resultados em termos de valores de pressão foram obtidos através de Algoritmos Genéticos, no entanto, as diferenças entre os valores da pressão calculados através do MIGHA e as pressões observadas/gabarito foram menores do que 1%, o que mostra que, apesar de não ser o melhor resultado, este também foi muito bom. Quanto aos valores de rugosidade obtidos, os resultados foram inferiores aos obtidos pelos Algoritmos Genéticos, embora, com um tempo de processamento bem inferior. Assim, concluiu-se que o uso do MIGHA não gera os melhores resultados, mas bons resultados em pouco tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo, Algoritmo Genético, Fator de atrito.

COMPARISON BETWEEN MIGHA AND GA FOR THE CALIBRATION OF THE FRICTION FACTOR

ABSTRACT: The objective of this work is to compare the method of calibration of the friction factor in water distribution networks, called the Alternative Hydraulic Gradient Iterative Method (MIGHA) with the already established method of genetic algorithms (GA). For comparison, a fictitious network calibrated using both methods was used. The MIGHA presents an equation for the friction factor calibration through an iterative process with subsequent calculation of the absolute roughness and the GA is a search algorithm in which the absolute roughness

of each stretch was directly calibrated. Results of pressure and absolute roughness were compared. The best results in terms of pressure values were obtained through Genetic Algorithms, however, the differences between the pressure values calculated through MIGHA and the observed pressures/template were less than 1%, which means that, despite of not being the best result, this was also very good. As for the roughness values obtained, the results were lower than those obtained by Genetic Algorithms, although, with a much shorter processing time. Thus, it was concluded that the use of MIGHA does not generate the best results, but good results in a short time.

KEYWORDS: Alternative Hydraulic Gradient Iterative Method, Genetic Algorithm, Friction Factor.

1 | INTRODUÇÃO

Há muito tempo se sabe da importância das redes de distribuição. Como pode ser visto em Garcez e Azevedo Netto (1947), a rede de distribuição de água é o elemento do sistema de abastecimento de maior importância econômica, atingindo de 60% a 70% do custo total do sistema e, em pequenas localidades, podendo chegar a 90%. Em Tsutiya (2006) é estimado seu custo entre 50% e 75%. Já Heller e Pádua (2010) consideram que seu custo é responsável por mais de 50% do custo de implantação do sistema.

De acordo com o encontrado em Gomes e Formiga (2001), as redes de distribuição são os componentes responsáveis por levar a água ao usuário final, nos sistemas de abastecimento de água, de comunidades urbanas e rurais. Uma definição similar, porém mais antiga, foi proposta em Dacach (1967), em que, uma rede de distribuição é um elemento que se constitui de tubulações que distribuem água, atendendo aos diversos pontos de consumo. Uma forma mais completa pode ser vista em Tsutiya (2006) e Heller e Pádua (2010), que definem rede de distribuição de água como a parte do sistema de abastecimento formada por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos com o objetivo de fornecer água potável em quantidade, qualidade, pressões adequadas e de forma contínua aos consumidores, sejam esses residenciais, comerciais, industriais ou de serviço.

Em Rao e Salomons (2007) é explicado que cada rede de distribuição de água compreende uma configuração única de tubos interconectados, tanques de armazenamento, estações de bombeamento e câmaras de válvulas, que está sujeita a exigências muito variáveis que não podem ser previstas com grande grau de certeza.

Para calcular as perdas de carga numa rede de distribuição de água é necessário conhecer o material das tubulações a ser instaladas, assim como seus diâmetros e rugosidades. As tubulações mais utilizadas nas redes de distribuição no Brasil são constituídas por policloreto de vinilo (PVC), polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) ou ferro fundido revestido com cimento (FoFo).

A fórmula universal da perda de carga ou equação de Darcy-Weisbach, que é mostrada na Equação 1, é a equação considerada mais precisa para o cálculo do gradiente hidráulico e, conseqüentemente, da perda de carga num trecho de tubulação.

$$\nabla H = 0,81057 \cdot \frac{f}{g} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \quad (1)$$

Sendo ∇H (adimensional) o gradient hidráulico, f (adimensional) o fator de atrito, Q (m³/s) a vazão, D (m) o diâmetro e g (m/s²) a aceleração da gravidade.

Entre as equações utilizadas para o cálculo do fator de atrito está a fórmula de Swamee-Jain criada em 1976, apresentada pela Equação 2.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \quad (2)$$

Sendo ε (m) a rugosidade absoluta da tubulação e Re (adimensional) o número de Reynolds do escoamento.

Apesar da existência de equações para o cálculo de redes de distribuição, Ormsbee e Lingireddy (1997) acreditam que devido à dificuldade de obter medições econômicas e confiáveis de parâmetros como rugosidades e demandas, os valores do modelo hidráulico final devem ser determinados através do processo de calibração.

Cheng e He (2011) explicam que a calibração de modelos computacionais é definida como o processo de ajuste de dados descrevendo o modelo matemático do sistema até que os desempenhos observados, tipicamente pressões e taxas de fluxo, estejam razoavelmente de acordo com os desempenhos calculados para uma vasta gama de condições operacionais.

Em Bezerra, Castro e Araújo (2017), o Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) foi utilizado como método de calibração do fator de atrito, como pode ser visto na Figura 1.

Vários são os trabalhos que realizam calibrações em redes de distribuição de água, como é o caso de Ormsbee e Wood (1986), Silva et al. (2004), Bhave (1988) e Righetto (2001). Além desses, o MIGHA aparece como um método de simples utilização e com rápidos e bons resultados, como mostrado em Bezerra, Castro e Araújo (2017). Neste trabalho, o citado método de calibração será comparado à já conhecida e consagrada ferramenta de otimização, o Algoritmo Genético (AG). Assim, pode ser visto o real potencial do MIGHA.

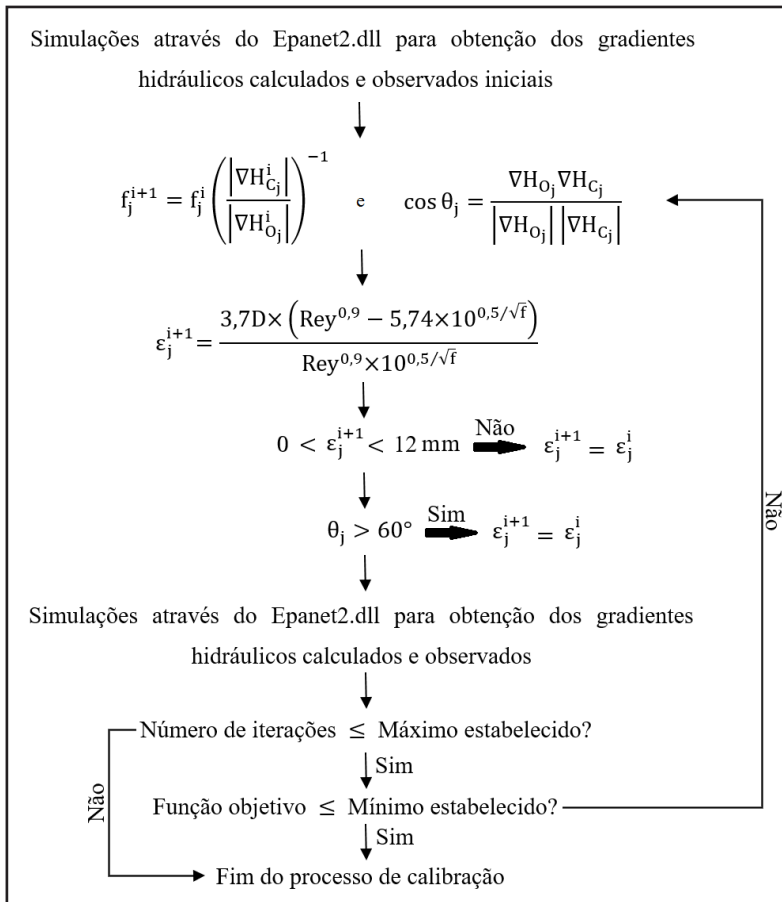


Figura 1. Fluxograma do processo MIGHA proposto para a calibração do fator de atrito e cálculo da rugosidade absoluta de Darcy-Weisbach.

2 | METODOLOGIA

2.1 Rede de distribuição calibrada

A rede de distribuição estudada foi proposta por Walski (1983) e modificada por Gambale (2000). A rede apresenta 10 trechos e 7 nós. Os gabaritos de uma simulação estática da rede, referentes a seus trechos e nós são apresentados em Silva (2006) e mostrados na Figura 2 em que os nós apresentam os valores de pressão e os trechos a rugosidade.

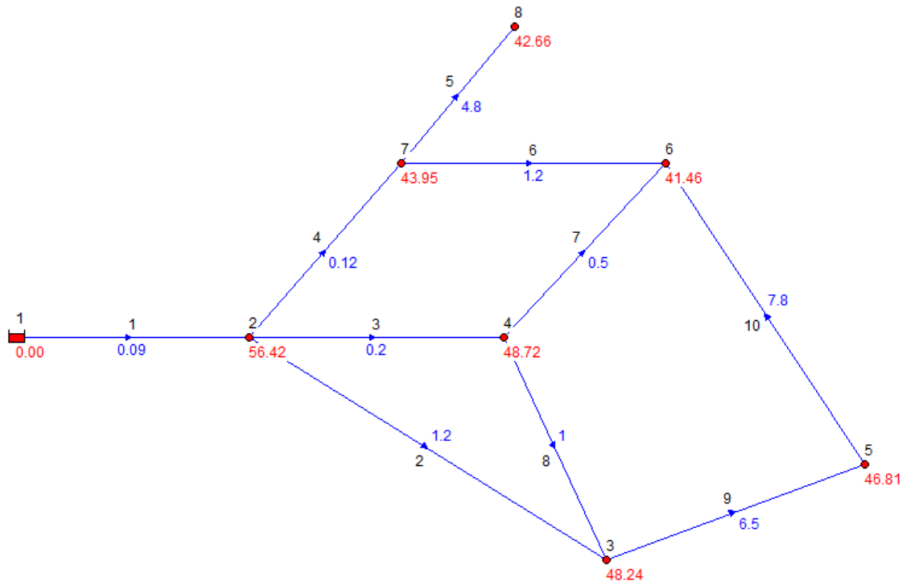


Figura 2. Rede de distribuição calibrada apresentando identificação dos nós e trechos (em preto), além dos valores gabarito das pressões nos nós (em vermelho) e das rugosidades absolutas nos trechos (em azul).

As simulações hidráulicas foram realizadas através do uso do software Epanet (pode ser visto em Rossman, 2000) e a cota do nível da água do reservatório vale 60m.

2.2 Método migha para calibração do fator de atrito

Como o fator de atrito f da fórmula universal da perda de carga é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, a equação MIGHA proposta neste trabalho para a calibração do fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach em redes de distribuição de água ocorre de acordo com a Equação 3.

$$f_j^{i+1} = f_j^i \left(\frac{|\nabla H_{C_j}^i|}{|\nabla H_{O_j}^i|} \right)^{-1} \quad (3)$$

Sendo que o índice i representa o número da iteração, o índice j indica qual o trecho da rede, ∇H_c representa o gradiente hidráulico da rede calculada, ∇H_o representa o gradiente hidráulico da rede observada e o expoente -1 indica a proporcionalidade que o fator de atrito tem com o gradiente hidráulico na equação de Darcy-Weisbach.

Como o objetivo é encontrar a rugosidade absoluta ε de cada trecho da rede e, de acordo com Rossman (2000), a biblioteca Epanet2.dll utiliza, para o cálculo do fator de atrito, a fórmula de Swamee-Jain, considerando apenas o escoamento turbulento, ao isolar a rugosidade absoluta na fórmula utilizada encontra-se a Equação 4.

$$\varepsilon = \frac{3,7D \times (Rey^{0,9} - 5,74 \times 10^{0,5/\sqrt{f}})}{Rey^{0,9} \times 10^{0,5/\sqrt{f}}} \quad (4)$$

Assim, a metodologia proposta para calibração do fator de atrito f e cálculo da rugosidade absoluta ε de Darcy-Weisbach pode ser explicada como segue. Após a obtenção dos gradientes hidráulicos calculados e observados iniciais de todos os trechos da rede, através da utilização da biblioteca Epanet2.dll e com o uso de rugosidades absolutas iniciais para cada trecho definidos previamente, novos fatores de atrito f são calculados através da Equação 3 e os ângulos entre os vetores gradientes hidráulicos calculados e observados são obtidos. Conhecido o fator de atrito de cada trecho e, com base na equação de Swamee-Jain, novas rugosidades absolutas são calculadas através da utilização da Equação 4. Caso, em algum trecho, o ângulo formado entre os vetores gradiente hidráulico calculado e observado seja maior do que 60° ou, devido o fator de atrito ser calculado, não por características físicas dos trechos, mas pela Equação 3, a rugosidade absoluta calculada seja menor do que 0 ou maior do que 12mm (o dobro do valor tabelado de um tubo de rugosidade elevada, como aço rebitado em uso), a rugosidade absoluta ε a ser utilizada, para esse trecho, será a encontrada na iteração anterior. Isso ocorrerá até que os trechos vizinhos alterem as pressões nos nós existentes nas extremidades do trecho, com a finalidade de que, com essa mudança, o novo gradiente hidráulico encontrado altere a situação. Obtidos os novos valores de rugosidade absoluta a ser utilizado, uma nova simulação hidráulica é realizada. Esse processo se repete até que o número de iterações alcance um máximo estabelecido ou até que a função objetivo alcance um mínimo estabelecido.

2.3 Calibrações realizadas

A metodologia MIGHA apresentada neste trabalho foi comparada com outro método de calibração utilizado no trabalho de Silva (2006), já publicado para a rede simulada.

No trabalho de Silva (2006), utilizando algoritmos genéticos (AG), o autor calibrou a rugosidade absoluta de Darcy-Weisbach. Para esta rugosidade da rede calibrada, os parâmetros dos AG utilizados pelo autor foram substituição de indivíduos do tipo steady-state, seleção tipo torneio, mutação gaussiana, recombinação aleatória dos operadores a cada geração e uma população de 2.000 indivíduos com 100 gerações.

Para a comparação entre as calibrações utilizando o método de algoritmos genéticos executado por Silva (2006) e as calibrações utilizando o MIGHA através das equações propostas neste trabalho, foram considerados dados de entrada de pressões em todos os nós da rede. Para tais calibrações, foram considerados os parâmetros utilizados em Silva (2006) com uso de seu cenário 2 de consumos nodais (Quadro 1). Para a calibração do fator de atrito, foi considerada uma rugosidade absoluta inicial de 0,006mm nos trechos da rede.

Nó	2	3	4	5	6	7	8
Consumo (L/s)	0,0	36,0	120,0	10,0	80,0	80,0	37,5

Quadro 1. Padrão de consumos utilizados na calibração

Os valores gabarito referentes às pressões foram usados como valores observados nas calibrações, uma vez que se trata de uma rede hipotética.

3 | RESULTADOS

Para a calibração da rugosidade absoluta nos condutos através de Algoritmos Genéticos e calibração do fator de atrito com uso do MIGHA, tanto as pressões quanto as rugosidades absolutas encontradas com uso da equação proposta neste trabalho foram piores do que as encontradas em Silva (2006), com uso de Algoritmos Genéticos. No Quadro 2 pode ser vista a comparação entre as pressões encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA, além de seus erros relativos. Já a comparação entre as rugosidades absolutas encontradas, além de seus erros relativos, pode ser vista no Quadro 3.

Verifica-se que, apesar de as pressões encontradas com a calibração realizada através do MIGHA possuírem valores mais distantes do gabarito que as encontradas através de Algoritmos Genéticos, exceto para o nó 4, os erros relativos calculados são menores que 1% em todos os nós, ou seja, apesar de o pior entre os testados, os resultados ainda são bons. Já no caso das rugosidades absolutas encontradas, os resultados calculados através do MIGHA não foram melhores em nenhum trecho da rede e, de forma geral, não foram bons com uso de nenhum dos dois métodos, sendo, bem pior, quando calculados através do MIGHA.

Nó	Pressões Gabarito (m)	Pressões AG (m)	Pressões MIGHA (m)	Erro AG (%)	Erro MIGHA (%)
2	56,42	56,42	56,43	0,00	0,02
3	48,24	48,21	48,37	0,06	0,27
4	48,72	48,73	48,72	0,02	0,00
5	46,81	46,77	47,03	0,09	0,47
6	41,46	41,42	41,8	0,10	0,82
7	43,95	43,95	44,12	0,00	0,39
8	42,66	42,66	42,88	0,00	0,52
Erro (%) médio:				0,04	0,35

Quadro 2. Comparação entre as pressões encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA – Calibração do f

Trecho	Rugosidade Gabarito (mm)	Rugosidade AG (mm)	Rugosidade MIGHA (mm)	Erro AG (%)	Erro MIGHA (%)
1	0,09	0,091	0,088	1,11	2,51
2	1,2	1,092	0,483	9,00	59,74
3	0,2	0,19	0,221	5,00	10,62
4	0,12	0,135	0,150	12,50	24,93
5	4,8	4,759	4,253	0,85	11,39
6	1,2	2,307	4,372	92,25	264,35
7	0,5	0,455	0,346	9,00	30,83
8	1	1,424	7,659	42,40	665,91
9	6,5	5,614	2,228	13,63	65,72
10	7,8	3,717	0,105	52,35	98,65
Erro (%) médio:				23,81	123,47

Quadro 3. Comparação entre as rugosidades absolutas encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA – Calibração do f

Assim, verifica-se que, apesar de gerar excelentes resultados para as pressões, o método proposto não obteve as melhores rugosidades em nenhum dos casos. No entanto, é válido considerar que o método MIGHA foi comparado com os melhores resultados obtidos por Silva (2006), dentre as várias possibilidades existentes e utilizadas em seu trabalho. Além disso, já é sabido que há uma necessidade de um elevado tempo de processamento no caso do uso do Método de Algoritmos Genéticos e, para a calibração da rede testada com uso do MIGHA, o tempo de processamento foi inferior a 3s, sendo necessário 4 iterações para chegar ao valor de função objetivo igual a 0,0000000001.

4 | CONCLUSÕES

O MIGHA foi comparado com a metodologia de Algoritmos Genéticos e, pôde-se verificar que, no caso calibração do fator de atrito, as melhores pressões foram encontradas através de Algoritmos Genéticos, no entanto, as diferenças entre as pressões calculadas através do MIGHA e as pressões observadas foram menores que 1%, o que mostra que, apesar de não ser o melhor resultado, este também foi muito bom.

Quanto às rugosidades encontradas, os resultados foram inferiores aos de Algoritmos Genéticos, entretanto, com um tempo de processamento bem melhor. Assim, o uso do MIGHA não gera os melhores resultados, mas bons resultados em pouco tempo.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, A. A.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, R. S. A. **Equação para o Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) na calibração do fator de atrito.** XV Seminário Iberoamericano de Redes de Água y Drenaje, SEREA2017, Bogotá: Uniandes, 2017.

BHAVE, P. R. **Calibrating Water Distribution Network Models**. Journal of Environmental Engineering. vol. 114, no. 1, 1988, pp. 120-136.

CHENG, W.; HE, Z. **Calibration of Nodal Demand in Water Distribution Systems**. Journal of Water Resources Planning and Management. vol. 137, no. 1, 2011, pp. 31-40.

DACACH, N. G. **Modalidades de r edes p ublicas de  gua**. Revista DAE. vol. 27, no. 66, 1967, pp. 10-16.

GAMBALE, S. R. **Aplicação de algoritmo genético na calibração de rede de  gua**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GARCEZ, L. N.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Métodos novos para o estudo das r edes hidráulicas**. Revista DAE. vol. 9, no. 19, 1947, pp. 3-18.

GOMES, H. P.; FORMIGA, K. T. M. **PNL2000 – Método Prático de Dimensionamento Econ mico de Redes Malhadas de Abastecimento de  gua**. Revista DAE. vol. 6, no. 4, 2001, pp. 91-108.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**, 2  ed., vol. 2, Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

ORMSBEE, L. E.; LINGIREDDY, S. **Calibrating Hydraulic Network Models**. Journal of the American Water Works Association. vol. 89, no. 2, 1997, pp. 42-50.

ORMSBEE, L. E.; WOOD, D. J. **Explicit Pipe Network Calibration**. Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 112, no. 2, 1986, pp. 116-182.

RAO, Z.; SALOMONS, E. **Development of a real-time, near-optimal control process for water-distribution networks**. Journal of Hydroinformatics. vol. 9, no. 1, 2007, pp. 25-37.

RIGHETTO, A. M. **Calibração de modelo hidráulico de rede de distribuição de  gua**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 6, no. 3, 2001, pp. 33-44.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2: User's Manual**. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development of U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 2000.

SILVA, A. C. A. **Calibração automática de rugosidades de tubulações em sistemas de distribuição de água com aplicação de algoritmos genéticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil:  rea de concentração em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SILVA, F. G. B.; REIS, L. F. R.; CALIMAN, R. O.; CHAUDHRY, F. H. **Calibração de um Modelo de Rede de Distribuição de água para um Setor de Abastecimento Real Contemplando Vazamentos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 9, no. 1, 2004 pp. 37-54.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**, 3  ed., São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WALSKI, T. M. **Technique for Calibrating Network Models**. Journal of Water Resources Planning and Management. vol. 109, no. 4, 1983, pp. 360-372.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento de Água 29, 36, 68, 69, 83, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 131, 132, 136, 138, 139, 142, 146, 147, 149, 151, 153, 156

Água Subterrânea 67, 70, 83

Algoritmo Genético 30, 36

Amazônia 48, 52, 54, 56, 59, 61, 63, 64, 65, 66

Aplicaciones para Dispositivos Móviles 15

Área de Recarga Hídrica 106, 115

Aterros Sanitários 167, 168, 171, 172, 173, 174, 175, 189, 190

B

Barragem 68, 69, 71, 86, 88, 89

C

Compressibilidade 173, 178, 179, 181, 185, 186, 188

CONAMA 68, 95, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 158, 162, 163, 166, 169, 194, 197

Conservação de Recursos Hídricos 106

Contenção de Processos Erosivos 106

E

Efluentes 95, 98, 101, 102, 103, 112, 155, 157, 158, 159, 162, 163, 164, 165, 166, 194, 197

F

Fator de Atrito 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35

Filtro Biológico 155, 157

Fitoplâncton 86, 88, 89, 90, 91

Fossa Séptica 149, 155, 157, 160, 166

G

Gestão da Informação 135, 136, 137, 140, 145

H

Hidroquímica 67, 78, 85, 103

I

Intrusão Marinha 67, 77, 83

L

Litologia 67, 71, 77

Lixiviado de Aterro Sanitário 189

M

Manejo e Uso Adequado do Solo 106

Marco Regulatório 120, 121, 122, 126, 128, 130, 131, 132

Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo 28, 30, 35

Modelación Hidráulica 15

Modelagem de Qualidade da Água 48

Modelo Hidrológico 37, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46

Modelos de Previsão 173, 178, 179, 185, 186

P

Planejamento Urbano e Regional 146, 149, 154

Política de Saneamento 120, 121, 127, 141

Política Nacional de Resíduos Sólidos 167, 168, 175, 176

Poluente Recalcitrante 189

Poluição 49, 50, 83, 84, 94, 95, 96, 102, 125

Preservação de Nascentes e de Áreas Permanentes 106

Processos de Oxidação Avançada 189, 190

Processos Ecosistêmicos 199

Q

Qualidade 29, 42, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 63, 64, 66, 68, 69, 75, 83, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 117, 122, 124, 127, 135, 136, 137, 139, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 151, 153, 154, 156, 159, 166, 171, 190, 199, 200, 201, 204, 206, 207, 210

R

Recalque 173, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 186

Recursos Hídricos 16, 28, 36, 37, 40, 45, 46, 66, 85, 87, 88, 94, 95, 96, 103, 106, 108, 109, 117, 118, 142, 181

Resíduos Sólidos Urbanos 122, 139, 167, 168, 171, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 187, 188, 190, 198

S

Saneamento Básico 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 150, 154, 156, 166, 169

Sedimentos 48, 51, 52, 54, 55, 57, 59, 61, 63, 64, 70, 75, 76, 86, 89, 90, 91, 112, 113, 115, 116

Sistemas de Informação Geográfica 15, 16





T

Tratamento 38, 94, 95, 98, 102, 105, 121, 125, 129, 130, 133, 139, 147, 153, 155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 168, 171, 174, 189, 190, 191, 193, 196, 198

V

Válvula 1, 3, 6, 7, 8, 12, 17

Ventosa y Modelo de Simulación 1

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

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

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

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA
