

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária



Daniel Sant'Ana
(Organizador)

Base de Conhecimentos Gerados 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 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
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 Internazionale 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 Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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. 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
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª 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
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. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
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. 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
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª 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
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. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª 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
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
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
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

Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-744-4

DOI 10.22533/at.ed.444211901

1. Engenharia. 2. Conhecimento. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.

CDD 620

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

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

A coleção *“Base de Conhecimentos Gerados 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.

Com o crescimento desordenado das cidades brasileiras, observamos, cada vez mais, os impactos de ocupações urbanas sobre o meio ambiente. Com isso, os primeiros capítulos deste livro debatem sobre a importância da legislação no controle do crescimento desordenado das cidades e na proteção ambiental de bacias hidrográficas, seja pela proteção e a recuperação de matas ciliares ou pela gestão sustentável de águas pluviais urbanas.

E na medida em que as cidades crescem, a demanda por água potável aumenta. Com isso, torna-se crucial promover o controle da demanda urbana de água por meio de medidas que estimulem o uso racional de água, seja por meio de uma revisão tarifária (Capítulo 5) ou pela otimização das redes de distribuição de água (Capítulos 6 e 7).

O uso de fontes alternativas de água, como o aproveitamento de águas pluviais em usos não potáveis, é capaz de promover reduções significativas no consumo de água potável em edificações (Capítulo 8). Porém, para garantir a saúde e o bem-estar de usuários, toda água deve passar por um processo de tratamento capaz de atingir os padrões de qualidade estabelecidos em legislação ou instrumentos normativos (Capítulos 9 e 10).

Evidentemente, para qualquer tomada de ação, é necessário um diagnóstico preliminar para avaliar as condições das águas. Os Capítulos 11 e 12 realizam diagnósticos da qualidade de águas subterrâneas, enquanto os capítulos subsequentes apresentam resultados de análises da qualidade de água do Rio Piabinha (Capítulo 13), Córrego Mirasol (Capítulo 14) e do Rio Chumbao, Peru (Capítulo 15).

A evolução da inovação tecnológica vem auxiliando tomadores de decisão na gestão de recursos hídricos (Capítulos 16 e 17) para garantir a segurança hídrica no abastecimento de água e na preservação ambiental. Os capítulos finais deste volume discorrem a importância de promover a conscientização da população e a educação ambiental para reduzir os impactos ambientais causados pelas ações do ser humano.

Este primeiro volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes partes do país, Argentina e Peru, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos à legislação, abastecimento de água, diagnóstico de qualidade das águas, inovação tecnológica e educação ambiental. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DOS INSTRUMENTOS JURÍDICOS QUE NORTEIAM O DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL, DAS OBRAS DE HABITAÇÃO, INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE, EM LAGES-SC

Mayara Rafaeli Lemos
Daniely Neckel Rosini
Valter Antonio Becegato
Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino

DOI 10.22533/at.ed.4442119011

CAPÍTULO 2..... 20

CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS DA APLICAÇÃO DO DECRETO ESTADUAL Nº 42.356/2010 NA DELIMITAÇÃO DE FAIXA MARGINAL DE PROTEÇÃO EM ÁREA URBANA CONSOLIDADA. ESTUDO DE CASO: RIO PIABANHA/RJ - TRECHO 4

Jorge Chaves Junior
Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho
Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes Assumpção

DOI 10.22533/at.ed.4442119012

CAPÍTULO 3..... 31

AVALIAÇÃO AMBIENTAL ESTRATÉGICA: POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA, NO ESTADO DE GOIÁS

Raquel Santarém de Souza Costa
Aldo Muro Junior
Flávio Roldão de Carvalho Lélis

DOI 10.22533/at.ed.4442119013

CAPÍTULO 4..... 47

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO ORDENAMENTO JURÍDICO ACERCA DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL COM FOCO NAS REGIÕES SUDESTE E SUL

Jordana dos Anjos Xavier
Emili Louise Diconcili Schutz
Nicole Martins Pessoa
Daniely Neckel Rosini
Débora Cristina Correia Cardoso
Valter Antonio Becegato
Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino
Natália Martins Vieira

DOI 10.22533/at.ed.4442119014

CAPÍTULO 5..... 61

INDICADOR ECONÔMICO FINANCEIRO PARA AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE REVISÃO TARIFÁRIA EM CONCESSÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NOS MUNICÍPIOS CATARINENSES

Daniel Antonio Narzetti

Willian Carlos Narzetti
Ricardo Motta Martins
Ciro Loureiro Rocha
Diego Pavam Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.4442119015

CAPÍTULO 6..... 73

**INFLUÊNCIA DAS EQUAÇÕES EXPLÍCITAS DE FATOR DE ATRITO NO
DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Renata Shirley de Andrade Araújo
Alessandro de Araújo Bezerra
Bruno Duarte Moura
Mauro César de Brito Sousa

DOI 10.22533/at.ed.4442119016

CAPÍTULO 7..... 88

QUANTIFICANDO PERDAS HÍDRICAS EM CIDADES PARAIBANAS

Ayuri Medeiros da Silva
Carolina Coeli Rodrigues Batista de Araújo
Flaubert Ruan Nobelino de Araujo
Mikaele de Oliveira Candeia
Francisca Rozângela Lopes de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.4442119017

CAPÍTULO 8..... 98

**PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA APROVEITAMENTO NO
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL DO CAMPUS ALTO PARAOPEBA – UFSJ**

Deysiane Antunes Barroso Damasceno
Isabela Carvalho Pinheiro
Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

DOI 10.22533/at.ed.4442119018

CAPÍTULO 9..... 109

**SEGUIMIENTO FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA EN LA LOCALIDAD
DE AGUARAY – SALTA**

Claudia Silvana Soledad Cequeira
Cecilia Hebe Noemi Orphèe
Maria Ines Mercado
Rosa Magdalena Cruz

DOI 10.22533/at.ed.4442119019

CAPÍTULO 10..... 117

**OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE FLOCULAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

David Choque-Quispe
Yudith Choque Quispe
Betsy Suri Ramos Pacheco
Aydeé Marilú Solano Reynoso

Lourdes Magaly Zamalloa Puma
Carlos Alberto Ligarda Samanez
Fredy Taipe Pardo
Miriam Calla Flórez
Miluska Marina Zamalloa Puma
Jhuniór Felix Alonzo Lanado
Yadyra Quispe Quispe

DOI 10.22533/at.ed.44421190110

CAPÍTULO 11..... 126

APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CIDADE DE ABATETUBA – PARÁ

Gabriel Pereira Colares da Silva
Éverton Costa Dias
Giovanni Chaves Penner
Adria Lorena de Moraes Cordeiro
Cleyanne Kelly Barbosa Souto

DOI 10.22533/at.ed.44421190111

CAPÍTULO 12..... 137

MODELAGEM DO FLUXO DE CONTAMINANTES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CEMITÉRIO AREIAS, TERESINA, BRASIL

Mauro César de Brito Sousa
Bruna de Freitas Iwata

DOI 10.22533/at.ed.44421190112

CAPÍTULO 13..... 148

ANÁLISE DO SANEAMENTO E DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA

Luis Carlos Soares da Silva Junior
José Paulo Soares de Azevedo
Ana Silvia Pereira Santos
Verônica Silveira de Andrade
Marília Carvalho de Melo

DOI 10.22533/at.ed.44421190113

CAPÍTULO 14..... 160

PHYSICO-CHEMICAL DIAGNOSIS OF WATER QUALITY IN THE MIRASSOL STREAM, CITY OF SÃO PAULO, BRAZIL

André Contri Dionizio
Marta Ângela Marcondes
Raul Neiva Bertulucci

DOI 10.22533/at.ed.44421190114

CAPÍTULO 15..... 172

ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y CONTAMINANTES EMERGENTES, PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL RIO CHUMBAO, PERÚ

Carlos Alberto Ligarda Samanez

David Choque Quispe
Betsy Suri Ramos Pacheco

DOI 10.22533/at.ed.44421190115

CAPÍTULO 16..... 185

SISTEMA EM PLATAFORMA WEB PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA) EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Nolan Ribeiro Bezerra
Isabela Moura Chagas
Geraldo Alves Pereira Júnior

DOI 10.22533/at.ed.44421190116

CAPÍTULO 17..... 198

SISTEMA WEB PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR DIFERENTES MÉTODOS

Lucas Moraes dos Santos
Taison Anderson Bortolin
Adriano Gomes da Silva
Vania Elisabete Schneider

DOI 10.22533/at.ed.44421190117

CAPÍTULO 18..... 217

UM CENÁRIO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO SANTARÉM - PA: ESTUDO DE CASO - RESIDENCIAL SALVAÇÃO

Jarlison Sarmento Lopes
Andressa Rodrigues de Sousa
Antônia Liliâne Ferreira de Oliveira
Claudiane da Silva Rosa
Ewellyn Cristina Santos de Sousa
Kairo Silva de Oliveira
Elton Raniere da Silva Moura
Maria Francisca de Miranda Adad

DOI 10.22533/at.ed.44421190118

CAPÍTULO 19..... 233

EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DURANTE A PANDEMIA DO CORONAVÍRUS EM ESCOLAS RURAIS DE LAGES-SC

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190119

SOBRE O ORGANIZADOR..... 245

ÍNDICE REMISSIVO..... 246

MODELAGEM DO FLUXO DE CONTAMINANTES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CEMITÉRIO AREIAS, TERESINA, BRASIL

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 23/10/2020

Mauro César de Brito Sousa

Instituto Federal do Piauí
Teresina, PI, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2049460389729603>

<https://orcid.org/0000-0002-0650-6577>

Bruna de Freitas Iwata

Instituto Federal do Piauí
Teresina, PI, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3036032785449787>

<https://orcid.org/0000-0002-6465-9731>

RESUMO: O impacto de cemitérios na qualidade das águas subterrâneas foi observado em vários países do mundo. Em Teresina, Brasil, o cemitério Areias é um típico exemplo deste tipo de impacto ambiental, pois oferece riscos à comunidade local pela possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas da região. Este estudo utilizou a simulação do fluxo subterrâneo para avaliar o transporte de contaminantes via águas subterrâneas e analisar a extensão de uma possível pluma de contaminação oriunda do cemitério. Os resultados apontados pela simulação computacional indicaram pequena probabilidade de avanço da contaminação para além dos limites da necrópole. Assim, o método proposto neste artigo oferece uma importante contribuição para melhorar o diagnóstico ambiental na área do cemitério Areias.

PALAVRAS-CHAVE: Águas subterrâneas,

modelagem computacional, necrópoles.

MODELLING OF CONTAMINANTS FLOW IN GROUNDWATER IN THE AREIAS CEMETERY, TERESINA, BRAZIL

ABSTRACT: The impact of cemeteries on groundwater quality was observed in many countries all over the world. The Areias cemetery in Teresina, Brazil, is a typical example of that kind of environmental impact, because it presents risks to local people by the possibility of contamination in superficial water and groundwater. This case study used groundwater flow simulation to evaluate contaminants transport on the water and analyze the extension of a possible contamination from the cemetery. The results showed by computational simulator indicated small probability of the contamination drive exceed the necropolis limits. Thus, the proposed method in this article offers an important contribution to improve environmental diagnosis in the Areias cemetery area.

KEYWORDS: Groundwater, computational modelling, cemeteries.

1 | INTRODUÇÃO

Se inadequadamente localizados ou insuficientemente protegidas, as necrópoles representam um problema de saúde pública comumente negligenciado, com considerável risco de contaminação de solos e aquíferos (Żychowski, 2012).

Segundo boletim técnico da ABAS (2001), no Brasil, praticamente a totalidade

dos cemitérios municipais apresentam algum problema de cunho ambiental ou sanitário. Além disso, é comum que a comunidade de baixa renda, localizada nas imediações dos cemitérios, utilize as águas dos aquíferos freáticos sem o conhecimento dos perigos de contaminação.

O lixiviado gerado na decomposição da matéria orgânica enterrada na subsuperfície de necrópoles pode adentrar os espaços intragranulares do solo e encontrar o lençol freático, tornando-o poluído pelo aumento da concentração natural de substâncias orgânicas e inorgânicas (Bouwer 1978, Üçisik e Rushbrook 1998, Environment Agency 2002, Environment Agency 2004, Martins et al. 1991, Pacheco 2000, Matos 2001, Dent 2005).

De forma geral, em águas subterrâneas, o impacto está associado com o aumento das concentrações de microrganismos (Dent e Knight 1998, Matos 2001), de íons (Knight e Dent 1995, Pacheco et al. 2000, Üçisik e Rushbrook 1998) e vários elementos químicos nos solos (Spongberg e Becks, 2000). Segundo a Environment Agency (2002), observando dados disponíveis e comparando-os com padrões de qualidade aceitos mundialmente, verifica-se que o nitrogênio amoniacal é o parâmetro mais suscetível de ser ultrapassado.

Em Teresina, capital do Piauí, Brasil, o caso do cemitério Areias, chama a atenção pela peculiaridade da situação. Localizado às margens do Rio Parnaíba, principal manancial de água para abastecimento e à montante do ponto de captação da concessionária de abastecimento da cidade, o cemitério oferece riscos à comunidade local pela possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região.

Sousa et. al (2015) realizou uma ampla campanha de amostragens da qualidade das águas subterrâneas na localidade, donde a partir dos resultados das amostras coletadas, determinou-se a baixa ocorrência de indicadores de contaminação no aquífero livre do cemitério em estudo.

Apesar dos dados apresentados, foi perceptível a necessidade de aprofundamento de outras frentes de pesquisa para dirimir dúvidas da comunidade, que continuava propensa a acreditar na possível contaminação advinda dos limites do cemitério. Assim, utilizou-se a modelagem computacional do aquífero local para propiciar maiores subsídios ao diagnóstico da contaminação apresentado por Sousa et. al (2015).

A presente investigação propôs, portanto, a modelagem computacional do aquífero freático em questão, com o objetivo de estabelecer a velocidade do fluxo subterrâneo e deliberar sobre a possibilidade de propagação de uma pluma de contaminação composta por formas de nitrogênio e microrganismos patogênicos.

2 | MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Caracterização da área de estudo

O cemitério Areias está situado na margem direita do Rio Parnaíba, em zona urbana, na região sul da cidade de Teresina e a montante do ponto de captação de água superficial para abastecimento público.

A base geológica do município de Teresina pertence à uma estrutura geológica de dimensões regionais conhecida por Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão. Entre as unidades de solo, destaca-se o Latossolo Vermelho-Amarelo, situado em uma faixa paralela ao rio Parnaíba, com uma largura média de 10 km, ocorrendo com grande profundidade. A média anual da precipitação acumulada é de 1332 mm, com regime pluviométrico concentrando-se com 75,6% da chuva nos primeiros quatro meses do ano e 24,4% restantes nos oito meses subsequentes (Teresina, 2002).

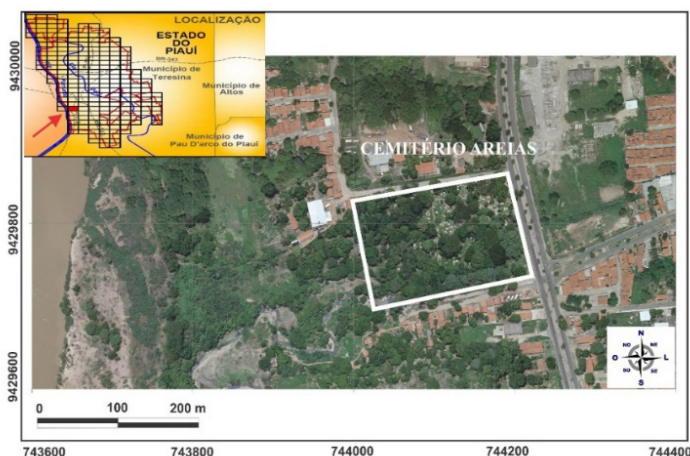


Figura 1. Localização do Cemitério Areias na Zona UTM 23, Teresina, Piauí, Brasil.

Fonte: Sousa *et. al* (2015).

2.2 O modelo computacional

Dentre os modelos numéricos computacionais disponíveis, utilizou-se nessa pesquisa o PMWIN PRO®, desenvolvido por Chiang (2005), que oferece interface para simulação do fluxo da água subterrânea no pacote MODFLOW® (McDonald e Harbaugh, 1988) e simulação do transporte advectivo de partículas no pacote PMPATH® (Chiang e Kinzelbach, 1994).

Para calibração do modelo, onde é realizada o ajuste dos parâmetros para produzir as cargas hidráulicas e fluxo medidos no campo, foi utilizado o procedimento desenvolvido

por Schuster (2004), denominado de Método Iterativo de Gradiente Hidráulico Alternativo ou MIGHA.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo de modelagem computacional aplicado na região do cemitério Areias e os itens subsequentes descrevem como foram obtidos cada um dos dados requeridos.

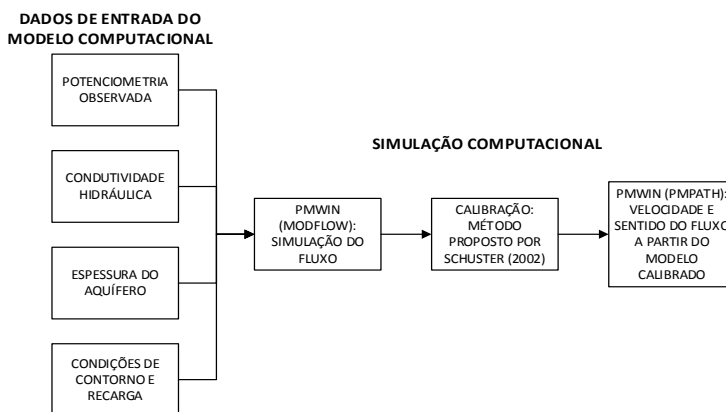


Figura 2. Simulação do fluxo e velocidade da água subterrânea

2.2.1 Potenciometria observada

Foram executados 4 poços de monitoramento para coleta de amostras da água subterrânea na localidade e determinação da profundidade do nível estático no período de observação do estudo. O monitoramento da variação do nível estático ocorreu durante o período de novembro de 2012 a outubro de 2013 (Sousa *et. al*, 2015).

O nível estático no mês de maio de 2013 foi considerado para estimativa da potenciometria inicial. Essa escolha é justificada pela maior proximidade do aquífero ao topo do terreno, o que levaria a maiores riscos de contaminação. A Figura 3 apresenta os pontos de monitoramento na área de estudo.

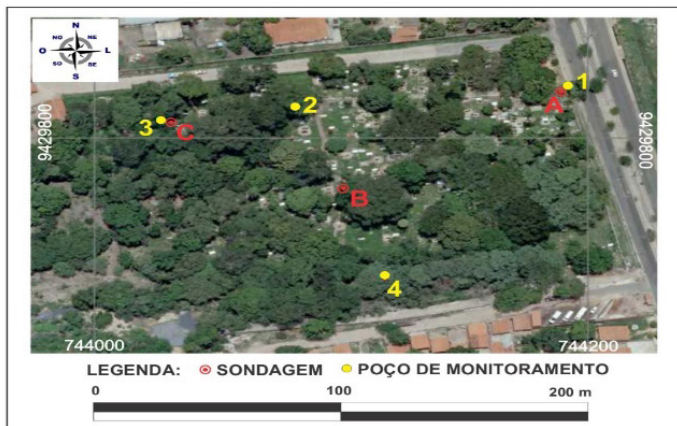


Figura 3. Localização dos pontos de sondagem

2.2.2 Estimativa inicial da condutividade hidráulica na área

Foram perfurados 28,35 m do regolito interno aos limites do cemitério, a partir de três furos de sondagem identificados na Figura 3. Segundo dados constantes nas sondagens, areias com granulometrias mais finas são uma tendência nos perfis amostrados (Sousa et. al, 2015).

Assim, foi proposto que o aquífero freático teria condutividade de 10-5 m/s, característico de areias finas, segundo valores de expressos em Todd (1980).

2.2.3 Determinação da espessura do aquífero

Considerou-se a camada de argila que passa a 7 m de profundidade no ponto de sondagem C – segundo estudo de Sousa *et. al* (2015) – como representativa do topo da camada considerada impermeável para toda a área modelada. Assim, o modelo conceitual do aquífero freático tem espessura de 7 m de profundidade.

2.2.4 Recarga do aquífero

O método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – Water Table Fluctuation) foi utilizado para a determinação da recarga do aquífero. Aplicável a aquíferos livres (não confinados), a recarga é calculada em função do rendimento específico do aquífero e das variações nos níveis de água ao longo do tempo (Maziero e Wendland, 2005). O resultado encontrado equivale a uma recarga de 103,66 mm/ano ou 3,28E-09 m/s.

2.2.5 Porosidade

Nessa pesquisa, a porosidade considerada foi de 43 %, segundo valores indicados por Todd (1980) para a predominância de areia fina no substrato do aquífero.

2.2.6 Condições de contorno

Considerou-se uma condição de contorno fixa (carga hidráulica especificada na fronteira de entrada de fluxo) e condição de contorno fixa no limite de saída de fluxo e jusante do cemitério. Aos dois outros limites laterais, partindo-se do princípio que existam linhas de corrente que tornam o fluxo nulo na direção perpendicular a essas fronteiras, admitiu-se contornos sem fluxo. Vide representações na Figura 4.



FIGURA 4. Condições de contorno

2.2.7 Discretização da malha e seleção do modelo numérico

O domínio do modelo compreende uma área de 34650 m² e foi discretizado em uma malha de diferenças finitas de dimensões 210 m ao longo da direção x e 165 m ao longo da direção y, com células de dimensões 5 X 5 m (Figura 13). Sendo considerada uma camada não confinada de espessura média de 7 m e recarga de 3,28E-09 m/s.

Os modelos numéricos utilizados foram o MODFLOW® (McDonald e Harbaugh, 1988), responsável pela simulação do fluxo de água subterrânea e o PMPATH® (Chiang e Kinzelbach, 1994), responsável pela simulação do transporte advectivo de partículas e determinação da velocidade de fluxo.

2.2.8 Calibração

Foi utilizado o método de calibração MIGHA (Schuster, 2004), que consiste em um processo iterativo que tem início com a estimativa da condutividade hidráulica, com a definição da potenciometria observada (com posterior cálculo do gradiente observado) e com a tomada da potenciometria calculada no MODFLOW (com cálculo posterior do gradiente calculado). A cada nova iteração no processo, o valor da condutividade é ajustado

e as cargas hidráulicas calculadas aproximam-se dos valores observados em campo.

Os ângulos (ϕ) formados pelos vetores do gradiente hidráulico observado e calculado, e o erro quadrático médio das cargas hidráulicas são utilizados como critério de convergência. Segundo esse critério, a modelagem é encerrada quando se atinge um valor mínimo predefinido tido por satisfatório.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do cenário modelado calibrado, foi possível abstrair o indicativo de velocidade de fluxo subterrâneo, importante para as conclusões deste estudo. A Figura 5 (à esquerda) indica o processo final de calibração do modelo computacional, onde encontrou-se o menor erro quadrático médio (RMSH) entre as cargas observadas e as cargas hidráulicas calculadas ao final da calibração, 0,0328 m. A divergência máxima encontrada na soma dos ângulos (ϕ) formados pelos vetores do gradiente hidráulico observado e calculado foi de apenas 5,35°, demonstrando o sucesso da calibração. O modelo foi calibrado com 12 iterações pelo processo proposto por Schuster (2004).

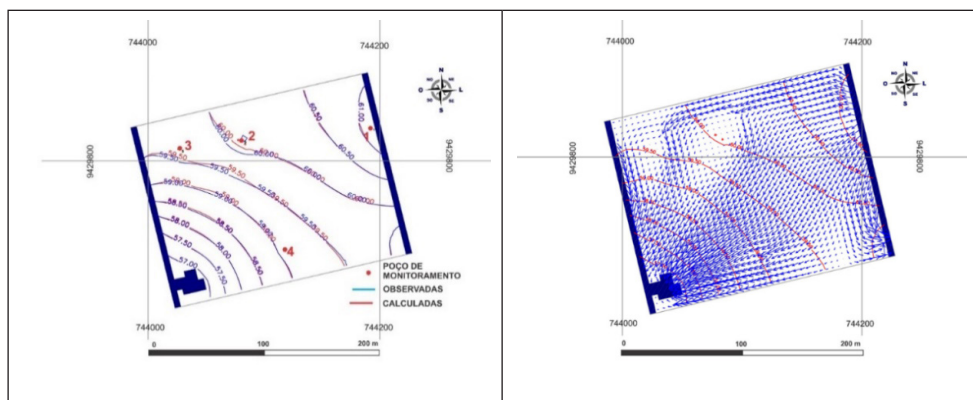


Figura 5. Cargas hidráulicas observadas x cargas hidráulicas calculadas após processo de calibração (à esquerda) e Sentido do fluxo subterrâneo (à direita)

O produto da calibração apresenta a condutividade hidráulica para a área de estudo e apresentou valores médios da ordem de $9.07E-05$ m/s, condizentes com a condutividade características de areias finas encontradas no aquífero freático local. A velocidade média linear do fluxo subterrâneo foi determinada em 0.0304 m/dia (11.10 m/ano) após simulação do fluxo calibrado no pacote PMPATH®. A Figura 5 (à direita) apresenta o sentido do fluxo subterrâneo modelado para a área do cemitério Areias.

Segundo Hirata (1994), existem dois mecanismos que descrevem o transporte de contaminantes associados ao fluxo no aquífero: a advecção e a dispersão. A advecção é

um processo hidráulico pelo qual o soluto é carregado pelo fluxo das superfícies igualando-se à velocidade linear média das águas subterrâneas. No caso de contaminantes não-degradáveis os efeitos podem ser maiores, pois por serem conservativos, a maior velocidade acaba resultando em maiores plumas, com maiores áreas atingidas.

A dispersão hidrodinâmica é um fenômeno em que um soluto, durante seu movimento em subsuperfície, se mistura com águas não-contaminadas, causando a redução na concentração original. A dispersão hidrodinâmica é uma função da heterogeneidade do meio, que induz a uma variação e uma estratificação da velocidade das águas subterrâneas, e em menor proporção, da difusão molecular (Hirata, 1994).

No caso do cemitério Areias, dois contaminantes foram estudados como representativos da contaminação. O primeiro, microbiológico, extremamente sensível às condições ambientais exteriores ao hospedeiro e, portanto, altamente degradável. O segundo, o nitrato, mais persistente e móvel, capaz de transpor grandes distâncias dependendo da sua concentração inicial.

Comumente, ao se proteger fontes de abastecimento, o primeiro passo é definir a zona de proteção microbiológica. Esta zona baseia-se na distância equivalente a um tempo de trânsito horizontal na zona saturada, servindo como barreira de atenuação contra atividades que infiltram vírus, bactérias e parasitas patogênicos (Foster et al., 2006).

Evidências empíricas mostram que estimar tempos de percursos entre 25 e 50 dias, é suficiente para reduzir concentrações de coliforme fecal a um nível de detecção improvável nas amostras de qualidade da água (ARGOSS, 2001). Dessa forma, convencionou-se que 50 dias é uma estimativa razoável para se definir a zona de proteção microbiológica, o que está em conformidade com a prática de muitos países de alta e baixa renda per capita (ARGOSS 2001, Taylor 2004).

Neste estudo, após simulação do fluxo calibrado no pacote PMPATH, a velocidade média linear do fluxo subterrâneo no cemitério Areias foi determinada em 0,0304 m/dia (11,10 m/ano). Com essa velocidade de fluxo subterrâneo, o limite de contaminação em 50 dias de trânsito na zona saturada seria de 1,52 m a jusante do cemitério, obedecendo a orientação do sentido de fluxo presente na Figura 5. Tal perspectiva, descredencia a probabilidade de uma possível contaminação microbiológica impactando o rio Parnaíba, devido à distância média de 400 metros entre o rio e a necrópole.

A contaminação do rio Parnaíba por uma pluma de nitrato oriunda do cemitério Areias, também pode ser desconsiderada devido às concentrações iniciais diminutas amplamente relatadas no estudo de Sousa et. al (2015). Além disso, as baixas velocidades envolvidas no fluxo subterrâneo do Areias, a distância do cemitério ao rio Parnaíba e a dispersão hidrodinâmica que pode acontecer na zona saturada, desempenham um importante papel na atenuação da pequena concentração de nitrato ainda existente.

4 | CONCLUSÃO

A modelagem computacional do fluxo subterrâneo tem desempenhado importante papel como dispositivo de subsídio para previsão e controle de contaminação em aquíferos. Atualmente, o gerenciamento de recursos hídricos, seja na delimitação de zonas de proteção de poços, avaliação de transporte de contaminantes ou remediação de sítios contaminados, tem sido facilitada pelo aporte de dados gerados por estes modelos.

Nesta pesquisa, a modelagem computacional forneceu estimativas da velocidade de fluxo subterrâneo como meio para delimitação da faixa máxima de impacto de uma pluma de microrganismo patogênicos e formas de dissolvidas de nitrogênio oriundas do cemitério Areias. A partir da velocidade média linear do fluxo subterrâneo, determinada em 0.0304 m/dia (11.10 m/ano), foi possível admitir que a faixa máxima de impacto de uma possível pluma de contaminação microbiológica não ultrapassaria 1,52 m a jusante do cemitério. Ademais, as baixas concentrações de formas dissolvidas de nitrogênio aliadas às baixas velocidades de fluxo subterrâneo descredenciam um possível impacto desse parâmetro químico em mananciais a jusante da necrópole.

REFERÊNCIAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. (2001). **Cemitérios: risco potencial às águas subterrâneas**. Boletim Informativo, n. 111, fev.

ARGOSS. (2001). **Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation**. British Geological Survey Commissioned Report CR/01/142. BGS keyworth, England. 104 p.

Bouwer, H. (1978). **Groundwater hydrology**. New York: McGraw-Hill Book, 480 p.

Chiang, W. H. (2005). **3D - Groundwater modeling with PMWIN: a simulation system for modeling groundwater flow and transport processes**. 2. ed. New York: Springer Berlin Heidelberg. 397 p.

Chiang, W. H; Kinzelbach, W. (1994). **PMPATH for Windows: User's manual**. Washington, DC: Scientific Software Group.

Dent, B. B.; Knight, M. J. (1998). **Cemeteries: a special kind of landfill**. In: International Association Of Hydrogeologists Sustainable Solutions Conference, February 1998, Melbourne. Proceedings... Kenilworth: IAHS.

Dent, B. B. (2005). **Vulnerability and the unsaturated zone: the case for cemeteries**. In: Joint Conference, New Zealand Hydrological Society, International Association of Hydrogeologists (Australian Chapter) and New Zealand Soil Science Society, 5., Nov. 30 – Dec. 2 2005, Auckland. Proceedings: where waters meet. Auckland: IAHS.

Environment Agency. (2002). **Pollution potential of cemeteries – Draft Guidance**. R&D Technical Report P223, 71.

Environment Agency. (2004). **Assessing the groundwater pollution potential of cemetery developments.** 20 p.

Foster, S. S. D.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'elia, M. Paris, M. (2006). **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos Municipais e agências ambientais.** Tradução Silvana Vieira. Revisão Técnica Ricardo Hirata. São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

Hirata, R. (1994). **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no estado de São Paulo.** 1994. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

Knight, M.J.; Dent, B.B. (1995). **A watery grave – the role of hydrogeology in cemetery Practice.** Australian Cemeteries & Crematoria Association National Conference – Sydney, 8–12 October, ACCA News, Summer, pp. 19–22.

Manoel Filho, J.; Feitosa, F. A. C. (2000). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 2ª Edição. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil; LABHID - Laboratório de Hidrogeologia da UFPE, 391 p ISBN.

Martins, T.; Pellizari, V. H.; Pacheco, A.; Myaki, D. M.; Adams, C.; Bossolan, N. R. S. et al. (1991). **Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios.** Revista Saúde Pública, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 47-52.

Matos, B. A. (2001). **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismo no aquífero frêático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo.** 2001. 161f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Maziero, T. A.; Wendland, E. (2005). **Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos-SP.** In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, Ribeirão Preto. Anais do XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. São Paulo - SP: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v. 1. p. 1-18.

Mcdonald, M. G.; Harbaugh, A. W. (1988). **MODFLOW: a modular three-dimensional finite difference ground-water flow model.** Washington: United States Government Printing Office. U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, Chapter A1. 523 p.

Pacheco, A. **Cemitérios e meio ambiente.** (2000). 102f. Tese (Livre Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Schuster, H. D. M. (2002). **Modelagem Matemática do Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas-Bahia.** Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades na Bacia do São Francisco - ANA/GEF/PNUMA/OEA, Salvador-BA, 59 p.

Sousa, M. C. B., Castro, M. A. H, Monteiro, C. A. B., Pessoa, G. P., Souza, C. D. (2015). **Estudo da contaminação do aquífero próximo ao cemitério Areias, Teresina/PI, Brasil.** Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 6, n. 1, p. 41-57, jan./jun.

Spongberg, A.L.; Becks, P. (2000). Organic Contamination in Soils Associated with Cemeteries. *Journal of Soil Contamination* 9 (2), 87–97.

Taylor, R.; Cronin, A.; Pedley, S.; Barker, J.; Atkinson, T. (2004). **The implications of groundwater velocity variations on microbial transport and wellhead protection - review of field evidence.** *FEMS Microbiol. Ecology*, v. 49, n. 1, p. 17-26.

TERESINA. (2002). Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. **Teresina: Agenda 2015 – Plano de Desenvolvimento Sustentável.** Teresina.

Todd, D. K. (1980). **Groundwater hydrology.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 537 p.

Üçisik, A. S.; Rushbrook, (1998). P. **The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing.** Copenhagen: WHO, 15p.

Żychowski, Józef. (2012). **Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review.** *Catena*, v. 93, p. 29-37, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água 9, 11, 12, 19, 21, 22, 23, 30, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 77, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 117, 118, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 197, 198, 199, 202, 204, 205, 218, 227, 245

Água pluvial 52, 55, 58, 98, 102, 103, 107, 245

Água potável 9, 52, 53, 55, 89, 91, 98, 99, 103, 107, 185, 186

Água residual artificial 118

Águas subterrâneas 99, 126, 128, 129, 131, 136, 137, 138, 144, 145, 146

Água subterrânea 126, 127, 128, 135, 136, 139, 140, 142, 146

Aproveitamento de água de chuva 56, 59, 60, 98, 99, 101, 108, 245

Atividade floculante 117, 118

Automatização 198

Avaliação de risco 185

B

Bacia hidrográfica 1, 2, 3, 5, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 23, 148, 150, 186, 194

Bacteriología 109

C

Captação pluvial 48, 50, 55, 56, 57

Carga orgânica 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Contaminación del agua 172, 175

Coronavírus 233, 234, 235, 242

D

Desempenho 18, 61, 72, 96, 157, 200, 201, 213, 214, 215

Desenvolvimento urbano 3, 6, 31, 35, 37, 38, 39, 41, 44, 51

Distribuição de água 9, 75, 86, 88, 89, 91, 129, 188

Drenagem urbana 19, 47, 48, 49, 53, 57, 58, 60

E

Educação ambiental 54, 217, 218, 219, 220, 225, 226, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235,

236, 237, 243

Esgotamento sanitário 9, 12, 61, 65, 148, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 218

Evapotranspiração 198, 199, 200, 203, 204, 205, 206, 212, 213, 214, 215

I

Indicador de revisão tarifária 61

Infraestrutura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 96, 148, 150, 194

Inundações 12, 16, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56

L

Legislação 3, 4, 6, 10, 21, 22, 30, 31, 38, 48, 54, 55, 56, 57, 63, 127, 234

M

Medio ambiente 116, 172

Método GOD 126, 128, 130, 132, 133, 135, 136

Microbacia 160, 161

Modelagem computacional 137, 138, 140, 145

Monitoramento 17, 35, 37, 41, 43, 44, 58, 70, 128, 140, 148, 151, 155, 159, 161, 185, 187, 189, 192, 195, 196, 201, 213

P

Perdas de água 88, 91, 92, 94, 96, 97

Porcentagem de remoção 117, 118

Q

Qualidade de água 148, 151, 156, 157

R

Recursos hídricos 3, 17, 22, 30, 40, 51, 57, 58, 59, 73, 88, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 126, 127, 135, 136, 145, 149, 150, 156, 158, 159, 173, 176, 184

Regulação econômica financeira 61

Relações ecológicas 233, 234, 235, 236, 240, 241, 242

S

Salud pública 109, 116, 172, 174

Saneamento 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 32, 39, 61, 62, 63, 66, 69, 70, 72, 73, 92, 96, 97, 126, 128, 148, 150, 151, 152, 157, 158, 159, 185, 186, 187

Software livre 185, 188

Sustentabilidade 19, 26, 31, 33, 34, 37, 38, 39, 43, 44, 60, 61, 62, 63, 64, 69, 72, 96, 97, 98, 108, 220, 222, 223, 224, 245

U

Urbanização 1, 3, 4, 6, 7, 12, 17, 18, 23, 48, 49, 57, 59, 219, 220, 232

Uso e ocupação do solo 3, 6, 17, 21, 31, 34, 35, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 126

V

Vulnerabilidade ambiental 126, 127

W

Web service 185, 186

Base de Conhecimentos Gerados 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 

Base de Conhecimentos Gerados 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 