



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 Cremo

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, PARNÁIBA, 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

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

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 17/07/2020

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ,
<http://lattes.cnpq.br/5792883380687165>

Gabrielle Sthefanine Silva Azevedo

Departamento de Estrutura e Geotecnia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ,
<http://lattes.cnpq.br/1778048425326016>

Leandro Rangel Corrêa

Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente UERJ
<http://lattes.cnpq.br/7598088657682786>

Elisabeth Ritter

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
<http://lattes.cnpq.br/3448106119318351>

RESUMO: O presente trabalho consiste em um estudo da compressibilidade dos resíduos sólidos urbanos por meio dos deslocamentos verticais e horizontais registrados no vazadouro de Marambaia, localizado no município de Nova Iguaçu – RJ. Para isto, foram analisados dados de monitoramento de 6 marcos superficiais instalados na região durante um período de 8 anos. Com base nestes dados, efetuou-se

a calibração de três modelos de previsão de recalques a longo prazo: modelo de Sowers, Ling *et al.* e Marques. Com base na calibração foi feita uma projeção dos recalques para um período de 30 anos após o início das medições. A partir dos resultados, concluiu-se que os deslocamentos verticais e horizontais apresentaram baixa magnitude, não indicando riscos de ruptura e que os modelos, embora conceitualmente diferentes, apresentaram curvas de recalques a longo prazo com características semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Recalque, deslocamento horizontal, vazadouro, modelos de previsão, compressibilidade.

1 | INTRODUÇÃO

Áreas contaminadas por resíduos sólidos são comumente encontradas no entorno das cidades brasileiras, como consequência da falta de planejamento do processo de urbanização e inexistência de sistemas efetivos de gestão de resíduos sólidos. Nas grandes cidades, a partir dos anos 90, muitos dos lixões foram remediados e convertidos em aterros controlados, com o objetivo de continuar recebendo os resíduos daqueles municípios, van Elk (2007). A prática de descartar resíduos em lixões e aterros controlados está presente em todas as regiões do Brasil, de acordo com a ABRELPE 2019, dos 73 milhões de toneladas coletadas, 40% são destinados lixões, totalizando 2.255 municípios que ainda adotam esta forma inadequada de disposição final.

Muitas vezes estes lixões situam-se em áreas de proteção ambiental, próximas a nascentes de águas e manguezais. Os lixões causam forte impacto ambiental, poluem o solo, contaminam águas superficiais e subterrâneas com a infiltração dos lixiviados, poluem o ar com gases de efeito estufa, provocam perigos de explosão, proliferação de vetores que disseminam doenças, emitem fortes odores, além de desvalorizar terrenos em áreas do seu entorno, van Elk & Boscov, (2018). Muitos desses aterros controlados e lixões não são sequer monitorados e seu estado de degradação é incerto.

Esta degradação que transforma os resíduos em gases e lixiviados resulta em recalques, (Palma, 1995; Pereira, 2000). Os recalques podem ser devidos a processos mecânicos e por biodegradação da matéria orgânica, podendo significar perigos para novas construções ou qualquer obra de infraestrutura construídas nestes terrenos depois de encerradas as atividades de operação (Sowers, 1973, Charles 1984). Muitos desses antigos vazadouros estão situados em áreas que se valorizaram e que podem ser utilizadas para outros fins. Exemplos de construções em tais situações são apontados por Pereira (2000) e Ivanova (2008).

Neste trabalho são apresentados e discutidos dados de movimentos verticais do vazadouro de Marambaia, no período de fevereiro de 2008 até setembro de 2015, totalizando um intervalo de tempo de 2.771 dias. Para a análise da compressibilidade, utilizou-se dados de monitoramento de recalques obtidos por meio de marcos superficiais. Estes dados foram analisados à luz dos seguintes modelos de compressibilidade: Sowers (1973), Ling *et al.* (1998) e Marques (2001).

2 I MODELOS DE PREVISÃO DE RECALQUES

2.1 Modelo de Sowers (1973)

Sowers (1973) foi o primeiro a desenvolver um modelo de previsão de recalque baseado nos conceitos da mecânica dos solos, Pereira, 2000. O autor considera que as deformações ocorrem devido a recalque primário (adensamento) e um recalque secundário dependente do tempo. Segundo o autor a magnitude dos recalques é expresso pela equação

$$\Delta H = \Delta H_c + \Delta H_a \quad (1)$$

Sendo ΔH o recalque total dos resíduos, ΔH_c o recalque primário e ΔH_a o recalque secundário.

O recalque primário é expresso pela equação 2.

$$\Delta H_c = C'_c H_0 \log \frac{\sigma'_{11}}{\sigma'_{10}} \quad (2)$$

Onde C'_c = índice de compressão primária modificado; H_0 = altura inicial da camada de resíduos antes do recalque; σ'_{11} = tensão efetiva vertical final; e σ'_{10} = tensão efetiva vertical inicial.

O recalque secundário é dado pela equação 3.

$$\Delta H_a = C'_a H_0 \log \frac{t_2}{t_1} \quad (3)$$

Onde: C'_a = índice de compressão secundário modificado; H_0 = altura inicial da camada de resíduos antes do recalque; t_1 = tempo inicial do processo de recalque secundário; e t_2 = tempo final do processo de recalque secundário.

2.2 Modelo hiperbólico de Ling *et al.* (1998)

Ling *et al.* (1998), propôs a utilização de uma função hiperbólica para a estimativa de recalques em aterros de resíduos sólidos urbanos. Este modelo incorpora em uma única equação os recalques primários e secundários, sendo o tempo inicial, o tempo correspondente ao início das medidas de recalque. O modelo é descrito pela equação 4:

$$S = \frac{t}{\frac{1}{\rho_0} + \frac{t}{S_{ult}}} \quad (4)$$

Onde: t = diferença entre o instante considerado e o início das medidas; S = diferença entre o recalque no tempo considerado e o recalque inicial p_0 = taxa ou velocidade inicial de recalques; S_{ult} recalque final.

Os parâmetros p_0 e S_{ult} devem ser determinados pela transformação da equação 2 através de relações t/S versus t e realizando uma análise de regressão linear, conforme está descrito a equação 5, em que os inversos do intercepto e da inclinação fornecem os parâmetros p_0 e S_{ult} .

$$\frac{t}{S} = \frac{1}{\rho_0} + \frac{t}{S_{ult}} \quad (5)$$

2.3 Modelo de Biodegradação de Marques (2001)

O modelo de Marques (2001) leva em consideração o comportamento reológico dos RSU e é utilizado para o cálculo da compressão mecânica e compressão devido a processos de creep e biodegradação. O modelo apresenta-se conforme descrito na equação 6.

$$\frac{\Delta H}{H} = C' \log \left(\frac{\sigma_0 + \Delta \sigma}{\sigma_0} \right) + \Delta \sigma \times b \times (1 - e^{-ct'}) + E_{dg} \times (1 - e^{-dt''}) \quad (6)$$

Onde: ΔH = recalque final; H = altura inicial do maciço; C' = índice de compressão primária; σ'_1 = tensão vertical efetiva inicial ao meio da camada sob análise; $\Delta \sigma$ = incremento de tensão vertical ao meio da camada sob análise; b = índice de compressão mecânica secundária; c = taxa de compressão mecânica secundária; E_{dg} = compressão total devido à degradação de resíduos; d = taxa de compressão biológica secundária; t' = tempo a partir da aplicação do carregamento; t'' = tempo a partir da disposição dos resíduos.

3 I METODOLOGIA

3.1 A área de estudo

Na composição deste item serão utilizadas informações do relatório técnico Resol (2003) e dos trabalhos dos autores Mattos (2005), Mota (2005), Silva (2016), Corrêa (2017) , Silva, 2017 e Azevedo, 2018.

O antigo “Lixão de Marambaia” localiza-se no município de Nova Iguaçu que integra a Baixada Fluminense e faz parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com área de aproximadamente 245.000m². O vazadouro era o destino final dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu por um período de aproximadamente 16 anos, entre maio de 1987 até fevereiro de 2003, chegando a atender uma demanda diária de até 1.000 toneladas de resíduos. Durante a maior parte deste tempo o vazadouro era operado de forma bastante precária e informal, e não se verificavam condições adequadas de atendimento aos requisitos mínimos de ordem sanitária e ambiental.

O processo de recuperação ambiental de toda a área que antes compreendia o Lixão de Marambaia iniciou-se em 2001. A área degradada foi cercada e isolada, sistemas de drenagem de águas pluviais e de gases e captação do lixiviado, foram implantados, além da impermeabilização e cobertura final de todas as áreas aterradas. Este processo se encerrou em setembro de 2004, onde apenas os sistemas de monitoramento de recursos hídricos e geotécnico foram mantidos até 2015, e é a partir deste monitoramento geotécnico que as análises de recalque desse trabalho serão apresentadas. A região do aterro em Vila de Cava atualmente encontra-se valorizada, principalmente pela presença de fazendas e sítios voltados para atividade de entretenimento e lazer.

3.2 Monitoramento Vertical

Ao todo, instalaram-se 20 marcos superficiais numerados de MS-01 a MS-20 distribuídos por toda a área do aterro. O monitoramento foi realizado durante o período de fevereiro de 2008 a setembro de 2015, totalizando assim 2.772 dias. Contudo, neste trabalho serão apresentados dados de seis marcos superficiais, MS 01, MS03, MS04, MS11, MS15 e MS16, com dados referentes a 5 e 7,5 anos de medições.

3.3 Monitoramento Horizontal

O monitoramento dos deslocamentos horizontais superficiais procedeu-se de forma semelhante, a partir da leitura das coordenadas dos marcos superficiais instalados no maciço e determinando o deslocamento a cada período. As medições ocorreram entre 01 de fevereiro de 2008 a 11 de junho de 2011, totalizando assim 1.243 dias.

3.4 Calibração dos modelos

A calibração de cada modelo foi feita empregando, como dados de entrada, os valores obtidos no monitoramento a fim de obter os parâmetros de compressibilidade necessários à aplicação de cada equação.

Para a previsão de recalques empregando o modelo de Sowers (1973), foram desconsiderados os recalques primários, pois as medições começaram 5 anos após encerramento das atividades no vazadouro.

A calibração deste modelo deu-se em duas etapas. A primeira etapa consistiu em reorganizar a equação (3) de forma que o índice de compressão secundário modificado, C'_α fosse a incógnita desejada, obtida através do método dos mínimos quadrados. A altura, H_0 foi considerada a altura inicial do aterro registrada no início das medições, o tempo inicial do processo de recalque secundário t_1 foi adotado como 1 dia para validar matematicamente a equação, t_2 foi considerado o intervalo de tempo em dias decorrido entre a primeira e a última leitura topográfica de cada marco superficial e o recalque final ΔH_α correspondente as leituras finais de recalques medidas.

Posteriormente utilizou-se a ferramenta Solver do Excel a fim de ajustar a curva de calibração à curva de monitoramento, de forma que o desvio entre elas fosse o menor possível, para isso estabeleceu-se os parâmetros C'_α e t_1 como variáveis de decisão, e a equação (3) como objetivo, e a restrição de desvio para valores mínimos. Desta forma os valores obtidos através da ferramenta Solver para C'_α foram entre 0,0011 a 0,002 e t_1 entre 35 e 128 dias.

O modelo empírico de Ling *et al.* (1998) dado pela equação (4) foi calibrado a partir de uma análise de regressão linear onde os parâmetros de entrada foram t e S , que correspondem ao tempo e recalque lidos em cada marco superficial.

Plotando-se curvas de dispersão t/s por t , e gerando assim as equações da reta que melhor se ajustaram a estas curvas, foi possível obter os valores de velocidade inicial, p_0 , e recalque final S_{ult} para cada MS. Com esses valores utilizou-se a ferramenta solver do Excel considerando a equação (5) como a célula de objetivo, as variáveis p_0 e S_{ult} foram as células de decisão, e a restrição era de desvio máximo próximo a zero. Com isso, os valores de p_0 obtidos variaram entre 0,049 e 0,3, e S_{ult} em 100 a 582 dias.

O modelo reológico de Marques (2001), expresso pela equação (6), considerou-se como zero a primeira parcela da equação, uma vez que a compressão mecânica primária ocorreu antes do início das medições. Sendo assim, os parâmetros desejados foram os coeficientes de compressão mecânica secundária, b ; taxa de compressão mecânica secundária c ; compressão total devido a degradação de resíduos, E_{dg} ; e a taxa de compressão biológica secundária d . Na primeira etapa da calibração, adotou-se para estas variáveis os valores sugeridos por Marques (2001), logo $b = 2,90E-04 \text{ Kpa}^{-1}$, $c = 9,70E-04 \text{ dia}^{-1}$, $E_{dg} = 1,30E-01$ e $d = 9,50E-04 \text{ dia}^{-1}$. Com esses dados iniciais, os tempos a partir da aplicação do carregamento, t' , neste caso adotado como o tempo ocorrido durante as medições; e o tempo t'' foi considerado o tempo total desde o encerramento das operações no aterro até o início das medições, o peso específico dos RSU foi adotado como 5 kN/m^3 , considerando que os resíduos não foram compactados, Pereira (2000), e H a altura inicial do maciço dada em mm. Com estes dados calculou-se os recalques finais, ΔH para cada MS.

Posteriormente, lançando mão da ferramenta Solver do Excel, buscou-se minimizar os desvios das curvas de recalque devido ao monitoramento e ao modelo, para tanto, fixou-se a equação (4) como célula objetivo e as variáveis b , c , E_{dg} e d , como variáveis de decisão. Aplicando a restrição de desvio mínimo chegou-se aos valores de b variando entre $5,12E-05$ e $1,96E-04$ Kpa^{-1} , c entre $5,11E-05$ e $2,69E-04$ dia^{-1} , E_{dg} entre $6,44E-04$ e $1,63E-04$ e $d = 9,48E-04$ dia^{-1} .

Efetuada as calibrações, foram calculados os recalques no aterro segundo cada modelo.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os recalques monitorados no aterro podem ser observados na figura 1 e na tabela 1. Nota-se que os valores de recalques apresentaram baixa magnitude, variando entre 78mm a 204 mm, o que representa uma deformação entre 0,22% a 0,41%. A baixa magnitude dos recalques deve-se ao fato das medições terem se iniciado 5 anos após o encerramento das atividades no aterro controlado, período em que os maiores recalques provavelmente já haviam ocorrido, Corrêa (2017). Principalmente, considerando os altos valores de umidade e temperatura, típicos do clima da região onde se encontra o vazadouro e a composição dos resíduos brasileiros em que predomina a matéria orgânica, Correia (2017) e van Elk *et. al.*, (2019).

De acordo com Edil (1990), a maior parte dos recalques ocorrem no primeiro ou segundo ano após encerramento das atividades do aterro. Baixas magnitudes de deformação também foram encontradas em Pereira, (2000) e van Elk *et al.* (2014) que realizou uma extensa campanha de monitoramento com medidas de recalques superficiais e profundos durante 600 dias em uma área do aterro controlado de Valdemingómez em Madri (Espanha). A campanha de auscultação indicou que os valores de deformação específica, obtidos com os marcos superficiais, foram de 3,9 e 3,2%.

Na figura 2 são apresentados resultados de deslocamentos horizontais obtido com os marcos superficiais. Observando os gráficos da figura 2, conclui-se que os marcos analisados não apresentaram deslocamentos horizontais significativos, os valores máximos foram de 7 mm, o que pode ser interpretado como deslocamentos horizontais nulos e/ou resultados da própria calibração do instrumento, Azevedo, 2018.

Pereira (2000) avaliou os deslocamentos horizontais de um aterro em Madrid utilizando inclinômetro. Foram obtidos os deslocamentos nas direções paralela e perpendicular ao eixo do maciço e chegou a conclusão de que os deslocamentos eram muito pequenos e tendiam a zero conforme aumentava a profundidade. Concluindo assim que as velocidades de recalques verticais e deslocamentos horizontais são independentes entre si. Outra observação feita por Pereira (2000) foi de que os deslocamentos são mais significativos na direção perpendicular ao eixo do maciço. Autores como Coducto e Huitric

(1990) e Simões et. al. (2009) também observam que os deslocamentos horizontais são maiores na direção perpendicular ao eixo do maciço, e que a velocidade de movimentação vertical é superior a horizontal.

MS	Período de leituras	Duração (dias)	H ₀ (m)	Recalque (mm)	Deformação (%)
1	01/02/2008 a 04/09/2015	2772	35,876	92	0,26
3	01/02/2008 a 04/09/2015	2772	35,854	78	0,22
4	01/02/2008 a 04/09/2015	2772	35,439	143	0,40
11	01/02/2008 a 04/09/2015	2772	49,783	204	0,41
15	01/02/2008 a 12/12/2012	1776	50,324	111	0,22
16	01/02/2008 a 12/12/2012	1776	50,193	138	0,27

Tabela 1 - Dados de Monitoramento Vertical

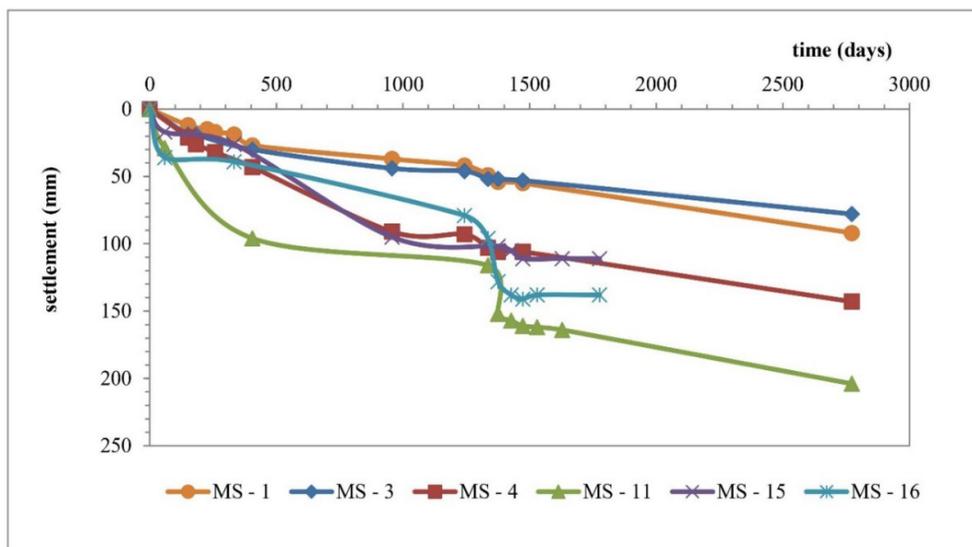


Figura 1 - Recalques Verticais Monitorados

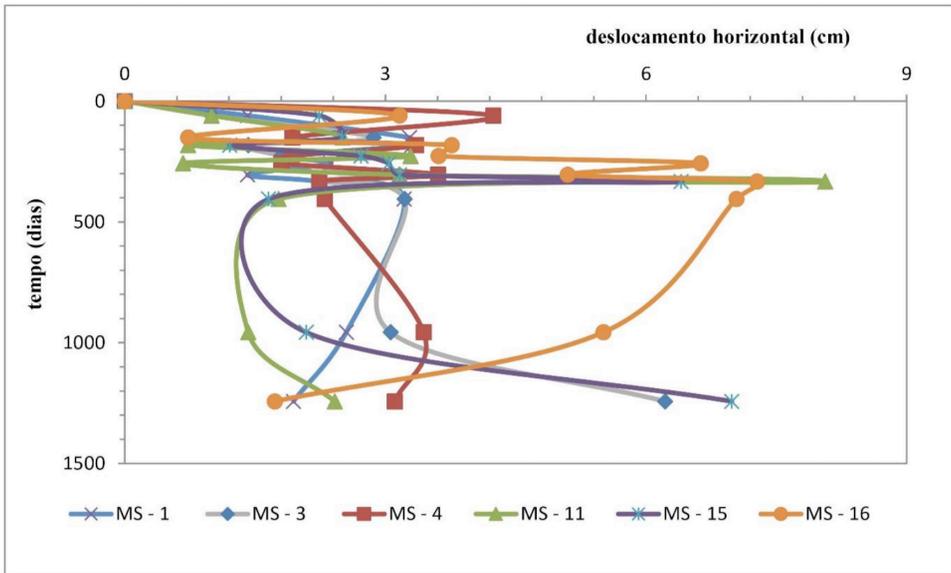


Figura 2 - Recalques Horizontais Monitorados

4.1 Previsão de Recalques

Com base nos parâmetros obtidos através da calibração dos modelos, foi feita uma previsão de recalques para 30 anos após o início das medições. As curvas de recalques a longo prazo obtidas com os modelos de previsão estão apresentadas nas figuras de 3 a 8.

Uma primeira observação é que, embora os modelos sejam conceitualmente diferentes, as curvas de previsão de recalques estão bastante aproximadas. De acordo com McDougall (2011) a complexidade de fatores que controlam os mecanismos de compressão secundária e a dificuldade de obter medidas de campo, encorajam o interesse por modelos baseados em funções logarítmica e exponencial, que dependem do tempo, como é o caso dos modelos de Sowers (1973) e Ling *et al.* (1998). Estes modelos podem apresentar bons resultados quando são calibrados com dados de campo. Embora a representação em termos de funções sejam uma simplificação do que ocorre no campo, pois os recalques por biodegradação, que tem um papel importante na compressibilidade dos resíduos, dependem de vários fatores como, umidade, temperatura, pH, composição, idade dos resíduos e forma de operação do aterro, o que torna difícil incluir todas estas variáveis em uma única equação. (McDougall, 2011, Babu *et al.*, 2010).

O modelo de Marques (2001) é mais elaborado do que os modelos de Sowers (1973) e Ling *et al.* (1998), na sua equação de recalques a longo prazo, incorpora os processos que ocorrem no aterro, como fluência e biodegradação. No entanto, os resultados de recalques previstos com este modelo são muito aproximados aos obtidos com os modelos de Sowers (1973) e Ling *et al.* (1998).

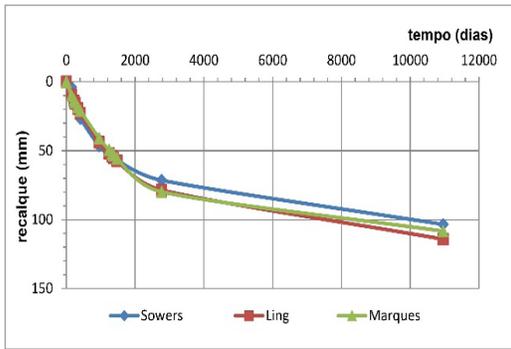


Figura 3 - Previsão de Recalque: MS 1

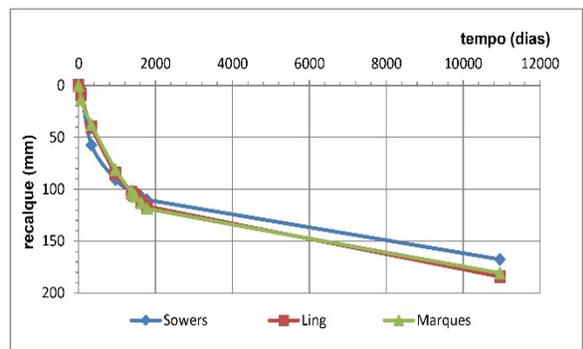


Figura 7 - Previsão de Recalque: MS 15

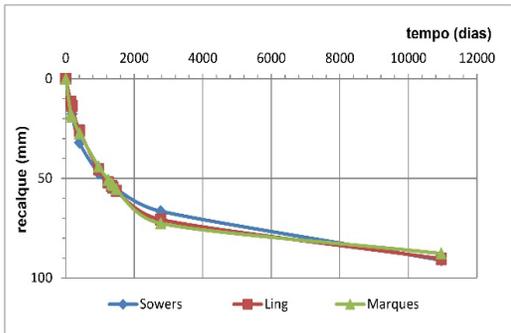


Figura 4 - Previsão de Recalque: MS 3

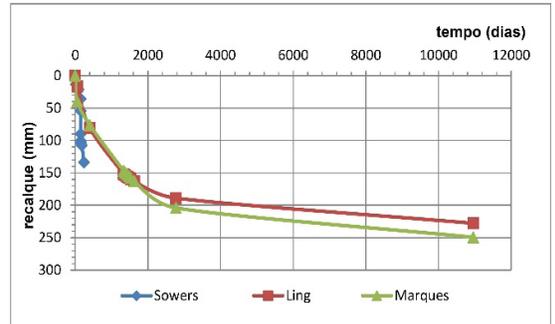


Figura 6 - Previsão de Recalque: MS 11

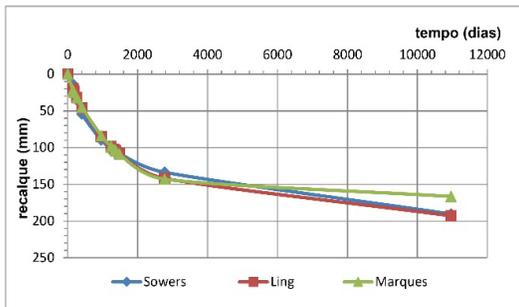


Figura 5 - Previsão de Recalque: MS 4

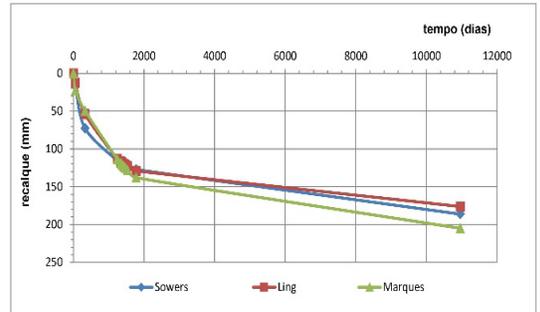


Figura 8- Previsão de Recalque: MS 16

51 CONCLUSÃO

O presente trabalho versa sobre um estudo da compressibilidade do vazadouro de Marambaia através de dados de recalques verticais durante um período de 8 anos. A partir dos dados de monitoramento obteve-se os parâmetros necessários para a calibração dos modelos de previsão de recalque de Sowers (1973), o modelo hiperbólico de Ling *et al.* (1998), e o modelo de Marques (2001). Com base nesta calibração estimou-se os recalques em um horizonte de 30 anos, após o início das medições.

Verificou-se a partir do monitoramento dos MS que os recalques sofridos pelo maciço apresentaram baixa magnitude, variando entre 78 mm a 204 mm, representando deformações entre 0,20% a 0,41%. É necessário ressaltar que o aterro esteve em operação por aproximadamente 16 anos, entre maio de 1987 a fevereiro de 2003, contudo as medições só aconteceram cinco anos após o encerramento das atividades, a partir de fevereiro de 2008. Portanto, é possível que a grande proporção de recalques já tivesse ocorrido. Princiamente considerando as condições climáticas do Rio de Janeiro e o alto percentual de matéria orgânica na composição dos resíduos sólidos urbanos que favorecem a decomposição da matéria orgânica.

Com respeito aos deslocamentos horizontais, os resultados obtidos através do monitoramento mostram que os valores foram muito pequenos, aproximadamente 7,5 mm. Onde se pode concluir que as velocidades de recalques verticais e horizontais são independentes entre si.

No que tange a previsão de recalques a longo prazo conclui-se que os modelos de Sowers (1973), Ling *et al.* (1973) e Marques (2001) se ajustaram muito bem às curvas de medições e apresentaram resultados bastantes aproximados, embora sejam conceitualmente diferentes. Os resultados de previsão para trinta anos mostraram uma variação de recalques da ordem de 90 a 250 mm, mostrando que os resíduos continuarão se deformando ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2019 Disponível em: www.abrelpe.org.br.

AZEVEDO, G. S. S. **Análise dos deslocamentos verticais e horizontais do vazadouro de Marambaia, Nova Iguaçu – RJ**. 2018. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BABU SIVAKUMAR, G. L.; REDDY, K. R.; CHOUSKEY, S. K.; KULKARNI, H. S. **Prediction of long-term municipal solid waste landfill settlement using constitutive model**. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, And Radioactive Waste Management. ASCE. 139, p. 139-150, 2010.

CHARLES, J.A. Settlement of fill. Attewell, P.B. & Taylor, R.K. (eds). **Ground Movements and their Effects on Structures**. Surrey University Press, New York, USA, p.26-35, 1984.

CORRÊA, L.R. **Análise de recalques a longo prazo no antigo vazadouro de Marambaia, Nova Iguaçu – RJ**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Edil, T. B. Ranguete, V.J. e Wuellner, W. **Settlement of municipal refuse – Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice**. ASTM STP 1070, Arvid Landva & David Knowles, (eds), pp. 225-239., 1990.

- IVANOVA, L. K.; RICHARDS, D.; SMALLMAN D. J. **The long-term settlement of landfill waste.** Proceedings of the Institution of Civil Engineers Waste and Resource Management, 161, Issue WR3, p. 121-133, 2008.
- LING, H.I.; LESHCHINSKY, D.; MOHRI, Y.; KAWABATA T. **Estimation of municipal solid waste landfill settlement.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 124, n. 1, p. 21 – 28, 1998.
- MARQUES, A. C. M. **Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos.** 2001. 409 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- MATTOS, T. P. **Avaliação da contaminação hídrica no entorno do antigo lixão da Marambaia – RJ.** 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- MCDUGALL, J. R. **Settlements: the long and the short of it.** Geotechnical Special Publication. Geotechnical Characterization, Field Measurement and Laboratory Testing of Municipal Solid Waste, **ASCE**. 209, 76-111, 2011.
- MOTA, M. F. P. **Avaliação da contaminação do solo e o transporte de contaminantes no lixão da Marambaia – Nova Iguaçu/RJ.** 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- PALMA, J. H. **Comportamento geotécnico de vertederos controlados de resíduos sólidos urbanos.** 1995. 270 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Cantabria, Santander, 1995.
- PEREIRA, A.G.H. **Compresibilidad de los residuos *sólidos urbanos*.** 2000. 300 f. Tese (Doutorado) - Universidad de Oviedo, Espanha, 2000.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. **Projeto executivo de encerramento e recuperação ambiental do vazadouro de marambaia – Nova Iguaçu/RJ:** Relatório final. Nova Iguaçu, Março 2003, 49 p. [Relatório técnico].
- DA SILVA, T. P. **Previsão de recalques a longo prazo da massa de resíduos sólidos urbanos do vazadouro de Marambaia através do modelo hiperbólico.** 2016. 74 f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- SOWERS, G. F. **Settlement of waste disposal fills.** In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, [s.n.], Moscow, vol.2. p. 207–210, 1973.
- VAN ELK, A.G.H.P. **Reduções de Emissões na Disposição Final de Resíduos Sólidos. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a Resíduos Sólidos.** Coordenação: Karin Segala, **IBAM**, Rio de Janeiro, 40p, 2007.
- VAN ELK, A.G.H.P., MAÑAS, L.S.; BOSCOV, M.E. **Field Survey of Compressibility of Municipal Solid Waste.** Soils and Rocks, v. 37(1). p. 85-95. São Paulo, 2014.
- VAN ELK, A.G.H.P.; CORREIA, L.R.; RITTER, E. **Análise dos Recalques em Longo Prazo no Vazadouro de Marambaia.** *Revista da Engenharia Sanitária*. 24(3): 547 -557, 2019.

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
