

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da
Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da
Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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
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 Dra. 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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 3

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-974-5

DOI 10.22533/at.ed.745210804

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

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7452108041

CAPÍTULO 2..... 13

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7452108042

CAPÍTULO 3..... 22

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7452108043

CAPÍTULO 4..... 37

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

Rafaella Ferreira Rodrigues Almeida
Viníciu Fagundes Bárbara
Rosana Gonçalves Barros

DOI 10.22533/at.ed.7452108044

CAPÍTULO 5..... 57

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

George Ventura Alves Neri

Adriana Sotero Martins

Maria José Salles

DOI 10.22533/at.ed.7452108045

CAPÍTULO 6..... 71

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

Eduardo Antonio Maia Lins

Natália Dias Feijó

Adriane Mendes Vieira Mota

Andréa Cristina Baltar Barros

Maria Clara Pestana Calsa

DOI 10.22533/at.ed.7452108046

CAPÍTULO 7..... 82

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

Barbara Lucia Guimarães Alves

DOI 10.22533/at.ed.7452108047

CAPÍTULO 8..... 94

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

Eduardo Antonio Maia Lins

João Victor de Melo Silva

Regina Coeli Lima

Suzana Paula da Silva França

Sérgio Carvalho de Paiva

Raphael Henrique dos Santos Batista

Camilla Borges Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.7452108048

CAPÍTULO 9..... 103

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE SEBERI-RS

Tariana Lissak Schüller

Malva Andrea Mancuso

DOI 10.22533/at.ed.7452108049

CAPÍTULO 10..... 115

GESTÃO AMBIENTAL CONJUNTA DOS SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS

Ricardo Pêra Moreira Simões

DOI 10.22533/at.ed.74521080410

CAPÍTULO 11 127

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

Diogo Botelho Correa de Oliveira

Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda

Camila Barrêto Rique de Barros

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

CAPÍTULO 12..... 136

POTENCIALIDADES NO USO DA ÁGUA DO AQUÍFERO GUARANI

Gilmar Antônio da Rosa
Priscila Mara Knoblauch

DOI 10.22533/at.ed.74521080412

CAPÍTULO 13..... 153

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080413

CAPÍTULO 14..... 160

DESAFIOS DO NOVO MARCO LEGAL DO SETOR DE SANEAMENTO

Hugo Sergio de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.74521080414

CAPÍTULO 15..... 169

BIOPROSPECÇÃO DE RIZOBACTERIAS DE CAFÉ CONILON

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080415

CAPÍTULO 16..... 185

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080416

CAPÍTULO 17..... 204

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

Tamires Lima da Silva
Fernando Soares de Oliveira

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080417

CAPÍTULO 18.....215

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

Juliana Elisa Silva Santos
Patrícia Campos Borja

DOI 10.22533/at.ed.74521080418

CAPÍTULO 19.....229

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080419

CAPÍTULO 20.....244

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

Manoel Vyctor Rocha da Silva
Deuzuita dos Santos Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.74521080420

CAPÍTULO 21.....253

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

Wolney Castilho Alves
Luciano Zanella

DOI 10.22533/at.ed.74521080421

CAPÍTULO 22.....268

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080422

CAPÍTULO 23.....274

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

Wallace Maciel Pacheco Neto
Fabianna Resende Vieira
Cristiano Christofaro Matosinhos

DOI 10.22533/at.ed.74521080423

CAPÍTULO 24.....289

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

Lessandro Morini Trindade

DOI 10.22533/at.ed.74521080424

CAPÍTULO 25.....302

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080425

CAPÍTULO 26.....319

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080426

CAPÍTULO 27.....330

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

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

DOI 10.22533/at.ed.74521080427

CAPÍTULO 28.....	342
PHOTODEGRADATION OF WATER POLLUTANTS WITH TIO₂ CATALYSTS ACTIVATED WITH VISIBLE LIGHT AND UV LIGHT	
Maricela Villicaña Mendez	
Luisa Verónica Piña Morales	
Ma. Guadalupe Garnica Romo	
DOI 10.22533/at.ed.74521080428	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	352
ÍNDICE REMISSIVO.....	353

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data da submissão: 07/01/2021

Wolney Castilho Alves

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/8315511132811037>
<https://orcid.org/0000-0001-5772-2328>

Luciano Zanella

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/4654570846177448>
<http://www.orcid.org/0000-0002-4380-7096>

RESUMO: Modelagem computacional baseada nas equações de Saint-Venant e Boussinesq foi desenvolvida visando descrever o escoamento de descargas em redes coletoras de esgoto proporcionadas por dispositivo gerador de descarga (DGD) que gera escoamento eficiente no transporte de sólidos. Três métodos numéricos foram associados às equações: método das características, método de Cormack e método *two-four*. A descarga do DGD em tubos coletores de esgoto gera onda de frente íngreme e turbulenta que apresenta oscilação de profundidade da frente de onda. Fatores multiplicativos envolvendo o atrito e a intensidade das acelerações verticais de água foram incorporados à modelagem no processo de validação do modelo. As oscilações da profundidade de pico da onda requereram o

emprego das hipóteses de Boussinesq de forma associada à variação do atrito e à intensidade de acelerações verticais. O processo de validação mostrou boa aderência do modelo às medições em laboratório. A modelagem se mostrou útil à aplicação em redes coletoras de esgoto assentadas em áreas planas, pois as descargas dos DGDs propiciam o atendimento dos critérios de autolimpeza com redução drástica da declividade de assentamento. Exemplo de aplicação piloto é apresentado.

PALAVRAS-CHAVE: Coletores de esgoto, modelagem computacional, Saint-Venant, Boussinesq.

COMPUTATIONAL MODELLING OF THE SEWAGE FLOW IN COLLECTOR PIPE NETWORKS SEATED ON DRASTICALLY REDUCED SLOPE USING SAINT-VENANT AND BOUSSINESQ EQUATIONS

ABSTRACT: Computational modeling based on the Saint-Venant and Boussinesq equations was developed aiming to describe the flow of discharges in sewage collection networks provided by the discharge generating device (DGD) that generates efficient flow in the transport of solids. Three numerical methods were associated with the equations: characteristics method, Cormack method and two-four method. The discharge of the DGD into sewage collecting pipes generates a steep and turbulent front wave that presents oscillation of the depth in the wave front. Multiplicative factors involving friction and intensity of vertical water accelerations were incorporated into the modeling process in the model validation process. Wave peak

depth oscillations required the use of Boussinesq hypotheses in an associated manner with friction variation and intensity of vertical accelerations. The validation process showed good adherence of the model to laboratory measurements. The modeling proved useful for the application in sewage collection networks in flat areas, because the discharges of DGDs provide the fulfillment of self-cleaning criteria with drastic reduction of pipe slope. A sample pilot application is displayed.

KEYWORDS: Sewage collectors, computational modelling, Saint-Venant, Boussinesq.

1 | INTRODUÇÃO

O déficit de coleta e afastamento de esgotos é bastante grande no Brasil e em muitos países em desenvolvimento. No Brasil o déficit em afastamento adequado de esgotos sanitários, considerando soluções por sistemas coletores convencionais e por fossas sépticas adequadas, é de 67,3% do contingente populacional (BRASIL, 2013).

O presente trabalho traz resultados de pesquisas aplicadas à implantação de redes coletoras de esgoto em áreas planas dotadas de dispositivos geradores de descarga (DGD). Nessas áreas a implantação de redes coletoras de esgoto é particularmente problemática, pois implica em elevados custos de construção e elevadíssimos custos de operação especialmente devido à necessidade de estações elevatórias de esgoto. Diversos autores têm estudado e proposto adoção de descargas intermitentes de tanques fluxíveis e outros dispositivos em sistemas unitários e separadores absolutos implantados em áreas planas (SHAHSAVARI et al., 2015; SHIRAZI et al, 2010; GOORMANS et al., 2009; SHIRAZI et al, 2009; CAMPISANO et al., 2004; ALVES, 1993; 1995; 1997).

A norma brasileira ABNT NBR 9649:1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento estabelece valor de tensão trativa média em qualquer ponto do trecho coletor igual ou maior a 1 Pa para que a autolimpeza seja alcançada.

A aplicação dos critérios da norma brasileira em áreas planas leva à adoção de declividade de assentamento de no mínimo 0,004545 m/m (0,4545%, ou 4,545 ‰, ou 4,545 mm/m), condição em que a tensão trativa média de 1 Pa estará sendo atendida.

Redes coletoras de esgoto em áreas planas acarretam sistemas com custos de implantação e operação elevadíssimos a exemplo daqueles implantados na região litorânea da Baixada Santista situada a sul-sudeste da cidade de São Paulo local objeto de aplicação piloto.

Em áreas planas a utilização de tanques fluxíveis que promovam descargas intermitentes nas redes coletoras pode proporcionar a redução de declividades de assentamento e melhorar as condições de desempenho.

2 | OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos na simulação computacional de escoamento em regime não permanente em trecho de tubulação de rede coletora de esgoto assentada em área plana, tendo em vista introduzir alternativa ao

projeto em tais áreas. O escoamento é originado por descarga de dispositivo gerador de descarga, DGD, cujas características permitem a redução da declividade de assentamento das tubulações preservando critérios relativos à autolimpeza. Em aplicação piloto foi empregado programa computacional de simulação especialmente desenvolvido para solução das equações de Saint-Venant e Boussinesq que regem o escoamento. Três métodos numéricos de diferenças finitas estão contemplados no programa computacional.

3 | METODOLOGIA

Os trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos com base na seguinte sequência de atividades:

- i. Desenvolvimento de dispositivo promotor de descargas intermitentes, DGD, em tubulação da rede coletora de esgoto e medição laboratorial de seus hidrogramas de descarga, segundo volumes de descarga diversos;
- ii. Desenvolvimento das equações de Saint-Venant e Boussinesq para escoamentos em tubulações de seção circular e elaboração de programa computacional para solução numérica das equações desenvolvidas;
- iii. Medição dos parâmetros hidráulicos profundidade da lâmina (h) e tempo (t) do escoamento da descarga promovida pelo DGD desenvolvido em i. em bancada laboratorial instrumentada e subsequente procedimento de calibração do programa computacional mediante confronto dos valores obtidos em simulação com aqueles medidos em laboratório;
- iv. Projeto, construção e operação de trecho de rede coletora de esgoto dotada de DGD em área plana em caráter piloto.

4 | EQUAÇÕES DO ESCOAMENTO EM REGIME NÃO PERMANENTE

O desenvolvimento matemático aplicável ao escoamento baseado nas equações da hidrodinâmica foi levado a efeito no curso de desenvolvimento da pesquisa (ALVES, 1997). O equacionamento levou em conta as características do perfil de descarga e correspondente hidrograma da descarga originada do DGD. O perfil típico de tais descargas em tubulações é ilustrado pela Figura 1.

De maneira geral as descargas geram escoamento com aparência e comportamento de ondas escoando em canais, tubos no caso, sob lâmina livre. Tem características hidráulicas complexas: escoamento em regime não permanente com frente de onda íngreme, compreendendo regiões de escoamento gradualmente variado e rapidamente variado e regimes de escoamento evoluindo de subcrítico a crítico.

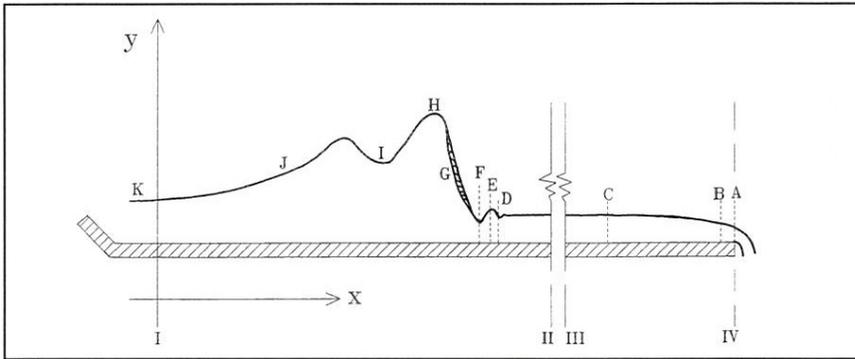


Figura 1 – Perfil típico da onda originada pela descarga do DGD (ALVES, 1997)

As características do escoamento são predominantemente na direção horizontal, embora nas regiões da frente de onda estejam presentes componentes verticais, consideradas nas hipóteses de Boussinesq.

O desenvolvimento matemático levou às equações 1, 2, 3 e 4. Nessas equações os subscritos x e t designam derivadas parciais no espaço, ao longo da extensão longitudinal da tubulação (m), e tempo (s), respectivamente.

Nas equações 1 a 6, apresentadas na sequência do texto, a seguinte nomenclatura se aplica:

- h Profundidade do escoamento em m;
- u Velocidade do escoamento em m/s;
- A Área do escoamento em m^2 ;
- T Largura da lâmina livre em m;
- t Tempo em s;
- R Número de Reynolds
- k Coeficiente de atrito em m;
- S_o Declividade de assentamento de tubo em m/m;
- S_f Declividade da linha de energia em m/m;
- g Aceleração da gravidade em m/s^2
- ν Viscosidade cinemática em m^2/s ;
- σ Tensão trativa em Pa;
- γ Peso específico do esgoto em N/m^3 e
- R_H Raio hidráulico em m.

No sistema a seguir apresentado, a equação 1 é a de conservação de massa e a

equação 2 é a de conservação da quantidade de movimento.

$$A_t + Q_x = 0 \quad (1)$$

$$(h u)_t + h u^2 + 1/2(h^2 g) - 1/3(h^2 E1 - h^2 E2)_x = h g(S_o - S_f) + 1/2h S_o(E2 - E1) \quad (2)$$

O sistema formado pelas equações 1 e 2 é uma das formas das equações de Boussinesq (CARMO, 2011; ALVES, 1997; BOUSSINESQ, 1872). Na presente aplicação essas equações foram adaptadas ao escoamento em tubulações. Considerando seções de escoamento conformadas em tubos de seção circular, Alves introduziu hipóteses adicionais (ALVES, 1997).

Na equação 2 os termos E1 e E2 são, respectivamente, dados pelas expressões 3 e 4:

$$E1 = - (A/T) (u_x)^2 - u_{xt} - uu_{xx} \quad (3)$$

$$E2 = (A/T^2) T_t u_x + u T_x u_x \quad (4)$$

No caso de E1 e E2 serem iguais a zero o sistema se reduz às equações de Saint-Venant que não incorporam o movimento vertical de partículas.

No que se refere ao atrito foram adotadas as conclusões de trabalhos que demonstraram que a formulação de Colebrook-White se adapta melhor à aplicação em escoamentos não permanentes em águas rasas (SWAFFIELD et BRIDGE, 1983). Usando os coeficientes e relações estabelecidas por Chézy e Darcy e o número de Reynolds, a equação de Colebrook-White na expressão 5 exprime de forma sintética o efeito do atrito no escoamento (BRIDGE, 1984).

$$Q = \sqrt{32 g R S_o} A \log \left(\frac{k}{14,83 R} + \frac{2,52 \vartheta}{R \sqrt{128 g R S_o}} \right) \quad (5)$$

5 | SOLUÇÃO NUMÉRICA DAS EQUAÇÕES

Não são conhecidas soluções analíticas gerais para as equações de Saint-Venant e de Boussinesq. Métodos numéricos de diferenças finitas foram empregados na solução numérico-computacional desenvolvida. Três métodos numéricos de diferentes graus de precisão foram utilizados:

- método das características usando aproximações em diferenças finitas de primeira ordem (SANCHEZ, 1978; SWAFFIELD et STANDING, 1986; STANDING, 1986);
- método de MacCormack que combina diferenças finitas de primeira ordem segundo esquema em que o resultado final é de segunda ordem de precisão (FENNEMA et CHAUDHRY, 1986; GUARANGIK et CHAUDHRY, 1991);
- método 2-4 (GOTTLIEB et TURKEL, 1976) onde o esquema de diferenças finitas leva a grau de precisão de segunda ordem no tempo e de quarta ordem no espaço.

Programa computacional foi elaborado para processar a solução numérica segundo cada um dos métodos numéricos e equações matemáticas. As condições iniciais, condições de contorno, possibilidades de ajustes no cálculo do atrito e da aceleração vertical e outras ferramentas de calibração incorporadas no programa são descritas em detalhe na pesquisa inicialmente referida (ALVES, 1997).

6 I SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO DE DESCARGAS DE DGD_s

O escoamento é simulado a partir de descarga líquida do DGD na extremidade de montante de tubulação de diâmetro e comprimento conhecidos. A descarga do DGD se dá sobre escoamento uniforme preexistente com valores de vazão bastante baixos.

A extremidade de jusante da tubulação é tipo soleira livre, ou seja, o tubo verte o líquido sem interferências. O perfil do escoamento nessa região é ditado pelo regime que pode variar de sub a supercrítico.

O processo de cálculo da simulação do escoamento se dá segundo a determinação de parâmetros hidráulicos em seções subsequentes tendo início na seção onde o hidrograma de entrada originado pelo DGD é conhecido.

Serão aqui apresentados os resultados de simulação empregando as equações de Boussinesq e o método numérico 2-4 (*two-four*).

6.1 Hidrograma de entrada

A Figura 2 apresenta o hidrograma de descarga do DGD desenvolvido no curso da pesquisa que embasa o presente artigo.

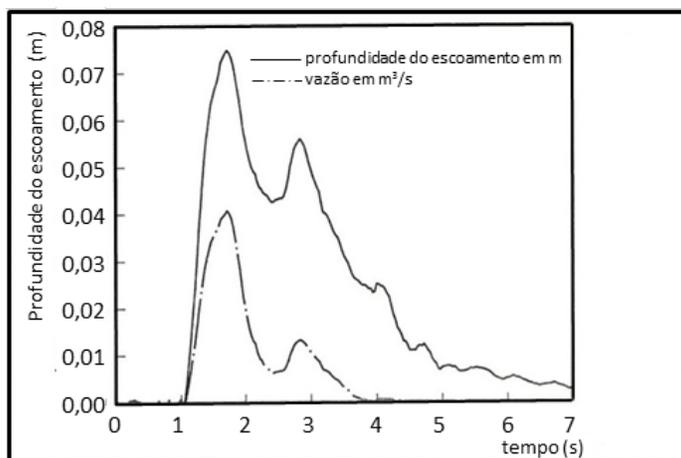


Figura 2 – Hidrograma de entrada na simulação de escoamento em tubulação de 150 mm de diâmetro. Descarga de DGD de 39,5 L (ALVES, 1997).

6.2 Alternativas de processamento utilizadas

No curso da pesquisa referida em (ALVES, 1997) todas as combinações de equação & método numérico apresentadas no capítulo 5 foram desenvolvidas e testadas. No presente artigo são apresentados os resultados relativos ao emprego das equações de Boussinesq com o método numérico de maior precisão, o 2-4 (*two-four*).

O caso aqui apresentado se refere ao hidrograma de entrada dado pela Figura 2 que dá lugar a escoamento onde a presença de acelerações verticais de partículas líquidas pode ser observada em laboratório na região de frente de onda.

6.3 Validação do modelo de simulação

O efeito do atrito entre o líquido e a superfície da tubulação sobre a qual escoar é representado pelo termo S_f . Não existem formulações que permitam descrever o referido efeito no caso de regimes não permanentes. Diversos autores admitem que nas frentes de onda o efeito desse atrito pode ser desprezado e que nas regiões de variação gradual da superfície líquida o atrito pode ser levado em conta utilizando-se as fórmulas válidas para escoamento em regime permanente uniforme. Na presente pesquisa um esquema especial para avaliação do atrito foi elaborado. Dada a velocidade de escoamento e o perímetro molhado, avalia-se o valor da declividade da linha de energia (S_f) com base nas fórmulas do regime permanente uniforme. Sobre o valor calculado considera-se um multiplicador variável no tempo e no espaço de sorte a contemplar as prováveis variações do efeito do atrito segundo a posição da onda e seção de escoamento em sua evolução no tempo.

O método de MacCormack e o método 2-4 são do tipo explícito e, como tal, tendem a apresentar fortes oscilações nas regiões de frente de onda. O controle dessas oscilações foi possível através da utilização de filtros numéricos que alguns autores denominam viscosidade artificial ou interface dissipativa. O programa desenvolvido incorpora a formulação desenvolvida por Jameson, já utilizada para amortecimento das oscilações (FENNEMA et CHAUDHRY, 1986). Também é usada a versão de Richtmyer da interface desenvolvida no esquema de Lax-Wendroff (ABBOTT, 1979; ABBOTT et BASCO, 1989).

O hidrograma de entrada, apresentado na Figura 2 exibe maior dificuldade de simulação do correspondente escoamento, uma vez que os altos valores de vazão e a turbulência observada na frente de onda conferem ao escoamento características de evolução muito rápida das variáveis (no espaço e no tempo) tornando o processo de calibração do modelo bastante complexo e trabalhoso.

A turbulência na frente de onda é bastante pronunciada nos dois primeiros metros de tubulação, pelo menos, e a turbulência no pé da onda no choque com o escoamento preexistente é constante ao longo do escoamento observado na bancada laboratorial.

A oscilação da profundidade do pico de onda é fenômeno notável. As medições laboratoriais mostraram trajetória marcada pela oscilação que tende a se atenuar somente

a distância de 11 m aproximadamente da seção inicial de descarga.

Cogitou-se o efeito combinado de dois fatores para explicar o fenômeno oscilatório: o atrito e a aceleração vertical de partículas. O comportamento do atrito é objeto de pesquisas e discussões na literatura no que se refere aos regimes não permanentes. De outra parte, parece clara a presença de componentes verticais no escoamento. Adotou-se a hipótese de Boussinesq segundo a qual a quantidade de movimento nessa direção pode ser incorporada à quantidade de movimento na direção horizontal.

Cumprir destacar que descargas com ondas de menor turbulência e que não exibam o fenômeno da oscilação do pico de onda principal, sofrem abatimento gradativo e continuado à medida que a onda avança pela tubulação.

A diversidade de comportamento do escoamento e, principalmente, a presença da turbulência e da oscilação do pico de onda levaram a um procedimento de validação bastante complexo e exaustivo. Esquemas multiplicativos sobre o atrito e a aceleração vertical foram incorporados ao programa computacional de simulação e permitem ajuste gradativo.

6.4 Resultados obtidos com o modelo de simulação

O fenômeno da oscilação do pico de onda dirigiu, em parte, o esquema de calibração para validação do modelo. A Figura 3 mostra a trajetória da profundidade do pico principal da frente de onda do escoamento originado pela descarga apresentada na Figura 2, segundo medições laboratoriais confrontadas com resultado de simulação.

Um conjunto de multiplicadores relativos ao atrito e à aceleração vertical, além de procedimentos de controle de estabilidade da frente de onda foram aplicados à simulação computacional observando resultados de outras pesquisas (GOTTLIEB et TURKEL, 1976; ABBOTT, 1979; ABBOTT et BASCO, 1989).

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos em laboratório e na simulação do escoamento aqui sob análise. Os perfis obtidos na simulação após o processo de ajuste da calibração mostraram retardamento no tempo em que a frente de onda atinge as seções monitoradas em laboratório. Ou seja, embora a calibração tenha obtido ajuste razoável do perfil da onda, ocorreu forte redução na velocidade da frente. A Figura 4 mostra os perfis simulados e medidos em laboratório. Na figura foram alinhados na mesma posição no eixo das abcissas, $t = 1$ s, para permitir melhor comparação. Observa-se, especialmente nas primeiras três seções, a existência de um pico de frente de onda com profundidade que oscila ao longo do escoamento, bem como de um segundo pico de onda que tende a desaparecer à medida que avança o escoamento.

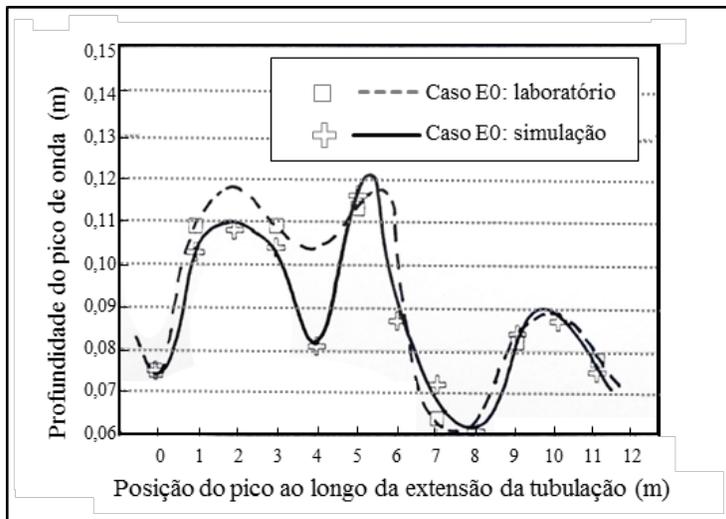


Figura 3 – Oscilação da profundidade do pico de onda ao longo do escoamento em tubulação de 13 m e 150 mm de diâmetro, segundo medição laboratorial e segundo resultados de simulação computacional. Descarga de DGD de 39,5 L (ALVES, 1997).

Essa simulação apresentou muitos problemas de instabilidades, especialmente até aproximadamente 7 m da seção inicial. Foi necessário aplicar o esquema de multiplicadores atuando sobre o atrito e a aceleração vertical. A partir da seção correspondente à distância 7 m da origem o escoamento tende a apresentar comportamento que, exceto na frente de onda, pode ser descrito pelas equações de Saint-Venant.

O processo de calibração se orientou pelo ajuste da simulação ao fenômeno de oscilação da profundidade da frente de onda. Possibilidades de majoração ou minoração da aceleração vertical e do atrito foram introduzidas no programa computacional de forma a atuar em cada momento e seção de proces-

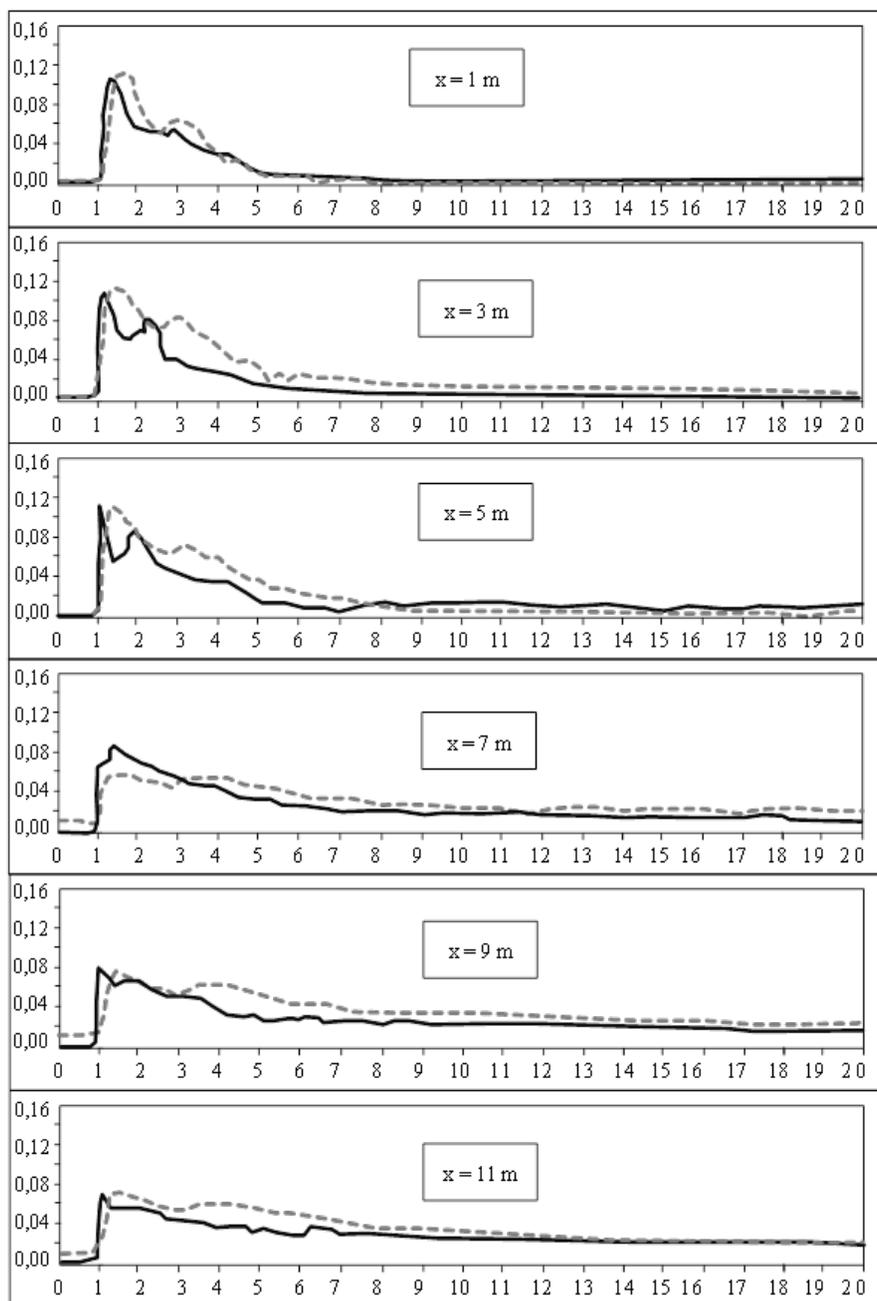


Figura 4 – Simulação do escoamento de descarga de DGD de 39,5 L em tubulação de 13 m de comprimento e 150 mm de diâmetro a 0,05% de declividade. Perfil de profundidade da onda (m, em y) pelo tempo (s, em x). As linhas tracejadas resultam de medição laboratorial e a linha cheia de simulação (ALVES, 1997).

samento na região da frente de onda. Após 7 metros observa-se a incorporação do pico secundário ao escoamento e desaparece o fenômeno de oscilação de profundidade do pico principal. Dessa região em diante não se faz mais necessário atuar sobre a aceleração vertical e o atrito. Vale dizer, prevalece a incorporação da quantidade de movimento vertical no escoamento horizontal tal como estabeleceu Boussinesq e é mantido o atrito que decorre da aplicação da equação 5.

Estudos comparativos entre o efeito do fator multiplicativo do atrito (K) e da aceleração vertical (Z) mostraram a necessidade do uso conjunto de ambos no caso do escoamento aqui apresentado. O emprego de somente um deles conduz a discrepâncias. Por exemplo, ficou demonstrado nesses estudos comparativos que a majoração da aceleração vertical na frente de onda produz retardamento no avanço da frente. Contudo o rebaixamento do valor do fator multiplicativo Z , ou seja, minoração da aceleração vertical e a minoração do valor do atrito ($K < 1$) embora permita melhor ajuste da velocidade de avanço da frente de onda, não leva à coincidência dos perfis de profundidade da lâmina na frente de onda. Conclui-se que em frentes com grande turbulência, como no caso aqui apresentado, o ajuste requer a combinação dos dois fatores multiplicativos.

A cauda da onda é bem simulada com a equação de Saint-Venant. A frente de onda também poderá ser simulada pela equação de Saint-Venant em posições mais a jusante nas quais ocorre o abatimento da onda e sua frente torna-se menos íngreme. Os resultados de simulação empregando o método numérico 2-4 mostraram maior proximidade aos dados de laboratório quando comparados aos outros métodos numéricos.

71 APLICAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO

Os resultados obtidos no processo de validação do modelo permitiram estender sua aplicação a situações de interesse no que tange ao dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto, principalmente nos seus trechos de cabeceira.

Aplicação piloto foi realizada na região da Baixada Santista. Trecho retilíneo de 316 m foi construído na cabeceira de rede coletora de esgoto convencional. Nesse trecho os 108 m iniciais têm diâmetro de 100 mm e os 208 m subsequentes têm diâmetro 150 mm. Os tubos são de PVC e a declividade de assentamento é de 0,05% (0,0005 m/m), aproximadamente 1/10 da mínima preconizada pela norma brasileira ABNT NBR 9649:1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento. Essa norma estabelece valor de tensão trativa média em qualquer ponto do trecho coletor igual ou maior a 1 Pa para que a autolimpeza seja alcançada.

Procedimento iterativo de projeto foi desenvolvido visando estabelecer o número de DGDs necessários, seus volumes, posição de instalação no trecho e previsão dos parâmetros hidráulicos de escoamento.

Na cabeceira do trecho referido foi instalado um DGD que gera descargas de 80 L. Esse dispositivo foi previamente projetado por meio de programa computacional específico. Foi testado em laboratório e sua descarga foi medida obtendo-se o hidrograma de entrada do programa de simulação computacional.

A simulação do escoamento da descarga desse DGD foi desenvolvida sob o pressuposto de descarga isolada na cabeceira da tubulação. Admite-se, portanto, que o escoamento se dá sem a contribuição de descargas prediais, embora um pequeno escoamento uniforme preexistente de baixíssima vazão seja considerado. O produto da simulação foram os parâmetros hidráulicos, profundidade da lâmina e velocidade média ao longo do tempo e da extensão da tubulação. Usando o valor da profundidade da lâmina o programa computa o valor da tensão trativa média, σ .

A tensão trativa foi calculada pela expressão:

$$\sigma = \gamma \cdot R_H \cdot S_0 \quad (6)$$

A Figura 5 apresenta gráfico que mostra a variação dos valores da tensão trativa calculados a partir dos parâmetros hidráulicos obtidos na simulação. Observa-se que o critério de autolimpeza, mínimo de 1 Pa, é observado em seção distante 150 m da origem.

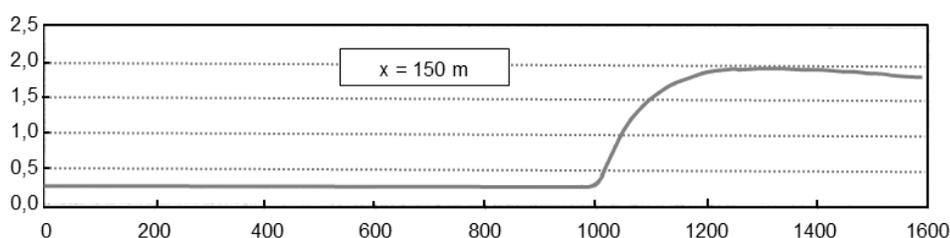


Figura 5 – Valores de tensão trativa simulados em seção distante 150 m da descarga de DGD em tubulação coletora de esgoto assentada com 0,05% de declividade. No eixo y, tensão trativa em Pa e no eixo x, tempo, em s (ALVES, 1998).

8 | CONCLUSÕES

- a. a modelagem computacional baseada nas equações de Saint-Venant e de Boussinesq mostra-se adequada à descrição de escoamentos em regime não permanente em redes coletoras de esgoto;
- b. o escoamento gerado pelos DGDs é do tipo onda de frente íngreme com grande capacidade de arraste de sedimentos depositados nas tubulações de esgoto. Ondas com grande potencial de arraste podem ser obtidas com adequado projeto dos DGDs. Escoamento extremamente turbulento pode ser observado nas

seções próximas ao ponto de descarga dos DGDs. Nesses trechos a descrição hidráulica se constitui em desafio, não obstante o razoável grau de sucesso obtido com o emprego na pesquisa que dá base ao presente artigo;

- c. pesquisas e desenvolvimentos envolvendo o avanço no entendimento e as possibilidades de ajuste do atrito e da componente vertical da quantidade de movimento em escoamento originados por descargas nas redes devem ter continuidade, muito embora o conhecimento já estabelecido seja suficiente para aplicações em grande extensão;
- d. o modelo numérico *two-four* mostrou resposta mais precisa no que se refere às velocidades de escoamento da onda que percorre a tubulação, embora seja sujeito a instabilidades no processamento especialmente no caso de frentes de onda com turbulência;
- e. o emprego de dispositivos fluxíveis em sistemas coletores de esgoto dos tipos unitário e separador absoluto apresenta potencial de aplicação visando otimização de desempenho e redução de custos de implantação e operação de tais sistemas. Em particular, nas áreas planas a adoção de descargas por DGDs é alternativa tecnológica a ser consolidada;
- f. a modelagem computacional desenvolvida no âmbito dos trabalhos de pesquisa que informam este artigo mostrou adequação para elaboração de projeto de rede coletora de esgoto dotada de DGDs e assentada com declividade drasticamente reduzida (0,05%) em aplicação piloto realizada na região litorânea da Baixada Santista. A simulação proporcionada pela modelagem permitiu que o dimensionamento obedecesse ao critério de autolimpeza presente na norma brasileira para tais sistemas, qual seja tensão trativa mínima de 1 Pa;
- g. em termos abrangentes pode-se concluir que se configuram campos de oportunidades: há disponibilidade de conhecimentos suficientes ao desenvolvimento do projeto, construção e operação de sistemas de coletores de esgoto levando em conta regimes não permanentes de escoamento mais próximos à realidade de funcionamento; há, de outra parte, uma frente de exploração e desenvolvimento do conhecimento no campo da hidrodinâmica aplicada a sistemas coletores de esgoto.

REFERÊNCIAS

Abbott, M. “**Computational Hydraulics: Elements of Theory of Free Surface Flow.**”, Pitman Publishing Limited, London, 1979

Abbott, M. et Basco, D. “**Computational Fluid Dynamics: An Introduction for Engineers.**”, Longman Scientific & Tech., Essex, 1989.

Alves, W. **“Diminuição da declividade de assentamento de tubulações coletoras de esgoto através da utilização de dispositivo gerador de descarga (DGD)”** Relatório Técnico No 36.588 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1998.

Alves, W. **“Modelagem de descargas intermitentes em redes coletoras de esgoto através das equações de Saint-Venant e de Boussinesq.”**, 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, 1997. Anais digitalizados, ABES, Rio de Janeiro, 1997.

Alves, W. **“Modelagem hidrodinâmica do escoamento em redes coletoras de esgoto.”**, 18o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, 1995. Anais digitalizados, ABES, Rio de Janeiro, 1995.

Alves, W. **“Modelling of Wave Generation in Sewer Systems by Intermittent Discharge Devices Using the Saint-Venant and Boussinesq Equations.”**, tese de doutorado apresentada à Heriot-Watt University, Edimburgo, janeiro de 1997.

Alves, W. **“Desenvolvimento de dispositivo gerador de descargas intermitentes aplicado a redes coletoras de esgoto.”**, 17o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 19 a 23/9/93, Anais (Vol.2, Tomo I, pp. 791-808), ABES, Rio de Janeiro, 1993.

Boussinesq, J. **“Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal.”** J. Math. Pure et Appl. 2, 17, 1872, 55-108.

BRASIL, 2013. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico-PLANSAB**. Brasília, dezembro 2013.

Bridge, S. **“A Study of Unsteady Flow Wave Attenuation in Partially Filled Pipe Networks”**, tese de doutorado não publicada apresentada ao Department of Mechanical Engineering, London, 1984.

Campisano, A., Creaco, E. e Modica, C. **“Experimental and Numerical Analysis of the Scouring Effects of Flushing Waves on Sediment Deposits”**, Journal of Hydrology 299(3-4), pp. 324-334, December 2004.

Carmo, J. **“Equações de Boussinesq com Características Dispersivas Melhoradas. Aplicações”**, Recursos Hídricos, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Volume 32, Nº 2, novembro 2011, pp. 7-16.

Fennema, et Chaudhry, M. **“Explicit Numerical Schemes for Unsteady Free-Surface Flows with Shocks.”**, Water Resources Research, vol. 22, no. 13, 1986, pp. 1923-1930.

Goormans, T., Engelen, D., Bouteligier, R., Willems, P. e Berlamont, J. **“Design of self-cleansing sanitary sewer systems with the use of flushing devices”**, Water Science & Technology—WST, 60.4, pp. 901-908, 2009.

Gottlieb, D. et Turkel, E. **“E. Dissipative Two-Four Methods for Time-Dependent Problems. Mathematics of Computation.”**, vol. 30, no. 136, 1976, pp. 703-723.

Guarangik, A. et Chaudhry, M. **“Numerical Simulation of Hydraulic Jump.”** Journal of Hydraulic Engineering, vol. 117, no. 9, ASCE, 1991.

Sanchez, M. “**Aplicações do Método das Características.**” tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

Shahsavari, G., Arnaud-Fassetta, G., Bertilotti, R. et Campisano, A. e Riou, F. “**Bed evolution under one-episode flushing in a truck sewer in Paris, France**”, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, World Academy of Science, Engineering, and Technology, 2015, 9 (7), pp.868-878. <<https://waset.org/publications/10002260/bed-evolution-under-one-episode-flushing-in-a-trucksewer-in-paris-france>>. <hal-01630012>

Shirazi, R., Willems, P. et Berlamont, J. “**Application of Flushing Tanks in Simple Sewer Networks for In-Sewer**”, Journal of Water Management Modeling, January 2010; pp. 85 – 106.

Shirazi, R., Bouteligier, R., Willems, P. et Berlamont, J. “**Implementation of Flushing Tanks in Combined Sewer Networks to Comply with Optimal Self-Cleansing Properties**”, Journal of Water Management Modelling, January 2009.

Standing, K. “**Surge Generation as an Aid to Water Conserving Building Drainage Design.**”, tese de doutorado não publicada apresentada ao Department of Mechanical Engineering, London, 1986

Swaffield, J. e Standing, K. “**Improvements in the application of the numerical method of characteristics to predic attenuation in unsteady partially filled pipe flow.**”, Journal of Research of the National Bureau of Standards, vol. 91, no. 3, 1986.

Swaffield, J. et Bridge, S. “**Applicability of the Colebrook-White Formula to Represent Frictional Losses in Partially Filled Unsteady Pipeflow**”, Journal of Research of the National Bureu of Standards, vol. 88, no. 6, novembro-dezembro 1983.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácidos graxos 99

Afluentes 129, 234, 238, 239, 339

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

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

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

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

Aproveitamento energético 85, 94, 96, 97

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

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

Atividade antrópica 156

B

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

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

Biodegradabilidade 334, 335, 339

Biodiversidade 180, 232, 245

Biogás 94, 96, 97, 99, 100

C

Chorume 96, 108, 111, 112, 113

Coleta seletiva 71, 74, 80

Coliformes fecais 107, 206, 209, 233

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

Combustíveis renováveis 100

Composto orgânico 89

Conselho nacional de meio ambiente (CONAMA) 34

Contaminação do solo 110, 112

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

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

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

D

Decomposição anaeróbia 94, 95
Degradação ambiental 37, 38, 72, 153, 230, 240
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 105, 109, 111, 233
Demanda química de oxigênio (DQO) 105
Descarte 8, 25, 49, 57, 58, 59, 60, 64, 67, 71, 73, 74, 76, 77, 80, 81, 239, 247, 295
Desenvolvimento sustentável 26, 35, 58, 69, 151, 152, 181, 294, 320
Dióxido de carbono (CO₂) 94, 95, 96, 99
Doenças de veiculação hídrica 69, 154, 204, 205, 206, 209, 210, 211, 213, 230

E

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

G

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

I

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

L

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

M

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

Micro-organismos 31

P

Parâmetros físico-químicos e biológicos 231, 352

Patogênicos 8, 31, 204, 206

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

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

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

Poluidor-pagador 26

Potabilidade da água 140, 204, 212

Preservação ambiental 13, 14, 171

R

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

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

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

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

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

Resíduos biológicos 25, 29, 31

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

Resíduos químicos 29, 30, 31, 35

Resíduos recicláveis 31

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

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

S

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

Segregação de resíduos 17, 35

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

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

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

T

Tratamento biológico 96, 331

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

V

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

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3

-  www.atenaeditora.com.br
-  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

3

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