

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária



Daniel Sant'Ana
(Organizador)

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

Daniel Sant'Ana
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

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

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

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

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

Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-744-4

DOI 10.22533/at.ed.444211901

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

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

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

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119011

CAPÍTULO 2..... 20

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119012

CAPÍTULO 3..... 31

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119013

CAPÍTULO 4..... 47

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119014

CAPÍTULO 5..... 61

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

Daniel Antonio Narzetti

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119015

CAPÍTULO 6..... 73

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119016

CAPÍTULO 7..... 88

QUANTIFICANDO PERDAS HÍDRICAS EM CIDADES PARAIBANAS

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119017

CAPÍTULO 8..... 98

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119018

CAPÍTULO 9..... 109

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

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

DOI 10.22533/at.ed.4442119019

CAPÍTULO 10..... 117

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

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

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190110

CAPÍTULO 11..... 126

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

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190111

CAPÍTULO 12..... 137

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

Mauro César de Brito Sousa
Bruna de Freitas Iwata

DOI 10.22533/at.ed.44421190112

CAPÍTULO 13..... 148

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

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190113

CAPÍTULO 14..... 160

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

André Contri Dionizio
Marta Ângela Marcondes
Raul Neiva Bertulucci

DOI 10.22533/at.ed.44421190114

CAPÍTULO 15..... 172

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

Carlos Alberto Ligarda Samanez

David Choque Quispe
Betsy Suri Ramos Pacheco

DOI 10.22533/at.ed.44421190115

CAPÍTULO 16..... 185

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

Nolan Ribeiro Bezerra
Isabela Moura Chagas
Geraldo Alves Pereira Júnior

DOI 10.22533/at.ed.44421190116

CAPÍTULO 17..... 198

SISTEMA WEB PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR DIFERENTES MÉTODOS

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190117

CAPÍTULO 18..... 217

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

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190118

CAPÍTULO 19..... 233

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

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

DOI 10.22533/at.ed.44421190119

SOBRE O ORGANIZADOR..... 245

ÍNDICE REMISSIVO..... 246

CAPÍTULO 10

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

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 03/11/2020

David Choque-Quispe

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNAJMA
Andahuaylas – Perú
ORCID: 0000-0003-4002-7526

Yudith Choque Quispe

Universidad Tecnológica de los Andes
Cusco – Perú
ORCID: 0000-0002-3690-7267

Betsy Suri Ramos Pacheco

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNAJMA
Andahuaylas – Perú
ORCID: 0000-0002-0286-0632

Aydeé Marilú Solano Reynoso

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,
UTEA
Andahuaylas – Perú
ORCID: 0000-0002-1835-2210

Lourdes Magaly Zamalloa Puma

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNSAAC
Curso – Perú
ORCID: 0000-0001-9866-1939

Carlos Alberto Ligarda Samanez

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNAJMA
Andahuaylas – Perú
ORCID: 0000-0001-7519-8355

Fredy Taipe Pardo

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNAJMA
Andahuaylas – Perú
ORCID: 0000-0002-8234-7643

Miriam Calla Flórez

Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial – UNSAAC
Curso – Perú
ORCID: 0000-0003-0592-6454

Miluska Marina Zamalloa Puma

Escuela Profesional de Física – UNSAAC
Curso – Perú
ORCID: 0000-0002-1334-1627

Jhunion Felix Alonzo Lanado

Programa de posgrado - UNSAAC
Curso – Perú
ORCID: 0000-0001-7888-860X

Yadyra Quispe Quispe

Programa de posgrado – UAC
Cusco – Perú
ORCID: 0000-0002-5232-693X

RESUMO: O objetivo do trabalho foi otimizar a capacidade de floculação de três variedades de Cactaceae *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) e *Opuntia ficus* (Atum) no tratamento de águas residuárias artificiais. Foram aplicadas as doses de 1%, 2% e 3% de coagulante das três variedades de cactos extraídos com etanol 96%, avaliada a atividade floculante (AF) e a porcentagem de remoção (% R), observando-se aumento significativo (p -valor

< 0,05) com doses crescentes de coagulantes. A otimização foi realizada considerando como função objetivo o % R sujeito às restrições para AF, pH, Dureza, Alcalinidade e DBO_5 da água tratada, reportando valores de 99,09% R para a variedade San Pedro, 92,42% R para a variedade Ulluquite e 98,98 % R para a variedade Atum, para doses de 0,207%, 0,246% e 0,754% de coagulante respectivamente.

PALAVRAS CHAVE: água residual artificial, atividade flocculante, porcentagem de remoção.

OPTIMIZATION OF THE FLOCCULATING CAPACITY OF NATURAL COAGULANTS IN WATER TREATMENT

ABSTRACT: The aim was optimize the flocculating capacity of three varieties of cacti *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipenses* (Ulluquite) and *Opuntia ficus* (Tuna) in the artificial wastewater treatment. They were applied 1%, 2% and 3% coagulant doses of the three varieties of cactaceae extracted with 96% ethanol. It was evaluated the flocculating activity (FA) and removal percentage (%R); a significant increase was observed (p -value < 0.05) with the increase in the coagulant dose. The optimization was carried out considering as objective function the %R which were subjected to FA, pH, hardness, alkalinity and BOD_5 of water treatment. Which were reported values of 99.09 %R for San Pedro variety, 92.42 %R for Ulluquite variety and 98.98 %R for tuna variety, for doses of 0.207%, 0.246% and 0.754% of coagulant respectively.

KEYWORDS: artificial wastewater, flocculating activity, removal percentage.

1 | INTRODUCTION

Cacti are one of the most abundant botanical families in Peru, being found in all altitudinal floors, in a large number of varieties. Thus, since ancient times cacti have been important and linked to a large number of Latin American cultures and peoples in many parts of the world. Cacti are used in very different ways and applications such as water clarification or as a natural polymer.

These polymers are complex in their chemical composition and are constituted mainly by several types of polysaccharides and proteins. Some of them have coagulant or flocculating properties and in many places, they are used empirically to clarify turbid water with satisfactory results (CHOQUE-QUISPE *et al.*, 2018).

One of the cactaceae that has been widely used in coagulation is the genus *Opuntia* (family of cactaceae) which was characterized by the hydrocolloid production. It is known as mucilage, it forms molecular networks that retain large amounts of water (DESHMUKH *et al.*, 2018). Besides, it is a complex polymeric compound of glucidic nature with a highly branched structure (MATSUHIRO *et al.*, 2006). Mucilage contains variable proportions of L-arabinose, D-galactose, L-rhamnose and D-xylose, as well as galacturonic acid in different proportions (VILLABONA *et al.*, 2013).

Another cactus that has coagulant properties is the *Echinopsis pachanoi*, which calls “San Pedro” as a common name in some areas of Peru. As well as the *Neoraimondia*

arequipensis which receives the common name of Ulluquite. It is not really known whether it is related to the well-known Puyas de Raimondi, which grow in different parts of Peru including the Peruvian-Bolivian highlands.

Drinking water for human consumption must have quality characteristics such as free of turbidity, color and perceptible taste and other parameters regulated according to the regulations of the countries. Usually natural waters do not have satisfactory quality for human consumption or industrial use and generally should be treated (MUMBI *et al.*, 2018), as well as wastewater according to their use.

Coagulation consists in the addition of chemical substances in order to mix the particles and some dissolved pollutants that can be agglutinated in larger particles and then being removed through solids removal processes or by sedimentation (ABIDIN *et al.*, 2013). Coagulation as a physicochemical process destabilizes colloidal particles, precipitating and grouping suspended solids. This supplies their extraction by means of the flocs formation in water (RAMÍREZ *et al.*, 2015), reducing turbidity, color and to a lesser extent bacteria (GARCÍA 2005).

For coagulation, conventional chemical substances are used. However, there are disadvantages associated with the use of these coagulants such as high acquisition costs, large production volumes of sludge and the fact that they significantly affect the pH of the treated water (YIN, 2010; HAAROFF *et al.*, 1988). Also, in some cases adverse neurological effects, such as the manifestation of Alzheimer's disease (VARA, 2012; MATILAINEN *et al.*, 2010). Therefore, it is necessary to carry out optimization processes to minimize the use of additives and chemical substances, and to maximize the parameters of water quality.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Raw material

The *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) and *Opuntia ficus* (Tuna) cacti varieties were obtained from wild crops located in Santa Rosa area from Talavera district at 3000 meters above sea level. At latitude 13° 36'07.89"S, length 73° 16'33.13"W. Andahuaylas province, Peru has an average temperature of 13 °C and an average annual rainfall of 930 mm.

The cactaceae collection criteria were physiological maturity, morphology (external appearance and apparent color), size (length and width or diameter) and weight.

2.2 Preparation of artificial water

In order to simulate suspended particles in the artificial wastewater for its subsequent flocculation and coagulation. A stock solution was prepared by dissolving 25 g of kaolin ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) in 500 mL of distilled water that was homogenized for 30 minutes manually. The solution was allowed to stand for 24 hours. Finally, 6 liters of drinking water

was taken and 30 ml of kaolin stock solution was added to the solution.

2.3 Extraction of natural coagulant

The method proposed by Dujardin et al. (1975) was modified. The thorns were completely eliminated from the cacti samples, then they were cut into small pieces and liquefied at high speed with distilled water in a 1:1 ratio. Afterward, the fine grinding was sifted in a 1000 micron mesh in order to eliminate the fiber and obtain only the mucilage (filtered juice). After that, a liquid - liquid extraction from the filtered juice was carried out by means of a solvent (96% Ethanol) in relation to 1 of juice:2 of solvent. Subsequently, as many changes of solvent as necessary were made until the color was eliminated and later the precipitate was dried at room temperature. After drying, the sample was finely ground and then sieved in a 300 micron mesh. A fine and crystallized coagulant powder was obtained.

2.4 Flocculant activity – FA

The methodology by Sánchez and Untiveros (2004) was adapted. 0.25 mL at 1% natural coagulant solution, 4.50 mL of kaolin suspension and 0.25 mL at 1% iron (III) solution were poured into a test tube. Which was homogenized for 15 seconds with a Vortex and then left for 5 min. 2.5 mL of the supernatant was carefully removed from the top of the test tube with a pipette and the absorbance was measured at 550 nm (A) and a control (B). The flocculant activity was calculated using eq. (1). The test was repeated with 2% and 3% of natural coagulant.

$$FA = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} \quad (1)$$

2.5 Evaluation of the removal percentage

The process efficiency was determined by the percentage of turbidity removal (% R), according to eq. (2) (Yagual, 2012). For which the initial turbidity (T_0) and final turbidity (T_f) were determined with an Orbeco turbidimeter model TB300-IR from 0.01 to 1100 NTU range.

$$\%R = \frac{T_0 - T_f}{T_0} * 100 \quad (2)$$

2.6 Evaluation of physicochemical characteristics

The characterization of the treated water quality parameters was carried out, such as pH, total alkalinity, total hardness and BOD (APHA, 2012).

2.7 Optimization of flocculant capacity

The objective function for the optimization was the removal percentage of turbidity for each treatment. Which was evaluated through linear regression and nonlinear regression

and taking as a convergence criterion the correlation coefficient R^2 . It was considered restrictions to the limits established by the Peruvian technical standards and WHO for the parameters evaluated in the treated water. For the optimization, the Excel Solver utility was used.

2.8 Statistical analysis

Analysis of variance and Tukey's multiple comparison means test were performed at a significance level of 5%. The data were processed with the statistical package Statgraphics Centurion XV.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1, it can see that the AF is in the range from 28 to 48; Ferreira *et al.* (2014) reported similar results. It is also observed that the removal percentages are greater than 92%; similar results showed Jiménez *et al.* (2012) when treating artificial wastewater with a mixture of coagulants based on *Opuntia cochenillifera* although with doses of the order of 20 ppm likewise Arismendi (2016) using modified tannins. Sánchez and Untiveros (2004) used pectin with concentration of 30 ppm (0.003%) in artificial wastewater formulated with kaolin and iron (III). Yagual (2012) found removal percentages between 95% to 99.6% for river water samples when using coagulants such as aluminum sulphate, floater praestol 650 TR and artisanal chemical flocculant. Quirós *et al.* (2010) found a solids removal of 83% with coagulant extracted from *Moringa* at 400 ppm.

Variety	Coagulant solution (%)	Flocculant activity			Removal percentage			pH			Hardness (ppm CaCO ₃)			BOD (mg O ₂ /L)		
		\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
E.P.	1	47.39 ^a	\pm	0.46	99.21 ^a	\pm	0.06	6.98	\pm	0.04	266.3	\pm	1.5	2.41	\pm	0.1
	2	48.39 ^b	\pm	0.19	99.31 ^a	\pm	0.06	7.25	\pm	0.02	268	\pm	1.0	2.65	\pm	0.04
	3	48.58 ^b	\pm	0.06	99.44 ^b	\pm	0.06	7.28	\pm	0.01	269	\pm	1.0	2.72	\pm	0.04
N.A.	1	28.41 ^a	\pm	0.94	92.64 ^a	\pm	0.33	6.75	\pm	0.03	262	\pm	1.0	3.08	\pm	0.02
	2	30.36 ^b	\pm	0.11	92.79 ^a	\pm	0.18	6.93	\pm	0.04	263.7	\pm	0.6	3.32	\pm	0.02
	3	30.38 ^b	\pm	0.11	92.78 ^a	\pm	0.09	7.02	\pm	0.01	263.7	\pm	1.5	3.34	\pm	0.03
O.F.	1	46.13 ^a	\pm	0.39	99.02 ^a	\pm	0.15	6.68	\pm	0.03	269.3	\pm	1.2	3.35	\pm	0.11
	2	46.41 ^a	\pm	0.11	99.11 ^a	\pm	0.18	6.9	\pm	0.02	270.7	\pm	0.6	3.64	\pm	0.11
	3	46.48 ^a	\pm	0.22	99.15 ^a	\pm	0.06	6.96	\pm	0.02	271	\pm	1.0	3.66	\pm	0.05
Initial value		---			---			6.61			260			0.57		

Where: E.P. is *Echinopsis pachanoi*; N.A. is *Neoraimondia arequipensis*; O.F. is *Opuntia ficus*; \bar{x} is the average; s is the standard deviation.

* Equal letters mean that there is no significant difference evaluated through the Tukey test, with $\alpha=5\%$

Table 1. Parameters of water treated with natural coagulants

On the other hand, slight variation of the pH in the treated water is observed for all the cases with basic tendencies. Solís *et al.* (2012) showed that the pH of the water treated with mixtures of cassava starch coagulants and aluminum sulfate did not vary significantly presenting less acidic tendencies up to 6.7 from an initial value of untreated water of 6.9. In addition, the hardness shows a slight increase compared to its initial value of untreated water a similar behavior was reported by Mgombezi *et al.* (2017). However, Miranda *et al.* (2012) showed a slight increase when adding cal and kollpa coagulants (Alum from Altiplano).

The coagulant addition increases significantly the BOD₅ of the artificial water due to the tests were realized in solution with the coagulant, which showed that its composition is made up by proteins and carbohydrates.

The objective function to optimize the flocculant capacity was the removal percentage of solids in artificial treated water for three coagulant varieties of cacti, thus, mathematical models or equations were determined, which are shown in Table 2, which show $R^2 > 0.9$.

Table 3, shows the results for coagulant *Echinopsis pachanoi* (San Pedro) variety with its respective restrictions. It is observed that optimum removal percentage is 99.092% for an application percentage of 0.27% coagulant at 1% in the solution. Thus, achieving values of the flocculant activity of 46.01%, pH of 6.6, Hardness of 264.536 ppm of CaCO₃, Alkalinity 30.00 ppm of CaCO₃ and BOD of 2.097 mg O₂/L.

	Model	R ²
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San Pedro) variety		
%R	$\%R = 0.108 * LnC + 99.218$	0.97
AF	$\%FA = 1.119 * LnC + 47.456$	0.95
pH	$pH = 0.282 * LnC + 6.999$	0.92
D	$D = 2.425 * LnC + 266.33$	1.00
A	$A = 30.113 * exp(0.0055 * C)$	0.80
BOD	$BOD = 0.293 * LnC + 6.415$	0.98
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ullujute) variety		
%R	$\%R = 0.138 * LnC + 92.65$	0.83
AF	$\%FA = 1.907 * LnC + 28.576$	0.87
pH	$pH = 0.247 * LnC + 6.756$	0.99
D	$D = 1.613 * LnC + 262.15$	0.87
A	$A = 1.561 * LnC + 31.734$	0.97
BOD	$BOD = 0.249 * LnC + 3.098$	0.91
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna) variety		
%R	$\%R = 0.117 * LnC + 99.024$	0.98
AF	$\%FA = 0.324 * LnC + 46.143$	0.96
pH	$pH = 0.265 * LnC + 6.691$	0.97
D	$D = 1.561 * LnC + 269.40$	0.97
A	$A = 2.206 * LnC + 36.46$	0.94
BOD	$BOD = 0.302 * LnC + 3.368$	0.90

Where: %R, Removal percentage; AF, flocculant activity; D, Hardness; A, Alkalinity, BOD, Biochemical Oxygen Demand; C is the percentage of coagulant application; R² is correlation coefficient.

Table 2. Models for parameters in treated water.

On the other hand, the coagulant from *Neoraimondia arequipensis* variety shows a 92.42% of removal percentage, it must be applied 0.246% of coagulant at 1% in solution. Being that, under this condition the flocculant activity will be 25.667%, pH of 6.558, hardness of 259.641 ppm of CaCO₃, alkalinity 30.0 ppm of CaCO₃ and BOD of 2.754 mg of O₂/L. While the optimum removal percentage was 98.988%, for an application of 0.754% coagulant of the *Opuntia ficus* variety (1%) in solution. The pH was 7.2, hardness of 268.852 ppm of CaCO₃, alkalinity of 25.586 25.586 ppm of CaCO₃ and BOD of 3.230 mg O₂/L.

	Properties	Minimum	Maximum	Optimum
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San Pedro) variety				
Objective function	Removal percentage	---	100	99.092
	Flocculant activity (%)	---	50	46.011
Restrictions	pH	6.6	7.2	6.600
	Hardness (ppm CaCO ₃)	200	300	264.536
	Alkalinity (ppm CaCO ₃)	20	30	30.00
	BOD (mg O ₂ /L)	---	15	2.097
	Coagulant dose percentage (1% in sol)	0.1	3.0	0.207
	<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite) variety			
Objective function	Removal percentage	---	100	92.419
	Flocculant activity (%)	---	50	25.667
Restrictions	pH	6.6	7.2	6.558
	Hardness (ppm CaCO ₃)	200	300	259.641
	Alkalinity (ppm CaCO ₃)	20	30	30.000
	BOD (mg O ₂ /L)	---	15	2.754
	Coagulant dose percentage (1% in sol)	0.1	3.0	0.246
	<i>Opuntia ficus</i> (Tuna) variety			
Objective function	Removal percentage	---	100	98.988
	Flocculant activity (%)	---	50	46.026
Restrictions	pH	6.6	7.2	6.600
	Hardness (ppm CaCO ₃)	200	300	268.852
	Alkalinity (ppm CaCO ₃)	20	30	25.586
	BOD (mg O ₂ /L)	---	15	3.230
	Coagulant dose percentage (1% in sol)	0.1	3.0	0.754

Table 3. Optimum values and their restrictions for the coagulant behavior

4 | CONCLUSIONS

The optimization of the flocculant capacity of three natural coagulants in the artificial treated water evaluated through the removal percentage shows values of 99.09% for *Echinopsis pachanoi* (San pedro) variety, 92.419% for *Neoraimondia arequipensis*

(Ulluquite) variety and 98.98% for *Opuntia ficus* (Tuna) variety. For dosages of 0.207%, 0.246% and 0.754% respectively in coagulant solution at 1%.

REFERENCES

- ABIDIN, Z.Z., SHAMSUDIN, N.S.M., MADEHI, N., SOBRI, S. Optimization of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. **Industrial Crops and Products**, 41, p. 319-323, 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.05.003
- APHA, **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22nd ed.. Washington, DC, USA: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), 2012.
- ARISMENDI, W.A. Evaluación y comparación de la capacidad floculante de taninos modificados (quebracho, acacia, castaño) y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales, Tesis (Maestría en Ciencias Biológicas), Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, 2016, 110 p.
- CHOQUE-QUISPE, D., CHOQUE-QUISPE, Y., SOLANO-REYNOSO, A.M., RAMOS-PACHECO, B.S. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. **Tecnología Química**, 38(2), p. 298-309, 2018.
- DESHMUKH, S., HEDAOO, M.N. Wastewater Treatment using Bio-Coagulant as Cactus *Opuntia Ficus Indica* – A Review. **IJSRD**, 6(10), p. 711-717, 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.28932.99202
- DUJARDIN, E., LASZIO, P., SACKS, D. The chlorophylls. An experiment in bio-inorganic chemistry. **Journal of Chemical Education**, 52(11), p. 742-748, 1975. DOI: 10.1021/ed052p742
- FERREIRA, M.T., AMBROSIO, E., ANDRADE, C., FORMICOLI, T.K., BRIOLA, L., CINQUE, V., GARCIA, J.C. The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. **Environ Monit Assess.**, 186(8), p. 5261–5271, 2014. DOI: 10.1007/s10661-014-3775-9
- GARCÍA, S.A., Estudio de la eficiencia de eliminación de radionúclidos naturales en procesos compatibles con el de potabilización de aguas, tesis (Doctorado en Ciencias Físicas), España, Universidad de Extremadura, 2005, 246 p.
- HAAROFF, J., CLEASBY, J. Comparing aluminum and iron coagulants for in line filtration of cold waters. **J. Am. Water Works Assoc.**, 80(4), p. 168-175, 1988. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1988.tb03022.x
- JIMÉNEZ, J., VARGAS, M., QUIRÓS, N. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. **Tecnología en Marcha**, 25(4), p. 55–62, 2012. DOI: 10.18845/tm.v25i4.619
- MATILAINEN, A., VEPSÄLÄINEN, M., SILLANPÄÄ, M. Natural Organic Matter Removal by Coagulation during Drinking Water Treatment: A Review. **Adv. Colloid Interface Sci.**, 159(2), p. 189–197, 2010. DOI: 10.1016/j.cis.2010.06.007
- MATSUHIRO B., LILLO, L., SÁENZ, C., URZÚA, C., ZÁRATE O. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate Polymer**, 63(2), p. 263–267, 2006. DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.08.062

MGOMBEZI, D., MAHESWARA, V., HAMAD, S., SINGH, S. An Investigation On Effectiveness Of Cactus Materials (Opuntia Spp.) As Adsorbents for Hard Water Treatment. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 6(10), p. 239–244, 2017.

MIRANDA, R., TTITO, S., PALACIOS, R., ALVAREZ, A. Tratamiento de aguas residuales minero metalúrgico por floculación y sedimentación con uso de floculantes naturales mejorados, Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2012, 160 p.

MUMBI, W., FENGTING, L., KARANJA, A. Sustainable treatment of drinking water using natural coagulants in developing countries: A case of informal settlements in Kenya. **Water Utility Journal**, 18, p. 1-11, 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.21105.94563

QUIRÓS, N., VARGAS, M., JIMÉNEZ J. Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el río Humo, reserva forestal río Macho [en línea], Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigación en protección ambiental; 2010 [Consulta 22 diciembre de 2018]. Available at: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2930>

RAMÍREZ, H., JARAMILLO, J. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. **Revista Facultad de Ciencias Básicas**. 11(2), p. 136-153, 2015. DOI: 10.18359/rfcb.1303

SÁNCHEZ, S., UNTIVEROS, G. Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III). **Rev. Soc. Quím. Perú**, 70(4), p. 201-208, 2004.

SOLÍS, R., LAINES, J. Y HERNÁNDEZ J.R. Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. **Revista internacional de contaminación ambiental**, 28(3), p. 229-236, 2012.

VARA, S. Screening and evaluation of innate coagulants for water treatment: a sustainable approach. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, 3(1), p. 2-11, 2012. DOI: 10.1186/2251-6832-3-29

VILLABONA, Á., PAZ, I.C. Y MARTÍNEZ, J. Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. **Revista Colombiana de Biotecnología**, 15(1), p. 137-144, 2013.

YAGUAL, M.G. Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo en la Provincia del Guayas, Tesis (Licenciatura en Ingeniería Química), Ecuador, Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, 2012, 159 p.

YIN C.Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochem.**, 45(9), p. 437-1444, 2010. DOI: 10.1016/j.procbio.2010.05.030

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

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

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

Água residual artificial 118

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

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

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

Atividade floculante 117, 118

Automatização 198

Avaliação de risco 185

B

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

Bacteriologia 109

C

Captação pluvial 48, 50, 55, 56, 57

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

Contaminación del agua 172, 175

Coronavírus 233, 234, 235, 242

D

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

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

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

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

E

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

236, 237, 243

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

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

I

Indicador de revisão tarifária 61

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

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

L

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

M

Medio ambiente 116, 172

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

Microbacia 160, 161

Modelagem computacional 137, 138, 140, 145

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

P

Perdas de água 88, 91, 92, 94, 96, 97

Porcentagem de remoção 117, 118

Q

Qualidade de água 148, 151, 156, 157

R

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

Regulação econômica financeira 61

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

S

Salud pública 109, 116, 172, 174

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

Software livre 185, 188

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

U

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

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

V

Vulnerabilidade ambiental 126, 127

W

Web service 185, 186

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 