

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana  
(Organizador)

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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



**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**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 2 / 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 978-65-5706-745-1

DOI 10.22533/at.ed.451211901

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2. Conhecimentos. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título. CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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.

Os processos de produção industrial têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios danos ambientais caso os contaminantes presentes na água não sejam removidos. Efluentes da indústria têxtil descarregam corantes em seus resíduos e, com isso, os primeiros três capítulos apresentam diferentes processos de tratamento para sua remoção.

Um dos desafios atuais no tratamento de efluentes está na remoção eficaz de contaminantes emergentes. Os capítulos subsequentes apresentam técnicas de adsorção são apresentadas para remoção de antibiótico em efluentes doméstico (Capítulo 4) e fosfato em sistemas de tratamento de águas residuárias (Capítulo 5). Soluções alternativas no processo de tratamento do esgoto doméstico (Capítulo 7), ou até mesmo o reúso de água provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 6), promovem economia financeira e reduzem impactos ambientais.

Ainda há muito o que evoluir na gestão de resíduos sólidos, desde sua geração até a sua disposição final. Mesmo assim, diferentes estudos vêm apontando soluções com o intuito de mitigar impactos ambientais. Por exemplo, no Capítulo 8, vemos a busca de soluções no processo de secagem de lodo provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 8) para seu aproveitamento como fertilizante ou condicionador de solo.

Evidentemente, quanto maior o número de habitantes de uma cidade, maior são os problemas gerados por resíduos urbanos. Com isso, o Capítulo 9 apresenta indicadores de geração de resíduos domésticos como forma de categorizar o tipo de resíduo e estimar o volume sendo gerado diariamente. É de suma importância traçar um plano de ação para estimular a reciclagem de resíduos sólidos, otimizar os processos de reciclagem (Capítulo 10) e promover a conscientização e educação da população (Capítulo 11). Pois o descuido no descarte de resíduos pode causar sérios danos ambientais pela contaminação do solo (Capítulos 12 e 13).

Um dos maiores desafios do século XXI está na redução da emissão de poluentes na atmosfera, não apenas pelo seu impacto sobre as mudanças climáticas, mas também pelo seu impacto na saúde pública. Com isso, os últimos capítulos abordam os danos ambientais causados por queimas controladas na agricultura, indústria e queima de combustíveis fósseis.

Este segundo volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes

partes do país, México e Inglaterra, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos ao tratamento de efluentes industriais, tratamento de esgotos domésticos, reúso de água, gestão de resíduos, contaminação ambiental e qualidade do ar. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Daniel Sant'Ana

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES**

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Marina Violeta Gómez Chávez

Verónica Camargo

**DOI 10.22533/at.ed.4512119011**

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL**

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Federico Augusto Trampe Torija

Raymundo Guzmán Gil

Margarita González-Brambila

José Luis Contreras Larios

Marina Violeta Gómez Chávez

**DOI 10.22533/at.ed.4512119012**

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO**

Cássia Sidney Santana

Otávio Henrique Campos Hamdan

Alisson Henrique Marques da Silva

Bruno Andrade Trindade

Daniele Massote Gibram

Marcelo da Silva Batista

**DOI 10.22533/at.ed.4512119013**

### **CAPÍTULO 4..... 35**

#### **ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO**

Ismael Laurindo Costa Junior

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

**DOI 10.22533/at.ed.4512119014**

### **CAPÍTULO 5..... 55**

#### **AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO POR GOETHITA NATURAL OBTIDA POR PROCESSO DE DISSOLUÇÃO SELETIVA EM COMPARAÇÃO COM GOETHITA NANOPARTÍCULA SINTÉTICA**

Marcelo Hidemassa Anami

Nathalia Pravatto dos Santos

Gabriella de Moraes Valentim

Maria Eduarda Aranega Pesenti

Leonardo Carmezini Marques  
Jefferson Sussumu de Aguiar Hachiya  
**DOI 10.22533/at.ed.4512119015**

**CAPÍTULO 6..... 66**

**AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO COM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**

Marcel Chacon de Souza  
Andre Luis Calado Araújo  
Juliana Delgado Tinôco Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.4512119016**

**CAPÍTULO 7..... 74**

**USO DE FLOCOS DE PEAD RECICLÁVEL (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) COMO MEIO SUPORTE EM REATOR MBBR TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

Bruno de Oliveira Freitas  
Maria Teresa Hoffmann  
Luiz Antônio Daniel

**DOI 10.22533/at.ed.4512119017**

**CAPÍTULO 8..... 82**

**ESTUDO DE SECAGEM DE LODO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTUFA AGRÍCOLA**

Leticia Amadeu Freddi  
Danielle Bolandim Costa  
Tsunao Matsumoto

**DOI 10.22533/at.ed.4512119018**

**CAPÍTULO 9..... 95**

**GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO**

José Luis Guevara Franco  
Laura Patricia Flores Castillo  
Norma Angélica Oropeza García  
José Alfonzo Canche Uuh  
Alondra Martínez Flores

**DOI 10.22533/at.ed.4512119019**

**CAPÍTULO 10..... 99**

**IDENTIFICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS PELO TESTE DE CHAMA**

César Augusto Canciam

**DOI 10.22533/at.ed.45121190110**

**CAPÍTULO 11..... 107**

**PROJETO ESCOLA RESÍDUO ZERO – PERZ (ESTUDO DE CASO EM GOIÂNIA)**

Diógenes Aires de Melo  
Giovane Moraes Toledo  
Camila Batista do Carmo

Fabiola Adaianne Oliveira  
Patrícia Elias Sahium  
**DOI 10.22533/at.ed.45121190111**

**CAPÍTULO 12..... 125**

**CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM ATERROS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA**

Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira  
Luze Daiane da Silva Pereira  
Ruy Bessa Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.45121190112**

**CAPÍTULO 13..... 130**

**EFEITO DO PH NA LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO**

Luanna Di Mario Rocha  
Maria Magdalena Ribas Döll  
Lilian Tais de Gouveia

**DOI 10.22533/at.ed.45121190113**

**CAPÍTULO 14..... 145**

**MUDANÇA TEMPORAL DO USO DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PEDRA DO CAVALO**

Israel Henrique Ribeiro Rios  
Ana Júlia Dantas Pitangueira  
Lis Correia Barreto

**DOI 10.22533/at.ed.45121190114**

**CAPÍTULO 15..... 159**

**<sup>14</sup>C COMO TRAZADOR DE QUEIMA DE BIOMASSA EN MÉXICO**

Marina Violeta Gómez Chávez  
Maria Elba Ortiz Romero Vargas  
Corina Solís Rosales  
Efraín Chávez Lomelí  
Javier Miranda del Campo  
Javier Aragón Navarro  
Miguel Ángel Martínez Carrillo  
Telma Gloria Castro  
Oscar Augusto Peralta Rosales

**DOI 10.22533/at.ed.45121190115**

**CAPÍTULO 16..... 170**

**ESTUDO DA DEMANDA DE QUEIMA CONTROLADA DE CAMPOS NATIVOS EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA NOS ANOS DE 2009 A 2018**

Débora Cristina Correia Cardoso  
Daniely Neckel Rosini  
Jordana dos Anjos Xavier  
Valter Antonio Becegato

Vitor Rodolfo Becegato  
Alexandre Tadeu Paulino

**DOI 10.22533/at.ed.45121190116**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>185</b>
<b>MEASUREMENT AND MATHEMATICAL MODELLING OF ODOR GASES IN A COLLAGEN AND GELATINE PLANT</b>	
Rafael Geha Serta	
Ângelo Breda	
Juliana Pilato Rodrigues	
Marcio Barreiro Gonçalves	
Antônio Augusto Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.45121190117</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>192</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>193</b>



# CAPÍTULO 1

## ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES

*Data de aceite: 04/01/2021*

*Data de submissão: 06/11/2020*

### **Maria Elba Ortiz Romero Vargas**

Departamento de Ciencias Básicas,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México  
México

### **Marina Violeta Gómez Chávez**

Departamento de Ciencias Básicas,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México  
México

### **Verónica Camargo**

Departamento de Ciencias Básicas,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México  
México

**RESUMEN:** En este trabajo se planteó degradar colorantes tipo índigoides mediante procesos fotocatalíticos en solución acuosa. Paralelamente se emplearon procedimientos teóricos y las predicciones de los estudios de la mecánica cuántica en el estudio la estructura de los posibles productos de reacción del colorante frente al radical hidroxilo. La efectividad de los procesos experimentales utilizados se comprobó mediante la comparación de las cinéticas de degradación del colorante obtenidas por espectrofotometría ultravioleta-visible y por la remoción de la carga orgánica, que sufren las soluciones de cada colorante durante el proceso de oxidación,

obtenidas con mediciones de la demanda química de oxígeno (DQO) y concentración de sulfatos medida por colorimetría. Después de diferentes tiempos, se logró disminuir en más de 90 por ciento el color en las muestras, así como su carga orgánica, cuya concentración final se reportó entre 20 y 80 por ciento de la inicial. Las curvas de calibración obtenidas para ambas soluciones de colorante proporcionan una ecuación de transformación de absorbancia a concentración con un alto coeficiente de regresión lineal, lo cual hace confiables las medidas espectrofotométricas para la obtención de las concentraciones en las muestras degradadas. Con el uso de la química computacional, se pudieron corroborar los resultados experimentales, llegando a la conclusión de que, un posible producto de la degradación del Índigo Carmín es la Isatina.

**PALABRAS CLAVE:** Índigo carmín, Colorantes, Tratamiento de Agua.

### THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF PHOTOCATALYTIC PROCESSES APPLIED TO INDIGOID DYES

**ABSTRACT:** In this work, it was proposed to degrade indigoid-type dyes by photocatalytic processes in aqueous solution. At the same time, theoretical procedures and the predictions of quantum mechanics studies were used, in which he studied the structure of the possible reaction products of the dye against the hydroxyl radical. The effectiveness of the experimental processes used was verified by comparing the degradation kinetics of the dye obtained by ultraviolet-visible spectrophotometry and by the removal of the

organic load suffered by the solutions of each dye during the oxidation process, obtained with measurements chemical oxygen demand (COD) and sulfate concentration measured by colorimetry. After different times, it was possible to reduce the color in the samples by more than 90 percent, as well as their organic load, whose final concentration was reported between 20 and 80 percent of the initial one. The calibration curves obtained for both dye solutions provide a transformation equation for absorbance to concentration with a high linear regression coefficient, which makes spectrophotometric measurements reliable for obtaining concentrations in degraded samples. With the use of computational chemistry, the experimental results could be corroborated, reaching the conclusion that a possible degradation product of Indigo Carmine is Isatin.

**KEYWORDS:** Indigo carmine, Dyes, Wastewater.

## COLORANTE ÍNDIGO CARMÍN

Los colorantes pueden ser definidos como sustancias que tienen la capacidad de impartirle color a una fibra, sin verse afectado por factores como luz, agua y jabones.

El índigo es el colorante azul de las telas de mezclilla que han sido utilizadas extensamente desde el siglo XIX, primero para la confección de ropa de trabajo rudo agrícola e industrial y más recientemente como ropa de vestir. El índigo carmín (IC) es el colorante más utilizado (Ramya *et al.*, 2008) y representa del 3% (Vautier *et al.*, 2001) al 7% de la producción total de colorantes, representando cerca de 120,000 toneladas de tintes utilizados anualmente (Roessler *et al.*, 2002).

El índigo carmín, IC, es un colorante sintético de color azul empleado en la industria alimentaria y generalmente como tinte en la tela de mezclilla. El índigo es un colorante natural que se obtiene de la savia del arbusto *indigoferatinctoria*. Sin embargo, la síntesis industrial condujo a un enorme crecimiento de su uso en la industria textil. Una de las limitaciones del índigo es su muy baja solubilidad (menos de 2 ppm en agua) pero el grupo sulfonato, que posee el índigo carmín, supera ésta desventaja (Ortiz 2016). El IC es empleado como un indicador de pH el cual es azul a un pH de 11.4 virando a amarillo a pH 13.0. Se emplea a nivel industrial como un detector de ozono, y en la detección analítica de nitritos y cloritos. Su nombre sistemático es 3,3-dioxo-2,2-bi-indolilideno-5,5-disulfonato disódico. A diferencia del índigo que no es soluble en agua, el índigo carmín tiene una solubilidad de 10 g/L (25 °C).

Posee una estructura aromática, de difícil degradación y altamente recalcitrante (Ver Ilustración 1) (Ruiz-Balaguera, 2011, Solis Correa, 2011).

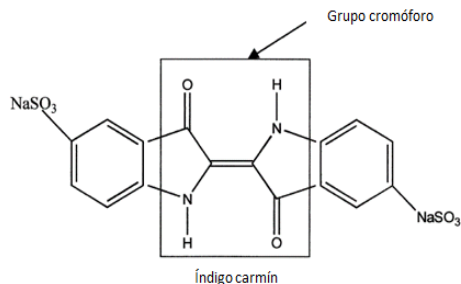


Ilustración 1. Estructura del índigo carmín

El índigo carmín es considerado tóxico, ya que puede irritar ojos y piel al estar en contacto continuo. El consumo del tinte en las madres embarazadas puede causar en los fetos daños en su naturaleza reproductiva, desarrollo mental e intoxicación. Puede causar también irritación gastrointestinal con náusea, vómito y diarrea (Quintero y Cardona, 2010).

A pesar de que el IC es empleado como colorante alimentario en disoluciones de muy bajas concentraciones, en raras ocasiones se ha encontrado la existencia de efectos colaterales en las concentraciones empleadas en la coloración de los alimentos. De la misma forma se han encontrado pocas reacciones secundarias debidas al acoplamiento del colorante a las proteínas del cuerpo.

La remoción de colorantes de efluentes textiles es de vital importancia para la flora y fauna de los cuerpos de agua en los que son descargados, ya que impiden la fotosíntesis y afectan directamente los organismos de la vida marina, además de las colonias aledañas al cuerpo de agua. Los grupos cromóforos que se encuentran en la estructura atómica de los colorantes son los responsables del color que podemos percibir a simple vista, podemos definir a los colorantes como sustancias con muchos electrones capaces de absorber energía de la luz visible y excitarse para reflejar la luz no utilizada, la cual se observa como diversos colores dependiendo de sus longitudes de onda. Los grupos funcionales auxocromo como aminas ( $-NH_2$ ), carboxilos ( $-COOH$ ), sulfonatos ( $SO_3H$ ) y el ion hidróxido ( $-OH$ ) son incoloros; sin embargo, cuando se encuentran en conjugación con un grupo cromóforo, aumenta la intensidad del color (dos Santos *et al.*, 2007).

Muchos cuerpos de agua han sido afectados por la presencia de diferentes contaminantes, entre ellos los remanentes de los productos utilizados en la industria textil, algunos son considerados de alto poder contaminante por organismos como la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Dependiendo del tipo de colorante, se llegan a utilizar de 100 a 175 litros de agua por kilogramo de producto (Mansilla *et al.*, 2001). Las aguas descargadas por la industria textil contienen residuos de colorantes, sales, almidones, peróxidos, suavizantes de agua como EDTA, tensoactivos, metales, enzimas y otros componentes orgánicos de estructura variada. En especial los

colorantes tienen un carácter muy persistente en el ambiente y los métodos clásicos empleados para su eliminación resultan poco efectivos ya que las reacciones parciales de óxido-reducción pueden generar productos secundarios de toxicidad potencial y no podemos dejar pasar el hecho de que el color en el agua que se descarga al ambiente impide la penetración de la luz disminuyendo la actividad fotosintética de los organismos acuáticos, modifica negativamente los parámetros químicos (pH, DQO, DBO y turbidez) de las corrientes receptoras, lo que modifica la actividad del ecosistema, puede ser tóxico para algunos organismos de cadena trófica, además la coagulación de los colorantes produce sólidos que bloquean las agallas de los peces y los estomas de las plantas obstruyendo su proceso de respiración (Yonar, 2011).

Existen varios métodos para remover o eliminar los colorantes de los efluentes textiles, como son los tratamientos fisicoquímicos avanzados (López-López y Pic, 2007), los cuales remueven los colorantes del agua, transfiriéndolos de una fase a otra y sin transformar la estructura molecular a otra más simple y generando lodos residuales. La fotocatalisis heterogénea es un proceso que ocurre a temperatura y presión ambiente que implica la generación de radicales altamente reactivos, especialmente los radicales hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ) (Hussein, 2011).

## QUÍMICA COMPUTACIONAL

En la Ilustración 2 se muestra la estructura optimizada de las moléculas del colorante Índigo, y la del índigo carmín, se puede observar que son completamente simétricas, y a simple vista se nota su planaridad con respecto al doble enlace carbono-carbono  $>\text{C}=\text{C}<$ , esto debido a los puentes de hidrógeno que no permiten que estas moléculas se pueda torcer, impidiendo casi en su totalidad la movilidad. También, éste doble enlace de los carbonos, es la base del grupo cromóforo, el cual le da a la molécula el típico color azul. Cabe mencionar que el colorante índigo, antecesor del índigo carmín, es totalmente insoluble en agua; ahora, en comparación con la molécula del índigo carmín se observa la misma estructura del índigo, pero con dos grupos sulfonatos en los carbonos 5 y 5', los cuales hacen que el colorante sea soluble (10g/L a 25°C). A pesar de contener la molécula estos grupos sulfonatos no deja de ser plana. (Camargo *et al*, 2016)



Ilustración 2. Molécula del colorante a) Índigo e b) Índigo Carmín.

## ANÁLISIS ENERGÉTICO Y TERMODINÁMICO

Los análisis de termoquímica llevan a otra de las consecuencias prácticas de la química computacional, como lo es la posibilidad de estimar valores para las funciones termodinámicas clásicas. Es posible estimar valores para la energía interna  $E$ , entalpía  $H = E + PV$ , entropía  $S$  y la energía libre de Gibbs  $G = H - TS$ , así como para las diferencias de éstas en diferentes estados cualesquiera. Ello permite el estudio termodinámico de reacciones químicas, lo cual complementa los estudios de reactividad que son también posibles al analizar la estructura molecular a través de las características de su densidad electrónica resultante de los cálculos.

Es importante señalar que la termoquímica o termodinámica desplegada bajo esta metodología de trabajo es perfectamente aplicable a los casos en donde no sea posible la realización de medidas experimentales que permitan determinar valores adecuados para las funciones termodinámicas de interés.

En los ficheros de salida de Gaussian, las diferentes contribuciones a la energía total de cada sistema molecular son especificadas detalladamente de la siguiente forma, junto con los resultados calculados:

Corrección del punto cero =	$\epsilon_{zpe} = 0.239303$ (Hartree/Particle)
Corrección térmica para la energía =	$E = E_t + E_r + E_v = 0.265039$
Corrección térmica para la entalpía =	$H = E + RT = 0.265983$
Corrección térmica para la energía libre de Gibbs =	$G = H - TS$ ; $S = S_t + S_r + S_v + S_e =$ 0.179693
Suma de energía electrónica y de punto cero =	$\epsilon_o + \epsilon_{zpe} = -2446.415639$
Suma de energía electrónica y térmica =	$\epsilon_o + E = -2446.389903$
Suma de entalpía electrónica y térmica =	$\epsilon_o + H = -2446.388959$
Suma de energía libre electrónica y térmica =	$\epsilon_o + G = -2446.475249$

El programa Gaussian calcula las energías electrónicas a 0 K y por medio del análisis termoquímico que ofrece las energías complementarias debidas al movimiento colectivo de los núcleos. Ello introduce la corrección térmica expresada de las diferentes formas de acuerdo a si lo que se desea calcular es la energía interna, la entalpía o la energía libre de Gibbs. En seguida se muestran algunos resultados para el Índigo Carmín: (au) (Ver Tabla 1)

Concepto	Símbolo	Resultado
Energía de repulsión núcleo a núcleo	N-N	2.774249262741D+03
Energía de atracción electrón núcleo	E-N	-1.054217714523D+04
Energía cinética	KE	2.118186418020D+03
Suma de densidades atómicas	--	216.0011203053

Tabla 1. Energías Repulsión y Atracción, y Energía Cinética de la molécula del IC.

En la Ilustración 3 se muestran las geometrías optimizadas de la molécula de IC cuando se adiciona el radical OH en cada uno de los carbonos y los nitrógenos de la estructura. Observando que la adición del radical OH en el Carbono uno (C1) dobla la molécula de tal forma que deja de ser plana, que es una de las características de la estructura original del índigo carmín. Este fenómeno indica que el radical OH en el Aducto C1 puede llegar a romper la molécula del IC a la mitad, deshaciendo el doble enlace carbono-carbono, formando dos moléculas iguales y rompiendo el grupo cromóforo, el cual le da a la molécula el típico color azul del IC. Si sucede este fenómeno, las dos moléculas iguales que se obtienen de la ruptura de la molécula, son conocidas como Isatina, otro colorante textil (Ver Ilustración 4).

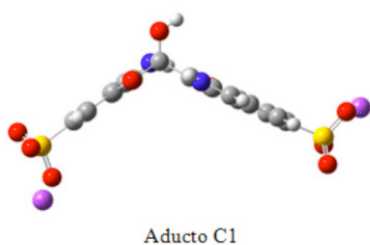


Ilustración 3. Geometrías optimizadas de la molécula de IC cuando se adiciona el radical OH.

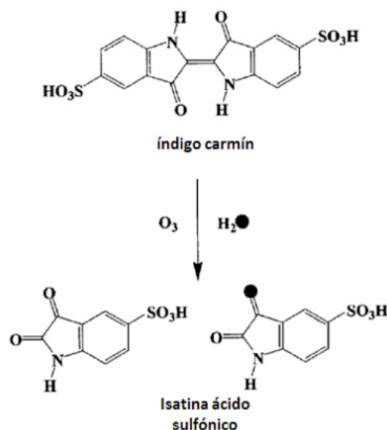


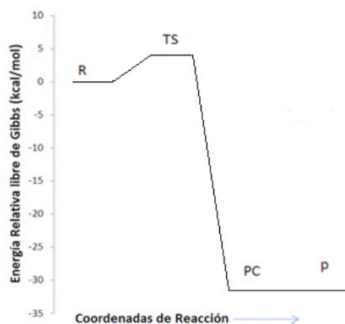
Ilustración 4. Producción de la Isatina.

Las reacciones de radicales libres con compuestos orgánicos pueden ocurrir de acuerdo a dos mecanismos básicos: i) la adición del radical libre a anillos aromáticos ó enlaces múltiples, ó ii) la abstracción de un átomo de hidrógeno (Iuga et al, 2012; Uc et al, 2006). En el caso del índigo carmín, solo se consideraron los caminos de adición, ya que la abstracción de hidrógeno está impedida por puentes de hidrógeno intramoleculares. Se

modelaron todos los caminos de reacción para la adición del radical  $\bullet\text{OH}$  al índigo carmín, en medio acuoso, de acuerdo a la siguiente



En la Grafica 1 se muestra la energía de reacción para la adición de  $\text{OH}\bullet$  en la molécula del colorante índigo carmín, observando la energía de los reactivos, después el estado de transición, productos complejos y finalmente productos.



Grafica 1. Energía de Reacción para la adición de  $\text{OH}\bullet$ .

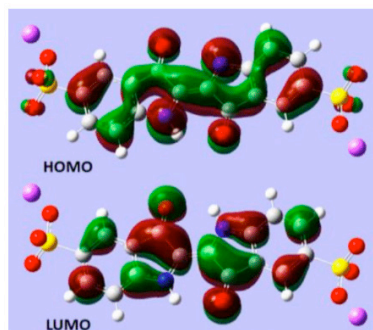


Ilustración 5 Orbitales frontera de la molécula del IC.

La Ilustración 5 muestra la forma de los orbitales frontera HOMO y LUMO. Los colores rojo y verde representan las fases positivas y negativas, respectivamente. Se puede observar que ambos orbitales presentan carácter de enlace y anti-enlace.

El orbital HOMO se caracteriza por una línea larga de enlaces conjugados, los cuales se extienden diagonalmente sobre los átomos centrales de carbono, desde la posición 3' a 3, con una pequeña contribución de los átomos 7' y 7. Los carbonos 6 y 6' no forman parte del orbital HOMO. Los enlaces de los átomos C4-C5 y C4'-C5', así como los grupos carbonilos y amino, y los oxígenos 12, 12', 13 y 13' del grupo sulfonato, son de carácter anti-enlace con respecto a la cadena central de carbonos.

En el orbital LUMO, se observan varias regiones de carácter de enlace y anti-enlace. Los carbonos en las posiciones C5, C5', C7 y C7' no forman parte del orbital, y los carbonos C1 y C1' tienen carácter anti-enlace.

## METODOLOGÍA

La reacción de fotocatalisis se llevó a cabo en un reactor de cuarzo de 300 mL de capacidad (depositando en él únicamente 200 mL de solución de cada colorante) con tapa de 3 salidas, una de las cuales se utilizó para la admisión de aire, cuyo oxígeno actuó como agente oxidante, otra salida fue el tubo para la extracción de muestras y la tercera permitió la salida del aire después de la reacción. Se usó una lámpara de luz ultravioleta dual de

254/365 nm, Cat 9762040, de 8 watt, 115 V/60 Hz y 0.16 Amp, marca Cole-Parmer®. El catalizador para la oxidación de los colorantes fue el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) (Aldrich), después de haber sido triturado en mortero de ágata, cernido a 400 mallas Tyler y activado en mufla a 550 °C.

La longitud de onda máxima ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) a seguir en la experimentación, así como la cinética de reacción que resultó de los procesos de oxidación se determinaron por espectroscopía UV-Vis con un espectrofotómetro marca SHIMADZU PHARMASPEC con rangos de longitud de onda ( $\lambda$ ) de 200 a 800 nm y de absorbancia -0.5 a 4.0 nm con celdas de cuarzo de 4 mL.

La caracterización del colorante a través de la demanda química de oxígeno (DQO) se realizó según el procedimiento descrito en el Manual HACH®, utilizando viales comerciales de rango bajo (de 20 a 150 mg O<sub>2</sub>/L). Las muestras se digirieron en un horno HANNA previamente programado para mantener 150°C durante 90 minutos. Las lecturas de los viales, previa calibración, se realizaron en un espectrofotómetro HACH® modelo DRDL2400. La determinación de sulfatos también se realizó según el procedimiento, reactivos y equipos HACH®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los espectros fotométricos del Índigo Carmín (a) y del Índigo Tetrasulfonato (b). Se observa que las longitudes de onda máxima son 250, 290 y 610 nm para el Índigo Carmín, mientras que el Índigo Tetrasulfonato de Potasio tiene dos bandas características a 255 y 591 nm, se observa otra banda a 310, sin embargo, ésta satura la absorbancia en el espectro. Para la determinación de las curvas de calibración se seleccionaron las longitudes de onda en la región visible de cada colorante (610 y 591 nm).

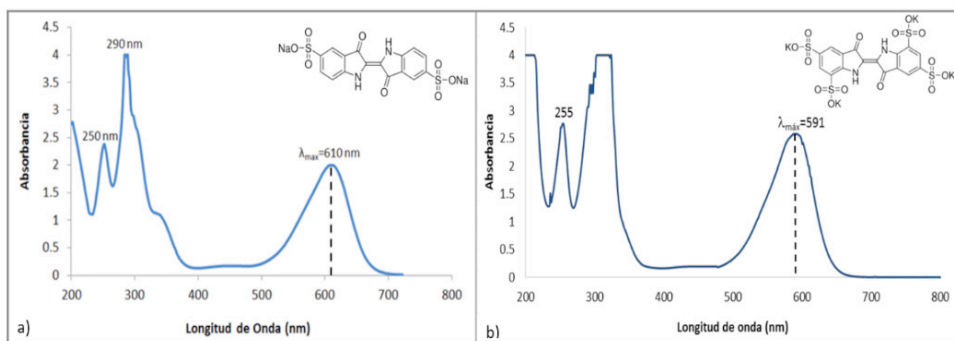


Figura 1. Espectro fotométrico de los colorantes a) Índigo Carmín, b) Índigo Tetrasulfonato de Potasio

Los datos empleados para las curvas de calibración se muestran en las Tablas 2



y 3, de los cuales se obtiene un coeficiente de regresión lineal mayor a 0.999 para cada colorante como se observa en las Figuras 2 y 3, estos coeficientes son altamente confiables para calcular las concentraciones de las muestras tomadas para la cinética de degradación

Conc [ma/L]	Abs [nm]
0	0
10	0.42
20	0.81
30	1.221
40	1.629
50	2

Tabla 2. Datos para la curva de calibración del índigo carmín

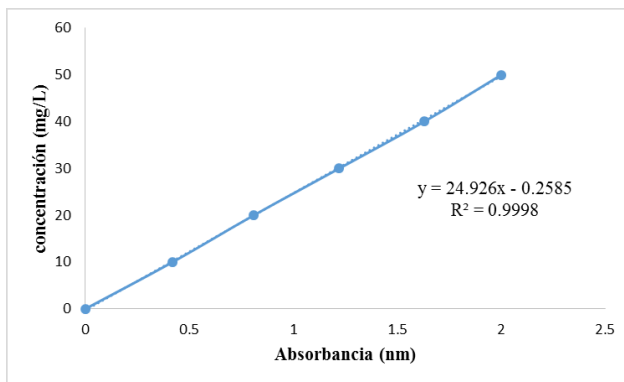


Figura 2. Curva de calibración a 610 nm

Con [mg/L]	Abs [nm]
0	0
10	0.281
20	0.562
30	0.838
40	1.120
50	1.388
60	1.656
70	1.923
80	2.166
90	2.413
100	2.685

Tabla 3. Datos para la curva de calibración del índigo tetrasulfonato de potasio

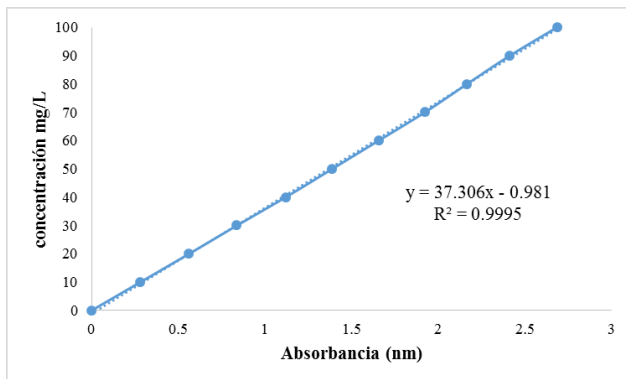


Figura 3. Curva de calibración a 591 nm

Los datos experimentales de la degradación por fotocatalisis de los colorantes se pueden observar en las Tablas 4 y 5 donde se reportan las fracciones de las concentraciones. Estos datos fueron empleados para obtener las cinéticas de reacción, Figuras 4 y 5, donde las ecuaciones de las mismas muestran pendientes negativas, claro indicador de la pérdida de color, se observa también que la magnitud de la pendiente es mucho mayor para el caso del Índigo Carmín que para el Tetrasulfonato, la razón de estas pendientes da un resultado de 5.85, lo cual es coherente con el tiempo que tomó llegar a la mineralización de los colorantes

Tiempo	Abs	Conc
[min]	[nm]	[mg/L]
0	1.444	1
10	1.217	0.84
20	0.029	0.71
30	0.746	0.51
40	0.5	0.34
50	0.281	0.18
60	0.128	0.08

Velocidad de degradación= 0.65 mg/L/min

Tabla 4. Datos de cinética y velocidad de degradación del índigo carmín

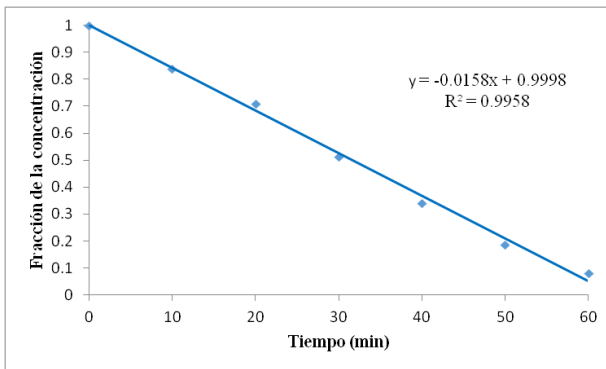


Figura 4. Cinética de degradación del índigo Carmín

Tiempo	Abs	Conc
[min]	[nm]	[mg/L]
0	2.68	1
60	1.92	0.71
120	1.23	0.45
180	0.65	0.23
240	0.31	0.10
300	0.20	0.06
360	0.14	0.04

Velocidad de degradación= 0.26 mg/L/min

Tabla 5. Datos de cinética y velocidad de degradación del índigo tetrasulfonato de potasio

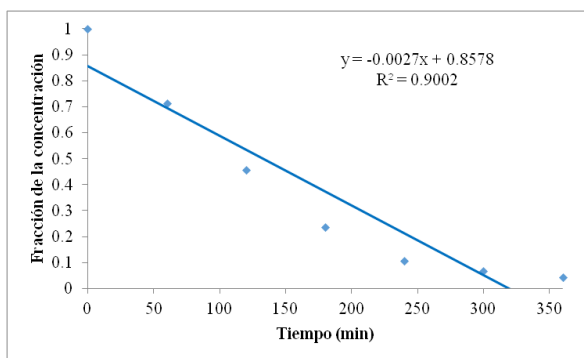


Figura 5. Cinética de degradación del Índigo tetrasulfonato de potasio

Las fracciones finales de los colorantes después de las reacciones, así como el porcentaje de disminución de color respecto a la absorbancia original, los datos de la carga orgánica o mineralización (DQO) y la reducción en el contenido de azufre se observan en la Tabla 6. Para cada colorante se observa que la remoción de color se encuentra por arriba del 90%, sin embargo, la materia orgánica y los sulfatos no disminuyeron de forma proporcional al color, siendo mayor la degradación de éstos últimos para el caso del Índigo Carmín.

Colorante	Tiempo de exposición (min)	Pendiente (m)	Coeficiente de regresión lineal (R <sup>2</sup> )	% de degradación de:		
				Color	DQO	Sulfatos
Índigo Carmín	60	-0.0158	60	92	29	70
Índigo Tetrasulfonato	360	-0.0027	360	96	16	27

Tabla 6. Porcentaje de color, DQO y sulfatos perdidos al final de la oxidación

## CONCLUSIONES

Con el uso de la química computacional, se pudieron corroborar los resultados experimentales, llegando a la conclusión de que, un posible producto de la degradación del IC es la Isatina. Además de analizar a fondo las propiedades moleculares del IC, los posibles mecanismos de reacción del IC con los radicales OH, así como los principales canales de reacción y afinidad del radical OH.

El Proceso de Oxidación avanzada de fotocátalisis fue capaz de degradar ambos colorantes en mas del 90 por ciento, las concentraciones experimentales se pudieron calcular de manera confiable gracias a las curvas de calibración que dieron un excelente coeficiente de correlación. En general se obtuvo una muy buena degradación del color, sin embargo, el contenido de DQO y sulfatos no obtuvieron cantidades proporcionales de degradación con respecto a éste, la explicación puede ser que la perdida de color se obtiene como el primer paso en la reacción colorante más radical  $\bullet\text{OH}$ . Esta adición generalmente es suficiente para romper la conjugación de los dobles enlaces que originan el color. En cambio la mineralización exige la adición de otros radicales libres creando una cadena de subproductos que son moléculas orgánicas cada vez mas sencillas, hasta que finalmente el carbón orgánico se convierte en  $\text{CO}^2$ .

## REFERENCIAS

Dos Santos A. B., Cervantes F. J., y Van Lier, J. B., (2007). "Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters"; Perspectives for anaerobic biotechnology, Bioresource Technology, pp. 2369–2385.

Camargo Ortiz Verónica, María Elba Ortiz Romero Vargas, Huego Eduardo Solís Correa, Sandra Loera Serna, Marina Violeta Gómez Chávez 2016 Evaluación del proceso de fotocátalisis aplicada a dos soluciones acuosas de colorantes indigoides. Memorias del 59° Congreso Internacional del Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables, y el XXXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDISCartagena, Colombia

Iuga, C.; Ortiz, E.; Alvarez-Idaboy, J. R.; Vivier-Bunge, A. (2012).Molecular description of Indigo oxidation mechanisms initiated by OH and OOH radicals.Physical Chemistry A. XXXX.

Iuga, C.; Galano, A.; Vivier-Bunge, A. (2008) Theoretical Investigation on the OH Radical Initiated Oxidation of Benzaldehyde in the Troposphere, Chem. Phys. Chem. 9, 1453-1459.

Hussein, F. (2011) Photochemical Treatments of Textile Industries Wastewater. Advances in Treating Textile Effluent. Huazhong University of Science and Technology, China. Edited by Peter J. Hauser.

INEGI-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). La industria textil y del vestido en México. Serie estadísticas sectoriales. Número 23.

INEGI-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). La industria textil y del vestido en México. Serie estadísticas sectoriales. Sin número.

- Jaramillo C. A. y Taborda G. (2006). La fotocatalisis: aspectos fundamentales para una buena remoción de contaminantes. *Revista Universidad de Caldas*, 71– 88.
- López-López, A. & Pic, J.S. (2007) Desarrollo de un proceso de oxidación avanzada basado en ozono para degradar compuestos recalcitrantes en agua. Institut National de Sciences Appliquées de Toulouse (INSA).
- Madhavan, J.; Grieser, F.; Ashokkumar, M. (2010) Combined advanced oxidation processes for the synergistic degradation of ibuprofen in aqueous environments. *Journal of Hazardous Materials* 178, 202–208.
- Mansilla H. D., Lizama C., Gutarra A., Rodríguez J., (2001). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. Tomado del texto colectivo "Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Uso de óxidos semiconductores y materiales relacionados para aplicaciones ambientales y ópticas", elaborado por la Red CYTED VIII – G, capítulo 13. M. Blesa. Editor. Buenos Aires.
- Ortiz Elba, Violeta Gómez-Chávez, Carlos M. Cortés-Romero, Hugo Solís, Rubén Ruiz-Ramos, Sandra Loera-Serna. Degradation of Indigo Carmine Using Advanced Oxidation Processes: Synergy Effects and Toxicological Study. *Journal of Environmental Protection*, 2016, 7, 1693-1706 DOI: 10.4236/jep.2016.712137
- Quintero, L. & Cardona, S. (2010). Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín. *Dyna*, Medellín. 162, 371-386.
- Roessler, A.; Crettenand, D.; Dossenbach, O.; Marte, W. y Rys Paul. (2002) Direct electrochemical reduction of indigo. *ElectrochimActa*.47, 19891995.
- Ramya, M.; Anusha, B.; Kalavathy, S. (2008). Decolorization and biodegradation of Indigo carmine by a textile soil isolate *Paenibacillus larvae*. *Biodegradation*. 19, 283–291.
- Ruiz-Balaguera, S. E. (2011). Evaluación de la remoción del colorante índigo utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo Denim empleando a *Pleurostretus* como modelo biológico. Tesis de Maestría. Universidad de la Sabana.
- Solís-Correa, H.; Ortiz, E.; Uc, V. H.; Hernández-Avila, J. L. (2011). Indigo stability: an ab initio study. *Molecular Simulation*, 37:13, 1085-1090.
- Uc, V. H.; Alvarez-Idaboy, J. R.; Galano, A.; Vivier-Bunge, A. (2006). Theoretical determination of the rate constant for OH hydrogen abstraction from toluene. *J. Phys. Chem. A*, 110, 10155.
- Vautier, M.; Guillard, C.; Herrmann, J-M. (2001) Photocatalytic Degradation of Dyes in Water: Case Study of Indigo and Indigo Carmine. *Journal of Catalysis*. 201, 46-59.
- Yonar, T., (2011) Decolorization of Textile Dyeing Effluents Using Advanced Oxidation Processes. in Hauser, P. (ed.), *Advances in Treating Textile*. InTech. doi:10.5772/18908.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 139, 140

Aerosoles 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168

Alaranjado de metila 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Área de proteção ambiental 145, 148, 158

Área superficial elevada 74

Aspergillus niger 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Aterros 125, 131, 132

### C

Celulosa 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24

Colorantes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21

Compostagem 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124

Contaminação ambiental 26, 130

Contaminação hídrica 56

### D

Decantador de coluna 82

### F

Fármacos 35, 36, 37, 38, 39, 46, 47

Floco decantador de manta de lodo 82

Fósforo 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71

### I

Índigo carmín 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

### L

Lodo de lagoa de estabilização 82, 93

### M

Mathematical air dispersion modeling 186

Meio ambiente 36, 37, 46, 56, 72, 94, 101, 120, 124, 125, 128, 129, 145, 146, 148, 170, 171, 172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Meio suporte alternativo 74, 75, 76

Metais tóxicos 125, 126, 128

Micropoluentes 35, 39

## **O**

Odour monitoring 186

Odour sensors 186

Óxidos de ferro 55, 57, 58, 59, 62, 63

## **P**

Plástico reciclável 74

Processo contínuo 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33

Processo de lixiviação 130, 131

Processo em batelada 25, 26, 27, 28, 31, 33

## **Q**

Queima de biomassa 159, 160, 161, 162, 166, 167, 168

## **R**

Radiocarbono 160, 161, 162, 167

Reação de Fenton 26

Resíduo sólido 108

Resíduos sólidos domiciliares 95, 96, 97

Resíduo zero 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 123, 124

Resinas 99, 100, 101, 104

## **S**

Saneamento rural 56

Saúde humana 37, 125, 126, 128, 170, 171, 172, 178

Secagem em estufa agrícola 82, 88, 89, 90, 93

Solubilização 130

## **T**

Termoplásticos 99, 100, 105

Tratamiento de agua 1, 13, 14

## **U**

Unidade de conservação 145, 146, 158

Uso do solo 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 158, 172, 178, 180, 186

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

## 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

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

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

## 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

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