

**NELSON DE SOUZA AMORIM  
FERNANDO MANUEL ARAÚJO MOREIRA  
CARLOS CÉLIO SOUSA DA CRUZ  
UBIRAEALSON DE LIMA RUELA  
PAULA RENATHA NUNES DA SILVA  
JOSÉ ROBERTO BRANCO RAMOS FILHO  
VICENTE MOREIRA RODRIGUES  
THIAGO AUGUSTO DE SOUSA MOREIRA  
GILSON FERNANDES BRAGA JUNIOR  
ESTEFANY COUTO MILÉO  
(ORGANIZADORES)**

# **ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA FÍSICA**



**Atena**  
Editora

Ano 2020

**NELSON DE SOUZA AMORIM  
FERNANDO MANUEL ARAÚJO MOREIRA  
CARLOS CÉLIO SOUSA DA CRUZ  
UBIRAEALSON DE LIMA RUELA  
PAULA RENATHA NUNES DA SILVA  
JOSÉ ROBERTO BRANCO RAMOS FILHO  
VICENTE MOREIRA RODRIGUES  
THIAGO AUGUSTO DE SOUSA MOREIRA  
GILSON FERNANDES BRAGA JUNIOR  
ESTEFANY COUTO MILÉO  
(ORGANIZADORES)**

# **ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA FÍSICA**



**Atena**  
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

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. 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
 (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

S612a      Simpósio Brasileiro de Engenharia Física (14 : 2019 : Santarém)  
               Anais [...] / XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física, 23-25  
               outubro 2019, Santarém, PA; organizadores Nelson de Souza  
               Amorim... [et al.]. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 ISBN 978-65-86002-15-7  
 DOI 10.22533/at.ed.157200203

1. Engenharia física – Congressos. I. Título.

CDD 573.724

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

O curso de Engenharia Física da Universidade Federal de São Carlos foi criado no ano 1999 e foi pioneiro nesta área no Brasil. No ano de 2019, o curso de engenharia física no Brasil completou 20 anos. Nesse contexto, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPa) promoveram o XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física que foi realizado na cidade de Santarém-PA no período de 23 a 25 de Outubro de 2019 na Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Tapajós com o tema “Jubileu de 20 anos da Engenharia Física no Brasil”.

Com a proposta de promover o conhecimento científico e inovação tecnológica bem como a integração entre especialistas, docentes e discentes da área, foram discutidos os 20 anos de existência do curso no Brasil e o intercâmbio de informações técnicas-científicas através de minicursos e palestras relacionados as diferentes temáticas da Engenharia Física e suas perspectivas futuras.

A coleção Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física é uma obra que tem como objetivo divulgar os diversos trabalhos que participaram do evento através de trabalhos acadêmicos que abordaram diferentes temas, tais como: termodinâmica, propriedades dielétricas de materiais, ciência dos dados e machine learning, internet das coisas, deep learning, processos oxidativos avançados, energia solar, gerenciamento de projetos, física quântica e automação. Deste modo a obra contribui para disseminar os resultados obtidos pelos acadêmicos e fortalecer a diversidade científica no país, de forma multidisciplinar.

Comitê Organizador

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A IMPORTÂNCIA DO REALIMENTADOR NA EFICIÊNCIA DE UM CICLO DE RANKINE UTILIZANDO O EES	
Muller Gabriel da Silva Chaves Carlos Eduardo Ribeiro Silva Vitor Azevedo Pinto Carlos Célio Sousa da Cruz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ANÁLISE TEÓRICA DAS PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DA MACAÚBA ( <i>Acrocomia acuelata</i> )	
Alex Torres da Silva Nelson de Souza Amorim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE DATA SCIENCE E MACHINE LEARNING EM UM PROBLEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE UM DATASET DE MARKETING BANCÁRIO	
Yasmin Braga Teixeira João Vitor Rebelo Viana Josecley Fialho Góes Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>28</b>
AQUISIÇÃO DE DADOS DO CONSUMO ELÉTRICO EM UMA EDIFICAÇÃO DA UFOPA UTILIZANDO CONCEITOS DE IOT	
Leonardo Paz Amoêdo Dalton Felipe Silva Varão João Elias Brasil Bentes Júnior Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>37</b>
DEEP LEARNING PARA REGRESSÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA DE UMA USINA DE ENERGIA DE CICLO COMBINADO	
Mauro Sérgio dos Santos Moura Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>46</b>
DEGRADAÇÃO DE CORANTES EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO DIÓXIDO DE TITÂNIO NA FORMA DE FILMES FINOS PREPARADOS SOBRE SUBSTRATO CERÂMICO COMERCIAL	
Graziele Daiana Sena de Sousa Adriano Cesar Rabelo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002036</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>59</b>
FATORES CRÍTICOS QUE INTERFEREM NO GERENCIAMENTO DO TEMPO EM PROJETOS DE ENGENHARIA: ESTUDO DE CASO EM SANTARÉM – PA	
Raíssa Coelho Almeida Kevin de Matos Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002037</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>70</b>
OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE KLEIN-GORDON-FOCK EM COORDENADAS DO CONE DE LUZ	
Jorge Kysnney Santos Kamassury Damião Pedro Meira Filho Sérgio Antônio de Souza Farias Natalie Von Paraski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002038</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>83</b>
RÁPIDO RECONHECIMENTO DE MODULAÇÕES ANALÓGICAS E DIGITAIS VIA REDES RESIDUAIS PROFUNDAS	
Jorge Kysnney Santos Kamassury Vinícius Felipe de Oliveira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002039</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>98</b>
REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A AUTOMAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL	
Davi Henrique da Silva Pedroso Gabriel Gonçalves da Silva Gilson Fernandes Braga Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.15720020310</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>109</b>
DIAGNÓSTICO DOS MICROSSISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO INSTALADOS NAS COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE SANTARÉM	
Fabiane da Conceição Almeida Manoel Roberval Pimentel Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.15720020311</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>119</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>121</b>

## DEGRADAÇÃO DE CORANTES EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO DIÓXIDO DE TITÂNIO NA FORMA DE FILMES FINOS PREPARADOS SOBRE SUBSTRATO CERÂMICO COMERCIAL

*Data de aceite: 27/01/2020*

*Data de submissão: 17/11/2019*

### **Graziele Daiana Sena de Sousa**

Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Instituto de Engenharia e Geociências,  
Santarém – PA  
<http://lattes.cnpq.br/5710529989215830>

### **Adriano Cesar Rabelo**

Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Instituto de Ciências da Educação,  
Santarém – PA  
<http://lattes.cnpq.br/2798126563880292>

**RESUMO:** Um campo em crescimento nas áreas das engenharias e ciências naturais são as pesquisas por processos que promovam o tratamento de águas residuais que contenham compostos recalcitrantes, os quais são provenientes de uma variada gama de indústrias e processos farmacêuticos. Nas últimas décadas, foram desenvolvidas diversas técnicas capazes de promover a completa remoção de compostos de difícil degradação das águas, entre elas, tem-se os Processos Oxidativos Avançados (POA's), capazes de converter poluentes em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e ácidos minerais. Um dos POA's mais conhecidos é a fotocatalise heterogênea. A composição química e estrutura física dos materiais semicondutores afetam diretamente a

eficiência do processo fotocatalítico. Portanto, a aplicação de filmes finos, que são basicamente modificações da estrutura física dos materiais fotocatalíticos, tem provocado um enorme impacto no desenvolvimento de tecnologias no processo de fotocatalise heterogênea. Nesse contexto, durante o desenvolvimento deste trabalho foi construído um fotoreator de baixo custo e avaliou-se a performance de filmes finos de TiO<sub>2</sub> preparados em substrato cerâmico previamente recoberto com CaO. A avaliação da performance foi realizada através de testes de degradação realizados com os corantes Rosa de Bengala e Alaranjado de Metila. Por fim, concluiu-se que a fotólise decorrente da reflexão sobre a camada de CaO predominou sobre a fotocatalise.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de águas residuais; Processos Oxidativos Avançados; Fotocatalise heterogênea; Filmes finos; Substrato Cerâmico.

**ABSTRACT:** A growing field in engineering and natural sciences are process that promotes the treatment of wastewater containing recalcitrant compounds from a wide range of pharmaceutical industries and processes. In the last decades, several techniques have been developed to promote the complete removal of compounds with difficult water degradation, among them the Advanced Oxidative Processes (POA's), capable

of converting pollutants into CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and mineral acids. One of the best known POA's is the heterogeneous photocatalysis. The chemical composition and physical structure of semiconductor materials directly affect the efficiency of the photocatalytic process. Therefore, the application of thin films, which are basically modifications of the physical structure of photocatalytic materials, has had a huge impact on the development of technologies in the heterogeneous photocatalysis process. In this context, during the development of this work a low cost photoreactor was built and the performance of thin films of TiO<sub>2</sub> prepared on ceramic substrate previously coated with CaO was evaluated. Performance evaluation was performed through degradation tests performed with the Bengal Rose and Methyl Orange dyes. Finally, it was concluded that the photolysis resulting from the reflection on the CaO layer predominated over photocatalysis.

**KEYWORDS:** Wastewater treatment; Advanced Oxidative Processes; Heterogeneous photocatalysis; Thin films; Ceramic Substrate.

## 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento das atividades humanas tem provocado o aparecimento dos chamados poluentes emergentes no ar, solo e ambientes aquáticos. Entre as substâncias encontradas nas águas tem-se a presença de compostos recalcitrantes, como corantes, fármacos, pesticidas, hormônios, entre outros, os quais são originados dos mais diversos tipos de atividades humanas. A presença desses compostos gera inúmeros problemas à fauna, flora e saúde humana. Tendo em vista esses problemas, pesquisadores e empresas estão cada vez mais preocupados com o desenvolvimento de processos e produtos que sejam capazes de promover a limpeza desses efluentes e uma correta destinação de seus rejeitos. No entanto, métodos tradicionais, como filtração, biodegradação, osmose reversa, entre outros, não tem apresentado resultados realmente eficientes (RAJESHWAR, et al., 2008, pp. 171-192), pois não ocorre a degradação dos contaminantes, mas sim uma mudança de fase do poluente.

Nas últimas décadas ocorreu o desenvolvimento dos chamados Processos Oxidativos Avançados (POA's). Esses processos mostram-se importantes meios de mitigação dos impactos ambientais e econômicos gerados pela disseminação de compostos recalcitrantes presentes em águas residuais. Os POA's caracterizam-se por serem capazes de promover a transformação e degradação de compostos poluentes em substâncias não tóxicas, sendo um dos processos mais conhecidos a fotocatalise heterogênea.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Processos Oxidativos Avançados (POA's)

A primeira utilização de um Processo Oxidativo Avançado ocorreu em 1886, na França, por De Méritens, através da utilização de ozônio para tratamento de desinfecção de água (NAVES, 2009). No entanto, o termo tornou-se conhecido apenas em 1973 durante o Primeiro Simpósio Internacional em Ozônio para o Tratamento de Água e Efluentes, em um trabalho que tratava da combinação entre ozônio e radiação ultravioleta para oxidar complexos de cianeto.

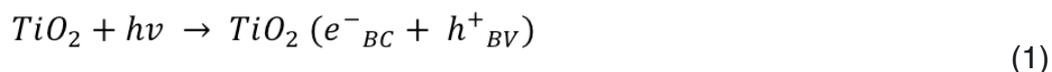
Os POA's caracterizam-se pela formação de espécies altamente reativas, como o radical hidroxila, sendo capazes de promover a mineralização completa de compostos orgânicos, devido ao alto poder oxidante das espécies provenientes da quebra homolítica da molécula de água, transformando a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e espécies inorgânicas. Os POA's se destacam também por serem processos limpos e não seletivos, ou seja, podem degradar inúmeros compostos, independentemente da presença de outros compostos, sendo possível utiliza-los tanto em meio aquoso quanto em fase gasosa (MARTINS, 2011), além de serem capazes de degradar completamente o poluente e não apenas promover a mudança de fase.

De acordo com (ARAÚJO, 2016), os principais POA são os químicos, fotoquímicos, sonoquímicos e eletroquímicos. Dentro dos processos fotoquímicos tem-se a fotocatalise. A fotocatalise pode ser homogênea ou heterogênea. Na fotocatalise homogênea o catalisador encontra-se na mesma fase dos compostos a serem degradados, enquanto no meio heterogêneo o fotocatalisador se encontra disperso no meio aquoso ou afixado a um material suporte e colocado em meio ao fluxo de efluente contendo as espécies que precisam ser degradadas, sendo este último arranjo o principal assunto deste artigo.

### 2.2 Fotocatalise heterogênea

A fotocatalise heterogênea ficou conhecida na década de 70, com o trabalho de Fujishima e Honda (RAJESHWAR, et al., 2008, pp. 171-192). Desde então, muitos pesquisadores dedicam-se ao entendimento de processos fotocatalíticos. A fotocatalise heterogênea é um POA's fotoquímico que envolve a ativação de um semicondutor por luz natural ou artificial. Uma espécie semicondutora é irradiada para promover os elétrons ( $e^-$ ) da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC). Durante esse processo, o orbital deixado pelo elétron que migrou fica vazio, sendo conhecido como buraco ou lacuna ( $h^+$ ), havendo a formação de pares elétrons-buraco, que são os elétrons que migraram para a banda de condução e as lacunas que se formaram na banda de valência. O processo básico de fotocatalise ocorre

conforme a Eq. 1, em que se utiliza como semicondutor o  $TiO_2$ .



A partir dos pares elétron-buraco são criados sítios redutores e oxidantes capazes de catalisar reações químicas. Esses sítios promovem a formação de espécies oxidantes derivadas do oxigênio dissolvido e das moléculas de água.

## 2.3 Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio apresenta três tipos de estruturas cristalinas, sendo elas o rutilo, a anatase e a brookita. Tanto a anatase quanto o rutilo apresentam estruturas tetragonais, enquanto a brookita apresenta uma estrutura ortorrômbica (FELTRIN, 2012).

Cada estrutura cristalina do dióxido de titânio apresenta propriedades físicas distintas e bem definidas, sendo o rutilo considerado a fase estável em condições normais ambientais de temperatura e pressão, enquanto a anatase e a brookita são metaestáveis (Id., 2012). As fases anatase e rutilo são capazes de absorver apenas os raios UV, no entanto, o rutilo absorve fótons com comprimento de onda mais próximos da luz visível. Embora essa característica atribua, teoricamente, uma vantagem na utilização desse tipo de estrutura como fotocatalisador, é a fase anatase que apresenta maior atividade fotocatalítica. Já a fase brookita é complexa, com maior volume de células, além de ser difícil de ser sintetizada (Ibid.). A Tabela 1, de acordo com a referência (Id. et al., 2013, pp 620-632), em que se apresenta algumas propriedades físicas de cada fase.

Propriedades Físicas	Rutilo	Anatase	Brookita
Densidade específica (g/cm <sup>3</sup> )	4,13	3,79	3,99
Dureza (Mohs)	6,5	5	5,75
Volume molecular calculado a partir da célula unitária ( )	62,430	136,270	257,630
Energia do band gap (eV)	3,02	3,2	2,96
Ti-O comprimento da ligação ( )	1,949 (4) 1,980 (2)	1,937 (4) 1,965 (2)	1,870 -2,040
Ti-O-Ti ângulo da ligação ( )	81,2° 90,0°	77,7° 90,0°	77,0° 105°
Parâmetro a da célula unitária (nm)	0,4584	0,3782	0,9184
Parâmetro b da célula unitária (nm)	0,4584	0,3782	0,5447
Parâmetro c da célula unitária (nm)	0,2953	0,9502	0,5145

Tabela 1: Principais propriedades físicas do  $TiO_2$ .

Fonte: FELTRIN, et al. 2013.

Estudos com fotocatalisadores de fase mista entre rutilo e anatase apresentaram uma melhorada fotoatividade em comparação com suas monofases (Id., 2012). Degussa P-25 é um material padrão, comercializado como uma fase mista de rutilo e anatase, na proporção de 3:1, em % atômica, na qual 75% é composto de anatase e, 25% de rutilo. O Degussa P-25 é o material de referência mais utilizado em muitos trabalhos, devido suas características estáveis e confiáveis (OHNO, et al. 2001, pp 82-86).

## 2.4 Filmes finos

No cenário atual, materiais com propriedades ajustáveis e dispositivos flexíveis são essenciais nos estudos de energia e meio ambiente, e a fotocatalise se mostra um processo determinante, principalmente no que diz respeito suas aplicações em escala industrial (SHWETHARANI, et al. 2019). Uma das variáveis a se considerar durante o processo de fotocatalise é a forma de utilização do catalizador, sendo o dióxido de titânio o mais utilizado.

Estudos acerca da utilização de catalisadores em forma de filmes finos imobilizados em substratos está crescendo rapidamente. Essas estruturas já se apresentam como elementos fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento de várias áreas, como na saúde, energia e meio ambiente (Ibid., 2019). A preparação de materiais semicondutores na forma de filmes finos permite fácil incorporação em diferentes substratos, sendo seus principais benefícios a redução de custos com material e a eficiência dos dispositivos (Ibid., 2019).

Para aplicação da fotocatalise na forma de filmes finos é necessário o estudo do substrato utilizado. Diversas pesquisas apontam a utilização de diferentes substratos, sendo os de vidro, alumínio e cerâmica apresentados como promissores para aplicação de  $\text{TiO}_2$  na forma imobilizada. Embora diversos materiais tenham sido estudados como suporte para o catalizador, as cerâmicas demonstraram vantagens específicas, uma das principais vantagens reside no fato de que esse tipo de matriz pode atuar simultaneamente como adsorventes. A Tabela 2 mostra alguns dos processos de fotocatalise estudados.

Dentro deste cenário o presente trabalho tem como objetivo preparar filmes finos de  $\text{TiO}_2$  sobre substratos cerâmicos comerciais para promover a degradação de corantes em meio aquoso.

Material	Corante	Tipo de Reator	Potência da Lâmpada	Tempo de Reação	Ref.
Anderson-type polyoxomolybdates/ TiO <sub>2</sub>	Azul de metileno	Filme fino em reator fechado	26 W	180 min	(DIAZ-URIBE, et al., 2018)
Ag/ZnO	Mistura de corantes	Filme fino	400 W	120 min	(ABDELSAMAD, et al., 2018)
Ag@AgCl/ZnO	Azul de Metileno (MB) e alaranjado de metila (MO)	Filme fino	300 W	20 min para MB e 40 min para MO	(YU, et al., 2019)
GO/ZnO	Rodamina B	Micronanopartículas sobre luz UV visível	300 W	1h	(WU & WANG, 2019)
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> /ZnO	Azul de metileno	Filmes finos	300 W	200 min	(VELANGANNI, et al., 2018)
Nano partículas de prata	Alaranjado de metila, azul de metileno, cloreto de rodamina, mistura dos três	<i>Packed bed</i>	100 W/30W	5h	(ZHOU & SRINIVASAN, 2015)
TiO <sub>2</sub> e TiO <sub>2</sub> /Ag	Rodamina B	Home-made system	15 W	5h	(BENSOUICI, et al., 2015)

Tabela 2: Processos de fotocatalise.

Fonte: O Autor.

### 3 | METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

A telha cerâmica comercial da marca Cerâmica Argentina utilizada na construção civil foi escolhida em decorrência de dois principais fatores, sendo eles o baixo custo e a resistência à temperatura, além do formato adequado para a passagem de líquidos, como em uma calha. Foram utilizadas seis diferentes camadas para a telha, sendo que, todas passaram pelo processo de sinterização.

Dióxido de Titânio foi empregado na forma de pasta e gel. Foi utilizado para modificações no substrato cal virgem, composta de óxido de Magnésio e Cálcio aditivado naturalmente, da marca *Whitetintas*.

#### 3.2 Preparação do Substrato

A escolha e preparação do substrato foi baseada no custo e na resistência do substrato às altas temperaturas necessárias no processo de sinterização. Para o aperfeiçoamento do substrato foi realizado o lixamento da superfície interna de modo

a remover o verniz presente na telha e adicionar rugosidade a superfície, sendo este um processo comum para melhorar a fixação de qualquer material aplicado na forma camada, além de remover possíveis contaminações.

Foi aplicada uma camada de CaO, por meio da dispersão do pó comercial em água, utilizando um pincel comum. Esse procedimento tem como objetivo refletir a luz enviada pela fonte UV do reator, permitindo um caminho ótico maior do que seria apenas com a camada de gel. A telha passou por um aquecimento à 250° C durante 15 minutos e, após esse procedimento, foi realizado o resfriamento natural dentro do forno até uma temperatura de 80°C, e fora do forno até seu completo resfriamento. Em seguida, fez-se novamente o aquecimento da mesma telha durante 30 minutos, a 500°C. Após o resfriamento do segundo aquecimento, como o anterior, a telha estava pronta para uso no fotoreator.

### 3.3 Atividade Fotocatalítica

A atividade fotocatalítica das amostras foi avaliada pelas degradações fotocatalíticas dos corantes Rosa de Bengala e Alaranjado de Metila, na concentração de 10 mg/L. A fonte de luz empregada foi uma lâmpada de iluminação pública sem o bulbo, da marca Philips, de 450 Watts, posicionada 32 cm acima da superfície da telha. A circulação de 1L de solução no reservatório, passando pela telha que foi posicionada com um ângulo de aproximadamente 30°, foi realizado com o uso de uma bomba d'água comercial de aquário. A Fig.1 apresenta o posicionamento da telha no interior do fotoreator de lâmina d'água. Durante a fotodegradação, alíquotas de 2 ml de dispersão foram retiradas regularmente do reator, em intervalos de 20 minutos, somando um total de seis amostras. A concentração do corante foi obtida por espectrofotometria UV-Vis.

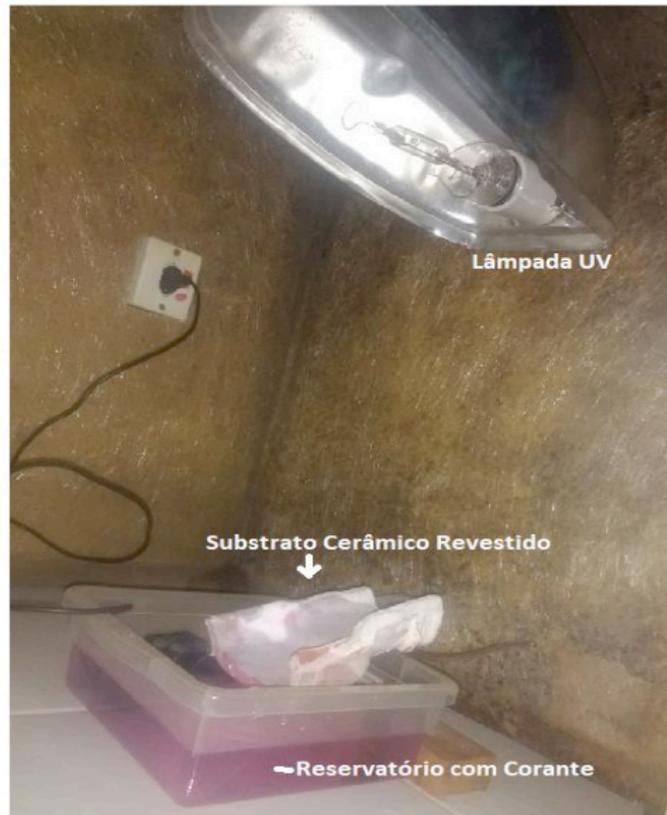


Fig. 1: Reator fotocatalítico.

Fonte: o autor.

### 3.4 Obtenção da concentração de corante

As variações na concentração do corante foram determinadas por espectrofotometria UV-Vis a partir da relação linear entre concentração e a absorvância, dada pela Lei de Lambert-Beer (CANASSA; LAMONATO; RIBEIRO, 2018) e pela relação entre Transmitância e Absorvância conforme mostrado nas Eqs. 2 e 3.

$$Abs = c \cdot \epsilon \cdot l \quad \text{Eq. (2)}$$

$$Abs = -\log T \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que  $Abs$  representa a Absorvância,  $l$  representa o caminho ótico,  $\epsilon$  o coeficiente de absorvidade molar,  $c$  a concentração do corante e  $T$  a Transmitância.

### 3.5 Modelo Cinético de Primeira Ordem

Para a análise da performance do reator foi utilizado dois modelos de decaimento de primeira ordem. O primeiro modelo foi o de decaimento exponencial, conforme a Eq. 4.

$$\frac{C}{C_0} = B \cdot e^{-k.t} + D \quad \text{Eq. (4)}$$

Na Eq. 3, tem-se C sendo a concentração do corante,  $C_0$  a concentração inicial do corante, B e D as constantes de ajuste que devem tender a 1 e 0, respectivamente, k a constante de cinética da reação e t, o tempo de reação.

O segundo modelo foi o de decaimento linear a partir da relação  $-\ln\left(\frac{C_0}{C}\right)$  vs t conforme mostra a Eq. 5.

$$-\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = k.t \quad \text{Eq. (5)}$$

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A atividade fotocatalítica foi avaliada a partir da degradação dos corantes sob radiação visível. O processo de degradação fotocatalítica dos corantes Rosa de Bengala e Alaranjado de Metila utilizando o substrato com a camada de CaO após tratamento térmico e o gel de  $\text{TiO}_2$  foi monitorado medindo-se a absorção dos corantes nos comprimentos de onda 563 nm para o Rosa de Bengala e 507 nm para o Alaranjado de Metila.

Os valores em porcentagem de transmitância obtidos para os corantes são apresentados na Tabela 3.

Tempo (min)	0	20	40	60	80	100
Rosa de Bengala	69,9	84,9	90,2	91,7	91,7	92,8
Alaranj. de Metila	27,5	31,8	42,6	51,8	54,3	55,6

Tabela 3: Valores de transmitância.

Fonte: o autor.

A partir dos valores de transmitância é possível estimar a taxa de degradação do corante como sendo promissora. Os resultados são apresentados nas Fig. 2, para o corante Rosa de Bengala, e Fig. 3 para o Alaranjado de Metila, e na Tabela 4.

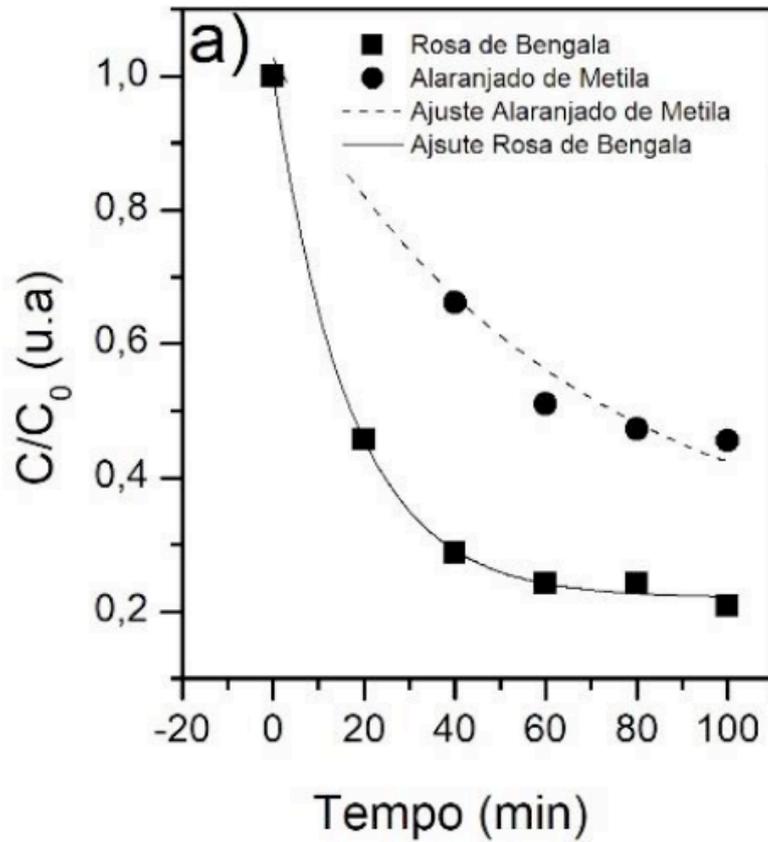


Fig. 2 Representação gráfica dos dados de cinética de degradação por decaimento exponencial.

Fonte: o autor.

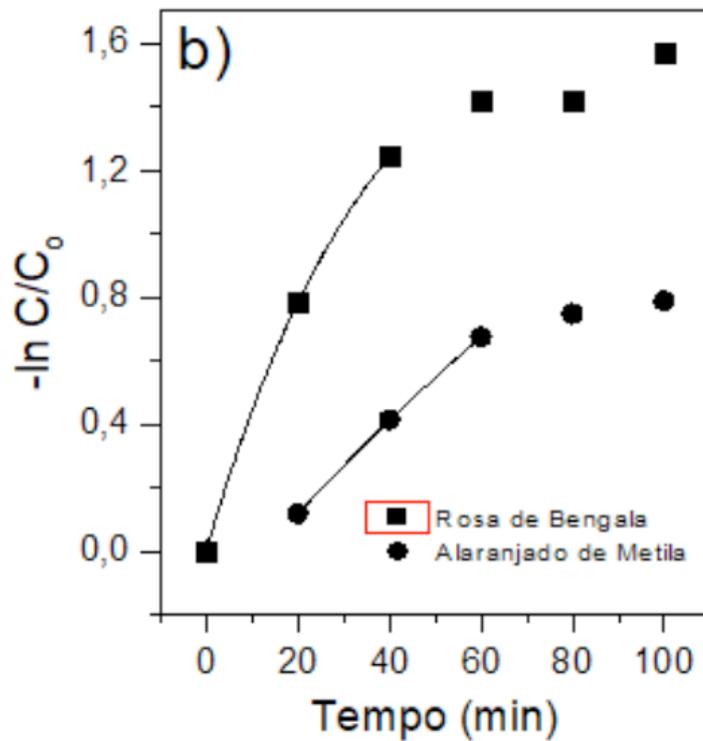


Fig. 3 Representação gráfica dos dados de cinética de degradação por decaimento linear.

Fonte: o autor.

Substrato	k exp. <sup>1</sup> (10 <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k lin. <sup>2</sup> (10 <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Rosa de Bengala	36,5	0,992	59,7	0,998
Alaranj de Metila	10,9	0,939	15,9	0,944

Tabela 4: Constantes de velocidade de reação.

1k exp. Modelo de decaimento exponencial.

2 Modelo de decaimento linear.

Fonte: o autor.

A partir dos valores de transmitância já é possível estimar a taxa de degradação do corante como sendo promissora, visto que os valores se aproximam de 93%, ou seja, do valor de transmitância da água deionizada, medida inicialmente no comprimento de onda de 563 nm.

A partir da avaliação da cinética de reação foi possível perceber que o corante Rosa de Bengala apresentou um melhor ajuste da curva obtida, para ambos os modelos, com um ajuste de 0,998 para o modelo linearizado e 0,992 para o de decaimento exponencial. Apresentando uma constante de velocidade de 59,7 x 10<sup>-3</sup> min<sup>-1</sup> para o segundo modelo, o corante Rosa de Bengala também apresentou melhores valores de taxa de degradação em relação ao Alaranjado de Metila. A utilização de gel de TiO<sub>2</sub> não apresentou resultados significativos em relação à pasta de TiO<sub>2</sub>, conforme observado na literatura estudada. Portanto, são necessários maiores estudos para definir os métodos e materiais com maior eficiência para aplicação com contaminantes reais. Entretanto, é importante notar que o trabalho apresentou resultados significativos para a aplicação futura dessa tecnologia na degradação de diversos poluentes em meio aquoso.

## 5 | CONCLUSÃO

A capacidade do substrato de refletir a luz incidida pela fonte UV é um importante parâmetro a ser considerado, sendo visto que o uso de uma superfície modificada com CaO possibilitou uma constante cinética significativa para o estudo, indicativo de que a camada de óxido estava estável sobre a telha cerâmica. No entanto, comparando os valores de constante cinética da Tabela 4, é notável que a degradação do corante Rosa de Bengala não apresentou um resultado significativamente maior em relação ao teste de adsorção, indicando que o processo de fotólise predomina sobre o processo de degradação fotocatalítica. Portanto, parâmetros do filme fino (espessura do filme, tipo de material) e da montagem do reator devem ser investigados de modo a obter um desempenho fotocatalítico pronunciável para aplicações em maior escala,

utilizando materiais abundantes na região, tal como a lama vermelha proveniente das atividades de mineração, a qual pode ser utilizada como fonte de materiais fotocatalisadores, como o  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , entre outros.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Universidade Federal do Oeste do Pará pela bolsa de iniciação científica e ao professor Bruno Apolo Miranda Figueira por toda a infraestrutura oferecida.

## REFERÊNCIAS

ABDELSAMAD, A. M. A., et al. (2018). **Enhanced photocatalytic degradation of textile wastewater using Ag/ZnO thin films**. Journal of Water Process Engineering, 25(April), pp 88–95.

ARAÚJO, Karla Santos de; ANTONELLI, Raissa; GAYDECZKA, Beatriz. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. v 11. (2016).

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BENSOUICI, F., et al. (2015). **Synthesis, characterization and photocatalytic behavior of Ag doped TiO thin film**. Superlattices and Microstructures, pp 255–265.

CANASSA, T. A. LAMONATO, A. L. RIBEIRO, A. V. (2018). **Utilização da Lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções**. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation. JETI, v.1, n.2.

DIAZ-URIBE, C. E., et al. (2018). **Photocatalytic degradation of methylene blue by the Anderson-type polyoxomolybdates/TiO<sub>2</sub> thin films**. Polyhedron, v 149, pp 163–170.

FELTRIN, J. **Estabilização a elevadas temperaturas da fase anatase com partículas submicrométricas de SiO<sub>2</sub>**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, SC, 2012.

FELTRIN, J. N., et al. **Photocatalytic surfaces of titania on ceramic substrates: Part I: Synthesis, structure and photoactivity**. Cerâmica. v 59. pp 620-632 (2013).

FIGUEIRA, Mariele; PEREIRA, Eliane dos Santos; SCHMACHTENBERG, Natana. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v 18. (2014).

HANAOR, Dorian; SORRELL, Charles. **Review of the anatase to rutile phase transformation**. Journal of Materials Science. v 46. pp 855-874 (2011).

MARTINS, Leonardo Madeira. **Estudo de aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando seu reuso**. 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-graduação, Universidade Federal do Piauí, Teresina.

NAVES, Fabiano Luiz. **Utilização de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes a base de resina fenólica, proveniente de indústria de tintas e derivados**. 2009. Dissertação (Mestrado em Processos Catalíticos e Biocatalíticos) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010. doi: 10.11606/D.97.2010.tde-20082013-093154.

OHNO, Teruhisa, et al. **Morphology of a TiO<sub>2</sub> Photocatalyst (Degussa, P-25) Consisting of Anatase and Rutile Crystalline Phases**. Journal of Catalysis. v 203. pp 82-86. (2001).

RAJESHWAR, Krishnan, et al. **Heterogeneous photocatalytic treatment of organic dyes in air and aqueous media**. (2008). Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 9. 171-192. doi: 10.1016/j.jphotochemrev.2008.09.001.

RANI R, Shwetha, et al. **Photocatalytic semiconductor thin films for hydrogen production and environmental applications**, International Journal of Hydrogen Energy. 2019.

SHWETHARANI, R., et al. (2019). **Photocatalytic semiconductor thin films for hydrogen production and environmental applications**. International Journal of Hydrogen Energy.

YU, Jiajie, et al. (2018). **Fabrication of Ag@AgCl/ZnO submicron wire film catalyst on glass substrate with excellent visible light photocatalytic activity and reusability**. Chemical Engineering Journal, 334(March 2017), pp 225–236.

WU, Zhiqiang; WANG, Limin. (2019). **Graphene oxide (GO) doping hexagonal flower-like ZnO as potential enhancer of photocatalytic ability**. Materials Letters, 234(3).

VELANGANNI, Simeyon, et al. (2018). **Nanostructured ZnO coated Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> thin films: Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue dye**. Physica B: Condensed Matter, 545(June), pp 383–389.

ZHOU, R. SRINIVASAN, M. P. (2015). **Photocatalysis in a packed bed: Degradation of organic dyes by immobilized silver nanoparticles**. Journal of Environmental Chemical Engineering, 3(2), pp 609–616.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acompanhamento do consumo 28, 30  
Aprendizado de máquina 19, 20, 21, 22, 37, 38, 83  
Aprendizagem profunda 37

### C

Campo eletromagnético clássico 70, 72, 79, 81  
Ciclo de rankine 1, 4  
Ciência de dados 19, 20  
Comunidades rurais 109, 110  
Constante dielétrica 11, 12, 13, 14, 15, 17  
Coordenadas do cone de luz 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81  
Cronogramas 59, 60, 61, 62, 67

### E

Ees 1, 2, 4, 5, 9  
Eficiência 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 46, 50, 56, 84, 111, 115, 119  
Eficiência energética 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 119  
Energia 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 49, 50, 75, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120  
Energia elétrica 2, 3, 28, 29, 36, 37, 41, 44, 109, 110, 111, 117, 120  
Energia solar 109, 110, 111, 117  
Engenharia 7, 10, 11, 18, 36, 37, 44, 46, 58, 59, 62, 69, 103, 107, 108, 117, 119, 120  
Ensino-aprendizado 98  
Equação de klein-gordon-fock 70  
Experimento 98, 100, 102, 104, 107

### F

Falhas 61, 109, 115, 116, 117, 119  
Fator de perda 11, 12, 13, 15, 16, 17  
Filmes finos 46, 50, 51  
Fotocatálise heterogênea 46, 47, 48

### G

Gerenciamento 28, 29, 33, 59, 60, 61, 62, 63, 68, 69

### I

Interdisciplinaridade 98, 102, 103, 106  
Internet das coisas 26, 28, 30, 36, 44

## **K**

K-nearest neighbors 19, 20, 21

## **M**

Macaúba 11, 12, 13, 17, 18

Marketing bancário 19

Ms project 63

## **P**

Potência elétrica 37

Processos oxidativos avançados 46, 47, 48, 57, 58

Projetos 30, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 100, 103, 106, 120

Propriedades dielétricas 11, 12, 18

## **R**

Realimentador 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9

Reconhecimento automático de modulações 83

Redes neurais 19, 21, 25, 38, 83, 84, 85, 87

Regressão 20, 37, 38, 43, 44, 89

Resnet 89, 90, 91

## **S**

Substrato cerâmico 46

## **T**

Tecnologia 1, 29, 36, 56, 57, 69, 70, 84, 98, 99, 100, 104, 105, 106, 107, 117, 120

Tempo de treinamento 83, 85, 92, 94

Tratamento de águas residuais 46, 57

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**