

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 2

Alan Mario Zuffo
(Organizador)



Alan Mario Zuffo

(Organizador)

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E57 Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 2 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-250-0

DOI 10.22533/at.ed.500191104

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária.
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 628

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

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

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu II volume, apresenta, em seus 22 capítulos, os conhecimentos tecnológicos da engenharia sanitária e ambiental.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas. Com o crescimento populacional e a demanda por alimentos tem contribuído para o aumento da poluição, por meio de problemas como assoreamento, drenagem, erosão e, a contaminação das águas pelos defensivos agrícolas. Tais fatos, podem ser minimizados por meio de estudos e tecnologias que visem acompanhar as alterações do meio ambiente pela ação antrópica. Portanto, para garantir a sustentabilidade do planeta é imprescindível o cuidado com o meio ambiente.

Este volume dedicado à diversas áreas de conhecimento trazem artigos alinhados com a Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade. A sustentabilidade do planeta é possível devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a Engenharia Sanitária e Ambiental, assim, garantir perspectivas de solução de problemas de poluição dos solos, rios, entre outros e, assim garantir para as atuais e futuras gerações a sustentabilidade.

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR SOBRE A PRECIPITAÇÃO DO NORDESTE DO BRASIL	
Luanny Gabriele Cunha Ferreira Alexandre Kemenes	
DOI 10.22533/at.ed.5001911041	
CAPÍTULO 2	9
ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO A CASCA DA CASTANHA DO PARÁ	
Jordana Georjin Letícia de Fátima Cabral de Miranda Paola Rosiane Teixeira Hernandes Daniel Allasia Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.5001911042	
CAPÍTULO 3	16
AGRICULTURA: UMA ALTERNATIVA PARA O USO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE IBEROSTAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR-BA	
Iolanda de Almeida Bispo Sheila dos Santos Almeida Selma Souza Alves	
DOI 10.22533/at.ed.5001911043	
CAPÍTULO 4	32
ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DOS MANGUEZAIS NA CAPITAL SERGIPANA	
Fabrícia Vieira Vanessa Guirra Almeida Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.5001911044	
CAPÍTULO 5	38
ANÁLISE DO DESCARTE INADEQUADO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO EM TERRENOS BALDIOS NO MUNICÍPIO DE ALAGOINHAS - BA	
Crislane Santos Nascimento Amanda Pereira Bispo Rêgo Crisliane Aparecida Pereira dos Santos David Brito Santos Junior Hebert França Oliveira Leidiane de Jesus Santana Renato Santos da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5001911045	
CAPÍTULO 6	45
ANÁLISE DO SANEAMENTO BÁSICO NO CONJUNTO COHAB EM ICOARACI NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA	
Lucas Cortinhas Cardoso Ferreira Helenice Quadros de Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.5001911046	

CAPÍTULO 7	53
ANÁLISE E MAPEAMENTO DE REGIÕES DE DESPEJO DE EFLUENTES NO RIO POXIM POR MÉTODOS DE GEOPROCESSAMENTO NA CAPITAL SERGIPANA	
José Alves Bezerra Neto	
Nicole Príncipe Carneiro da Silva	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.5001911047	
CAPÍTULO 8	61
APA DA FAZENDINHA: CONSCIENTIZAÇÃO DOS PROBLEMAS AMBIENTAIS LOCAIS POR PARTE DOS MORADORES ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2015	
Pedro Ribeiro da Silva Neto	
Tatiana Santos Saraiva	
Bruno Alves Lima Porto	
DOI 10.22533/at.ed.5001911048	
CAPÍTULO 9	66
ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AQUÍFEROS DO AGRESTE SERGIPANO: ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DAS POTENCIALIDADES HÍDROGEOLÓGICAS POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
Nicole Príncipe Carneiro da Silva	
Ana Karolyne Fontes Andrade	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.5001911049	
CAPÍTULO 10	75
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE <i>Euphorbia tirucalli</i> Linneau NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE SOJA	
William Frederick Schwanz Kiefer	
Yvanna Carla de Souza Salgado	
José Osmar Castagnolli Junior	
Maria Elena Payret Arrua	
Sandra Regina Masetto Antunes	
DOI 10.22533/at.ed.50019110410	
CAPÍTULO 11	91
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ELETRODIÁLISE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO SETOR DE GEMAS	
Maria de Lourdes Martins Magalhães	
Simone Stülp	
Eduardo Miranda Ethur	
Verônica Radaelli Machado	
DOI 10.22533/at.ed.50019110411	
CAPÍTULO 12	102
AVALIAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E COMPOSTOS NITROGENADOS EM <i>WETLANDS</i> COMO ALTERNATIVA NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	
Isadora Godoy Brandão	
Beatriz Santos Machado	
Juliane Gonçalves da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.50019110412	

CAPÍTULO 13 112

AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO FOTOCATALÍTICA DE $HgCl_2$, EM FASE AQUOSA, POR ZNO E TiO_2 COMERCIAIS ATIVADOS POR RADIAÇÃO ARTIFICIAL OU SOLAR

Ana Letícia Silva Coelho
Giane Gonçalves Lenzi
Luiz Mário de Matos Jorge
Onélia Aparecida Andreo dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.50019110413

CAPÍTULO 14 119

AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA AVENIDA LITORÂNEA, SÃO LUÍS/MA

Karla Bianca Novaes Ribeiro
Karine Silva Araujo
James Werllen de Jesus Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.50019110414

CAPÍTULO 15 127

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA USINA DE ASFALTO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE

Júlio César Pinheiro Santos

DOI 10.22533/at.ed.50019110415

CAPÍTULO 16 134

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE CASO NO AÇUDE GRAVATÁ, MUNICÍPIO DE SERRINHA-BA

Gilberto Ferreira da Silva Neto
Maria Auxiliadora Freitas dos Santos
Jackeline Lisboa Araújo Santos
Marcio Ricardo Oliveira dos Santos
Istefany Oliveira de Santana Lima

DOI 10.22533/at.ed.50019110416

CAPÍTULO 17 142

AVALIAÇÃO DO PADRÃO COMERCIAL DA GÉRBERA ESSANDRE SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho
João Vitor Máximo de Souza Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.50019110417

CAPÍTULO 18 148

BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ZONAS RURAIS

Heitor Soares Machado
Saulo Paulino Salgado
Luiz Gomes Ferreira Junior
Andréia Boechat Delatorre
Bárbara Diniz Lima
Antônio Delfino de Jesus Junior
Wellington Pacheco David

DOI 10.22533/at.ed.50019110418

CAPÍTULO 19	163
BALNEABILIDADE DA PRAIA DE ONDINA_ UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E A RELAÇÃO COM O SANEAMENTO BÁSICO	
Luciano da Silva Alves	
Laís Lage dos Santos	
Catiana da Silva Alves	
Ivo Cruz Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.50019110419	
CAPÍTULO 20	172
BARREIRAS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO – UMA EXPERIÊNCIA NA DIRETORIA DE OPERAÇÃO DO INTERIOR DA EMBASA	
João Marcelo Gonçalves Coelho	
Itaiara Sá Marques	
Ricardo de Macedo Lula Silva	
Alex Oliveira Cruz	
Márcio Santana Rocha de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.50019110420	
CAPÍTULO 21	182
BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE EFLUENTES DA AGROINDÚSTRIA ACEROLEIRA	
Nayara Evelyn Guedes Montefusco	
Andreza Carla Lopes André	
Patrícia da Silva Barbosa	
Ruanna Souza Matos	
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim	
DOI 10.22533/at.ed.50019110421	
CAPÍTULO 22	194
BIOENSAIOS DE TOXICIDADE AGUDA COM SEMENTES DE <i>Lactuca sativa</i> UTILIZANDO O SULFATO FERROSO	
Geórgia Peixoto Bechara Mothé	
Camila de Miranda Pereira Corrêa	
Glacielen Ribeiro de Souza	
Jader José dos Santos	
Ruann Carlos Marques Rodrigues da Silva	
Aline Chaves Intorne	
DOI 10.22533/at.ed.50019110422	
SOBRE O ORGANIZADOR	200

AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO FOTOCATALÍTICA DE HgCl_2 , EM FASE AQUOSA, POR ZnO E TiO_2 COMERCIAIS ATIVADOS POR RADIAÇÃO ARTIFICIAL OU SOLAR

Ana Letícia Silva Coelho

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Giane Gonçalves Lenzi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa – Paraná

Luiz Mário de Matos Jorge

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Onélia Aparecida Andreo dos Santos

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química
Maringá – Paraná

RESUMO: O cloreto de mercúrio (HgCl_2), bem como os compostos mercuriais oriundos de sua conversão química, apresentam variadas maneiras de acúmulo e toxicidade em organismos biológicos. A presença excessiva de Hg e seus derivados no ambiente não constituem apenas um problema ambiental, mas também um grave problema de saúde pública. Desta forma, no presente trabalho aplicou-se o processo de fotocatalise heterogênea para avaliar o potencial dos semicondutores comerciais, óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio (TiO_2 - fase cristalina anatase), na redução de HgCl_2 presente em efluente sintético. Para tal,

analisou-se a influência da fonte de radiação - luz artificial ou solar. Os resultados mostraram que o ZnO comercial foi capaz de reduzir totalmente o HgCl_2 em todas os sistemas reacionais estudados. Com relação ao TiO_2 , os resultados demonstraram que o catalisador apresentou pouca eficiência na redução fotocatalítica de HgCl_2 quando irradiado com luz artificial, não demonstrando capacidade de redução do poluente na presença de luz solar.

PALAVRAS-CHAVE: Cloreto de mercúrio, fotocatalise heterogênea, dióxido de titânio, óxido de zinco.

ABSTRACT: Mercury (II) chloride (HgCl_2) and its compounds, derived from its chemical conversion, present several forms of toxicity and accumulation in biological systems. Once present in environment, the excessive Hg, as well as its derivatives are not only an environmental hazard, but also a serious public health problem. Thus, in the present work, heterogeneous photocatalysis process was applied in order to investigate the ability of commercial semiconductors, zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO_2 -crystalline phase anatase), to reduce HgCl_2 from synthetic effluent. In particular, the influence of radiation source – UV and solar radiation - was analyzed. The results indicated that commercial ZnO totally reduced the HgCl_2 , in all conditions and reactional systems studied. Regarding TiO_2 , the

results demonstrate that the catalyst has little activity in the reduction process under UV light, while for solar light the catalyst demonstrated no ability to reduce the pollutant. **KEYWORDS:** Mercury chloride, heterogeneous photocatalysis, titanium dioxide, zinc oxide.

1 | INTRODUÇÃO

Com o propósito de associar desenvolvimento tecnológico com responsabilidade ambiental, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou em Estocolmo em 1972, a primeira reunião direcionada à preservação do meio ambiente. Dentre os fatores abordados na conferência, cabe salientar:

- (1) O futuro do planeta, mudanças climáticas, quantidade e qualidade da água;
- (2) Chuvas ácidas, grandes quantidades de metais pesados e pesticidas.

As emissões de metais pesados para o ambiente ocorrem por diversas vias, incluindo o ar – durante processo de combustão, extração e processamento – água – por meio da mineração, mas principalmente da ejeção de resíduos industriais – e solos pelo uso de pesticidas e fertilizantes, o que conseqüentemente leva à contaminação de águas subterrâneas e culturas.

Vinte anos após a primeira conferência mundial ambiental, realizou-se no Rio de Janeiro a ECO 92, com a instauração da Agenda 21, que tem como propósito firmar compromissos da sociedade com o desenvolvimento sustentável e, com isto, promover padrões de consumo e produção sustentáveis (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

A integralização da Agenda 21 no Brasil é exercida pela Comissão de Política de Desenvolvimento Sustentável (CPDS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Especial atenção tem sido dada por este órgão à elaboração e implantação da Política Nacional de Segurança Química, objetivando a boa gestão dos produtos químicos, assegurando que substâncias químicas sejam produzidas e usadas de forma responsável, minimizando a formação de áreas contaminadas com produtos perigosos, prevenindo danos ao meio ambiente e à saúde humana.

O cloreto de mercúrio (HgCl_2) apresenta elevada solubilidade em compostos orgânicos, esta característica facilita a permeabilidade de tal substância pelas membranas biológicas. Uma vez presente no organismo, o HgCl_2 interfere negativamente nos mecanismos de transporte da membrana celular, sendo tal comportamento observado especialmente no que concerne ao transporte de neurotransmissores cerebrais. Ademais, tal composto também atua como potente desnaturador de proteínas, inibindo a síntese de aminoácidos, resultando em um desequilíbrio nas funções metabólicas celulares (FIGUEIREDO et al. 2016).

Quando presente em corpos d'água, o mercúrio (Hg) apresenta-se principalmente sob a forma de HgCl_2 , os particulados contendo Hg^{2+} , podem ainda ser metilados pela ação de bactérias específicas, tais como *Desulfovibrio desulfuricans ND132* e

Geobacter sulfurreducens PCA, resultando em monometilmercúrio (MMHg, CH_3Hg^+) e dimetilmercúrio (DMHg, CH_3HgCH_3), os quais são considerados as formas mais tóxicas do Hg (DA PIEVE et al. 2014).

Segundo Teixeira (2016), grande parte dos estudos relatados na literatura sobre a relação entre Hg e a região Amazônica concentram-se na exposição de peixes e seres humanos ao MMHg e DMHg. Todavia, recentemente observaram-se os riscos da contaminação de Hg inorgânico, uma vez que este composto mercurial tem sido comumente detectado na culinária Amazônica, por meio de peixes oriundos de áreas contaminadas com Hg.

A fotocatalise heterogênea caracteriza-se por promover não somente a remoção de substâncias recalcitrantes, mas também sua completa mineralização, evitando a ejeção destes compostos nos corpos aquáticos receptores. O processo tem por princípio a ativação do semiconductor por fótons com energia superior ou igual ao *bandgap*, por meio da qual há excitação eletrônica, sendo que o elétron é promovido da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), gerando os pares de elétron/lacuna (e^-/h^+). As lacunas geradas apresentam caráter oxidante, enquanto os elétrons atuam como redutores permitindo que substratos orgânicos e inorgânicos possam sofrer reações do tipo redox, promovendo transformações físico-químicas no substrato (CHAKRABARTI e DUTTA, 2004).

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a capacidade remoção de HgCl_2 de meio aquoso, pelos semicondutores comerciais óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio (TiO_2) fase cristalina anatase, quando os mesmos são ativados por luz artificial ou solar.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Reagentes: Os óxidos comerciais e o sal metálico empregado como poluente foram: (I) óxido de titânio IV (Sigma-Aldrich com 99,9% de grau de pureza); (II) óxido de zinco (Dinâmica, 99,9% de pureza); (III) cloreto de mercúrio - HgCl_2 (Merck P.A).

Calcinação: Os óxidos, comerciais puros (TiO_2 e ZnO), foram submetidos à calcinação em mufla, em atmosfera oxidante (ar), por 4 horas a 400°C.

Caracterização dos óxidos comerciais: Os óxidos comerciais utilizados como catalisadores foram caracterizados quanto: (I) ao perfil de cristalinidade por difratometria de raios X (DRX), (II) energia de *bandgap* por meio de espectroscopia fotoacústica; (III) configuração dos grupos funcionais presentes na superfície dos catalisadores, utilizando-se espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR).

Sistemas reacionais: Os ensaios experimentais foram realizados em fase líquida em uma unidade de reação fotocatalítica em reator solar (sistema contínuo) e em reator batelada em escala de bancada (sistema descontínuo). Para este, a irradiação ultravioleta foi fornecida por uma lâmpada de vapor de mercúrio 250 W. Em

ambos os sistemas o tempo de reação foi de 3 horas e as concentrações de ambos os óxidos e de HgCl_2 usadas foram de 1g.L^{-1} e 120 ppm, respectivamente. As leituras das amostras efluente do reator foram realizadas por meio de espectrofotômetro de absorção atômica SpectrAA – 10 Plus VARIAN, obtendo-se assim a concentração residual de HgCl_2 .

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos (Figura 1) mostram que ao final da reação, a radiação UV-A (315 a 400 nm) e UV-B (280 a 315 nm), emitida pela lâmpada, foi capaz de reduzir 100% da concentração inicial de poluente – dentro dos limites de detecção do equipamento - quando se utilizou ZnO, sendo o mesmo comportamento obtido para o sistema solar. No que concerne ao TiO_2 , o mesmo não apresentou redução efetiva de HgCl_2 para nenhum dos sistemas reacionais estudados.

O resultado da espectroscopia fotoacústica mostrou que as energias de *bandgap* para o ZnO e o TiO_2 foram 3.18 eV e 3,2 eV, respectivamente. Assim, apesar de ambos os óxidos apresentarem valores de energia de ativação similares, o ZnO possui como vantagem o fato de absorver mais o espectro solar que o TiO_2 , o que faz com que seja considerado um fotocatalisador ideal para utilização de energia solar (MOHAMED e SALAM, 2014).

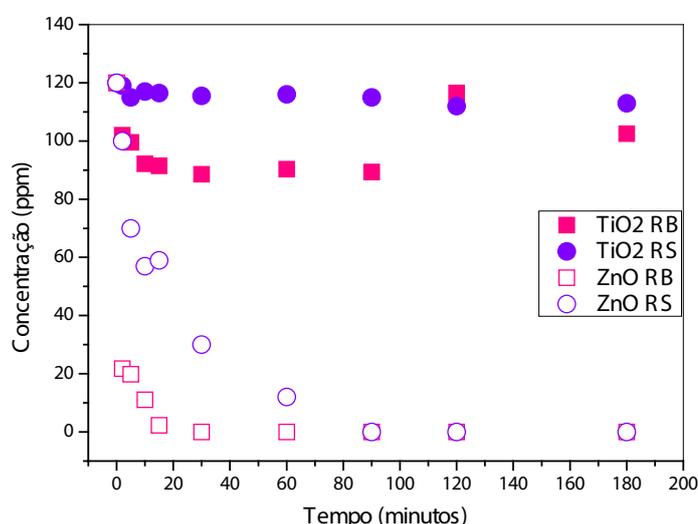


Figura 1 - Remoção de HgCl_2 por TiO_2 e ZnO usando diferentes energias de ativação. (RB): sistema reacional luz UV; (RS): sistema reacional luz solar.

Ademais, o ZnO apresenta um elevado número de defeitos em sua estrutura cristalina – vacâncias de oxigênio, zinco intersticiais e oxigênio intersticiais, o que propicia uma maior incorporação de impurezas ou contaminantes em seu retículo (CHAKRABARTI e DUTTA, 2004). Salienta-se ainda, o fato de ZnO possuir mobilidade eletrônica ($200\text{-}300\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) consideravelmente maior que o TiO_2 ($0,1\text{-}4\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$),

o que favorece uma maior eficiência na transferência dos elétrons (KUMAR e RAO, 2015; MOHAMED e SALAM, 2014). Os difratogramas obtidos para as amostras de TiO_2 e ZnO comerciais estão apresentados na Figuras 2(I). Os picos observados foram comparados com os padrões publicados pela ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) e JCPDS (International Centre for Diffraction Data).

Assim, no que concerne aos resultados de DRX (Figura 2I), cada um dos materiais comerciais apresentou uma única fase cristalina. A fase polimórfica anatase ($2\theta = 25,32^\circ; 36,95^\circ; 37,81^\circ; 38,58^\circ; 48,04^\circ; 53,9^\circ; 55,07^\circ; 62,13^\circ; 62,7^\circ$ e $68,77^\circ$), foi observada na amostra comercial TiO_2 , conforme ICSD 84-1285. Tal fase cristalina é amplamente empregada em tratamentos por fotocatalise heterogênea, todavia apresenta como limitação a capacidade de absorver apenas espectros na região ultravioleta. Em relação ao ZnO , observa-se uma definição da região cristalinna na forma de wurtzita ($2\theta = 31,78^\circ; 34,44^\circ; 36,27^\circ; 47,55^\circ; 56,60^\circ; 62,86^\circ; 66,37^\circ; 67,94^\circ$ e $69,08^\circ$), conforme JCPDS PDF # 36-1451, Chakma et al. (2013) e Nirmala et al. (2010).

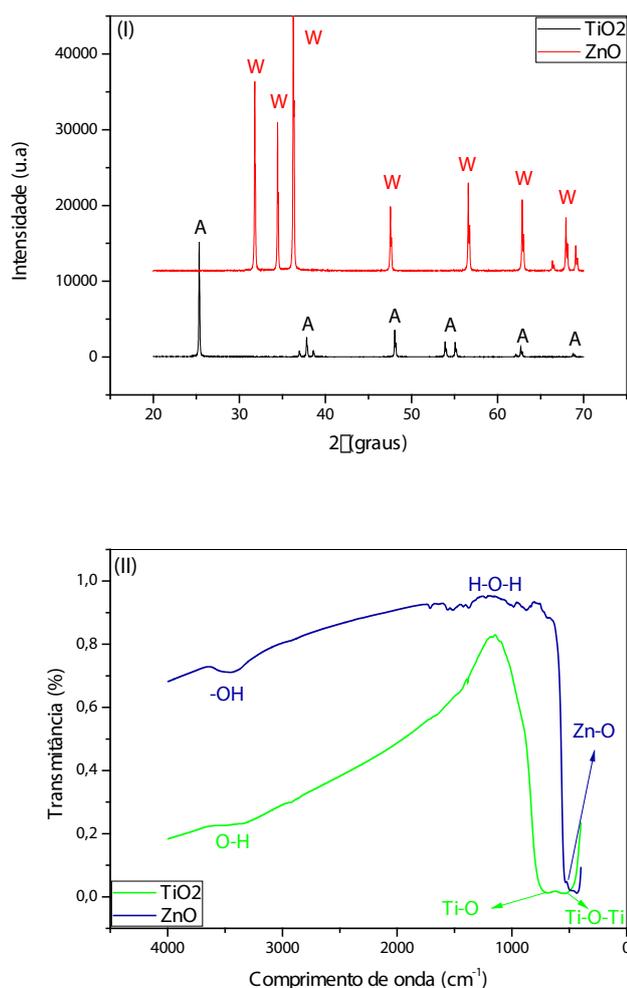


Figura 2- Resultados da caracterização dos óxidos comerciais: (I) DRX; (II) FT-IR. (A) fase cristalina anatase; (W) fase cristalina wurtzita.

Os espectros FTIR para as amostras de TiO_2 e ZnO são apresentados na Figura

2(II). Para o óxido de zinco as bandas presentes na faixa 400 - 700 cm^{-1} são atribuídas às vibrações Zn-O (CHAKMA et al. 2013; KHAN e KHALID, 2010; BECHERI et al. 2008) e os picos em torno de 1378 cm^{-1} designam as vibrações H-O-H presentes na estrutura dos cristais ZnO, as quais podem ser oriundas da água utilizada durante a síntese do semicondutor (RAJA et al. 2014). Por sua vez, as vibrações entre 3450 e 3500 cm^{-1} indicam a presença de grupos hidroxila OH (MAYA-TREVIÑO et al. 2015; CHAKMA et al. 2013; KHAN e KHALID, 2010; BECHERI et al. 2008). No que concerne ao dióxido de titânio, analisando o espectro obtido nota-se a presença de bandas de transmitância tênues entre 3400 e 3600 cm^{-1} . Estas frequências de vibração são atribuídas ao grupo O-H. Na região abaixo de 1000 cm^{-1} , as bandas estão relacionadas aos diferentes modos de vibração do TiO_2 entre 653 e 550 cm^{-1} são características das ligações Ti-O e entre 495 e 436 cm^{-1} estão relacionadas a Ti-O-Ti.

Conforme resultados FT-IR, observa-se que o ZnO é o único composto a apresentar bandas correspondentes ao grupamento H - O - H, os quais podem representar sítios de adsorção do HgCl_2 , o que justifica os resultados obtidos pelo TiO_2 quando o mesmo é ativado por luz UV.

O presente estudo demonstra o potencial do ZnO no tratamento por fotocatalise heterogênea de efluentes industriais reais contendo Hg, empregando-se luz solar. Tal fato é de extrema importância, pois segundo Brito e Silva (2012), as principais limitações técnicas, para a construção de sistemas reacionais fotocatalíticos em escala real, estão relacionadas aos custos com energia e ao uso de catalisadores de baixo custo.

4 | CONCLUSÃO

O óxido comercial ZnO mostrou 100% de eficiência no processo de fotoredução do HgCl_2 , quando ativado por luz UV e solar. Por sua vez, o TiO_2 apresentou menor eficiência para ambas as fontes de energia de ativação, comparativamente ao ZnO.

5 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

BECHERI, A.; DURR, M.; NOSTRO, P. L.; BAGLIONI, P. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV- absorbers. **Journal of Nanoparticle Research**, v.10, p.679-689, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico Preliminar de Mercúrio no Brasil**. Brasília, DF, 2013. 106 p.

BRITO, N. N.; SILVA, V. B. M. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. **Revista eletrônica de engenharia civil**, v.1, p.36-47, 2012.

CHAKRABARTI, S.; DUTTA, B. K. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. **Journal of Harzadous Material B**, v.112, p.269-278, 2004.

DA PIEVE, F.; STANKOWSKI, M.; HOGAN, C. Eletronic structure calculations of Mercury mobilization from mineral phases and photocatalytic removal from water and the atmosphere. **Science of the total environment**, v. 493, p.596-605, 2014.

FIGUEIREDO, F. G.; LIMA, L. F.; MORAIS-BRAGA, M. F. B.; FIGUEIREDO, J. G.; PINTO, N. B.; MATIAS, E. F. F.; MENEZES, I. R. A.; ALMEIDA, R. S.; CUNHA, F. A. B; COUTINHO, H. D. M. Avaliação do potencial citoprotetor contra o efeito tóxico do cloreto de mercúrio e antioxidante de *Lygodium venustum* SW (Lygodiaceae). **Revista Interfaces, saúde, humanas e tecnologia**, v.3, p.44-49, 2016.

KHAN, A. A. K.; KHALID, M. Synthesis of nano-sized ZnO and polyaniline-zinc oxide composite: characterization, stability in terms of DC electrical conductivity retention and application in ammonia vapor detection. **Journal of Applied Polymer Science**, v.117, p.1601-1607, 2010.

KUMAR, S. G.; RAO, K. S. R. K. Zinc oxide based photocatalysis: tailoring surface bulk structure and related interfacial charge carrier dynamics for better environmental applications. **Royal Society of Chemistry Advances**, v.5, p.306-3351, 2015.

MAYA-TREVIÑO, M. L.; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, M.; GUZMÁN-MAR, J. L.; HINOJOSA-REYES, L.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A. Comparison of the solar photocatalytic activity of ZnO-Fe₂O₃ and ZnO-Fe⁰ on 2,4-D degradation in a CPC reactor. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v.14, p. 543-549, 2015.

MOHAMED, R. M.; SALAM, M.A. Photocatalytic reduction of aqueous mercury (II) using multi-walled carbon nanotubes Pd-ZnO nanocomposite. **Material Research Bulletin**, v.50, p.85-90, 2014.

NIRMALA, M.; NAIR, M. G.; REKHA, K.; ANUKALIANI, A.; SAMDARSHI, S. K.; NAIR, R. G. Photocatalytic activity of ZnO nanopowders Synthesized by DC Thermal Plasma. **African Journal of Basic & Applied Sciences**, v.2, p.161-166, 2010.

RAJA, K.; RAMESH, P. S.; GEETHA, D. Structural, FTIR and photoluminescence studies of Fe doped ZnO nanopowder by co-precipitation method. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 131, p. 183–188, 2014.

TEIXEIRA, F. B. **Caracterização das alterações no córtex motor de ratos adultos submetidos à exposição crônica com mercúrio inorgânico**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Neurociências e Biologia Celular) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR

Alan Mario Zuffo - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-250-0

