

# ELEMENTOS DE QUÍMICA

CARMEN LÚCIA VOIGT  
(ORGANIZADORA)



Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

# Elementos de Química

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Rafael Sandrini Filho  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E38	Elementos de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-507-5 DOI 10.22533/at.ed.075190208  1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 540.7
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

O grande desenvolvimento do nosso planeta, em diversas áreas, é devido principalmente ao desenvolvimento e utilização da Química.

A Química possui papel fundamental no desenvolvimento tecnológico, pois a utilização dos conceitos e técnicas dessa ciência permite a obtenção de novas substâncias, além de preocupar-se com a prevenção de danos e exploração sustentável do meio ambiente.

Os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Temas específicos são abordados em técnicas como eletrocatalise e degradação fotocatalítica.

A toxicidade de compostos e análise de contaminantes emergentes é apresentada nos trabalhos com enfoque em tratamento de água e efluentes. Além disso, trabalhos tratam de síntese e sensores eletroquímicos.

Inovações na química criam aplicações e soluções em diversas áreas, e pesquisas como as expostas neste volume contribuem para avanços tecnológicos.

Com base nestes experimentos, convidamos você a ampliar ainda mais seus conhecimentos sobre Química e suas aplicações.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO A ESTRUTURA METAL-ORGÂNICA [Cu <sub>3</sub> (BTC) <sub>2</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> ] <sub>n</sub>	
Kátia Cristina Silva de Freitas	
Renata Pereira da Silva	
Suzana Pereira Vila Nova	
Sandra Rodrigues de Souza	
Claudia Cristina Cardoso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0751902081</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
ATIVIDADE ELETROCATALÍTICA DO GRAFENO DOPADO COM NITROGÊNIO NA REAÇÃO DE REDUÇÃO DO OXIGÊNIO PARA APLICAÇÃO EM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL	
Raquel Alves Corrêa Lima	
Raimundo Ribeiro Passos	
Leandro Aparecido Pocrifka	
Luiz Kleber Carvalho de Souza	
Alúcio José Cordeiro Pinto Júnior	
Vera Lúcia da Silva Marinho	
Consuelo Alves da Frota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0751902082</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE <i>IN VIVO</i> DO ALCALOIDE APORFÍNICO GUATTERIOPSISCINA DE <i>Guatteria friesiana</i>	
Valéria Lima Silva Veras	
Chistiane Mendes Feitosa	
Ronaldo dos Santos Sousa Junior	
Emmanoel Vilaça Costa	
Hercilia Maria Lins Rolim	
Felipe Cardoso de Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0751902083</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE CICLAMATO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS MEDIANTE EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E POSTERIOR DERIVATIZAÇÃO QUÍMICA	
Camila Santos Dourado	
Fabiana Casarin	
Maria Vitória dos Santos Villa Bande	
Ana Cristi Basile Dias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0751902084</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
ESTUDO DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE UM IGARAPÉ DE MANAUS UTILIZANDO UM REATOR FOTOCATALÍTICO HETEROGÊNEO SOLAR	
Quelren Benacon Lima Marinho	
Andrey Marcos Pinho da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0751902085</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>52</b>
SENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO EM POLÍMEROS DE IMPRESSÃO MOLECULAR PARA DETECÇÃO DO ÓXIDO DE CARIOFILENO	
Igor Medeiros de Assis	
Walter Ricardo Brito	
DOI 10.22533/at.ed.0751902086	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>66</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>67</b>

## ESTUDO DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE UM IGARAPÉ DE MANAUS UTILIZANDO UM REATOR FOTOCATALÍTICO HETEROGÊNEO SOLAR

**Quelren Benacon Lima Marinho**

Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de  
Tecnologia  
Manaus - Amazonas

**Andrey Marcos Pinho da Silva**

Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de  
Tecnologia  
Manaus - Amazonas

**RESUMO:** A degradação fotoativada dos compostos carbonílicos ( $R_2CO$ ) e nitrocompostos ( $RNO_2$ ) presentes nas águas do Igarapé do Quarenta foi estudado utilizando  $TiO_2$  (Aldrich) como catalisador. Quatro parâmetros foram avaliados para análises de pré e pós tratamento: condutividade elétrica, nitrogênio total, alcalinidade total e espectroscopia UV-Vis. Antes do tratamento, foram encontradas taxas superiores ao limite permitido de nitrogênio total e taxas não excedentes de alcalinidade total em todos os pontos de coleta e ambos períodos de seca e cheia do rio. A partir da análise UV-Vis foi possível notar, antes do tratamento, a absorção dos compostos carbonílicos os quais absorvem em torno de 280nm - 290nm ( $n-\pi^*$ ) e compostos de nitratos e nitritos que absorvem por volta de 220nm - 300nm ( $n-\pi^*$ ). E após o tratamento, notou-se através da mesma análise que os mesmos compostos encontrados foram degradados apresentando apenas uma nova

absorção referente a presença do catalisador  $TiO_2$  nas amostras. A eficiência da degradação dos contaminantes presentes na água do Igarapé do Quarenta apontou valor de um pouco mais que 90% para o período de seca e um pouco mais que 80% para o período de cheia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fotorreatores;  
Degradação Fotocatalítica; POA;  $TiO_2$ .

### STUDY OF WATER TREATMENT OF A RIVER FROM MANAUS USING A SOLAR HETEROGENEOUS PHOTOCATALYTIC REACTOR

**ABSTRACT:** The photoactivated degradation of the carbonyl compounds ( $R_2CO$ ) and nitro compounds ( $RNO_2$ ) present in the water of Quarenta River was studied using  $TiO_2$  (Aldrich) as catalyst. Four parameters were evaluated for pre and post treatment analyzes: electrical conductivity, total nitrogen, total alkalinity and UV-VIS spectroscopy. Rates above the allowed limit of total nitrogen and non - surplus rates of total alkalinity were found at all points of collection and in both drought and flood periods of the river. From the UV-VIS analysis, it was possible to observe, before the treatment, the absorption of the carbonyl compounds, which absorb about 280nm - 290nm ( $n-\pi^*$ ) and

nitrate and nitrite compounds absorbing around 220nm - 300nm ( $n-\pi^*$ ). And after the treatment, it was observed through the same analysis that the same compounds found were degraded, presenting only a new absorption regarding the presence of the  $\text{TiO}_2$  catalyst in the samples. The efficiency of the degradation of the contaminants present in the water of the Quarenta River indicated a value of a little over 90% for the drought period and a little more than 80% for the flood period.

**KEYWORDS:** Photoreactors; Photocatalytic Degradation; AOP;  $\text{TiO}_2$ .

## 1 | INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência dos seres vivos e a base para inúmeras atividades humanas que vão desde o consumo público, agrícola, industrial até a produção de energia. O surgimento de compostos orgânicos sintéticos e a intensificação das atividades industriais conduziram a um aumento no número de substâncias químicas disponíveis, que conseqüentemente, trouxeram problemas mais complexos relacionados à poluição das águas (Mierzwa e Hespanhol, 2014). Durante a implantação da Zona Franca de Manaus, um rápido crescimento da cidade ocorreu a qual não foi acompanhada de políticas públicas de controle ambiental, áreas anteriormente florestadas foram transformadas em bairros para acomodar a população e sem um sistema de tratamento e coleta de esgoto adequado, assim os igarapés resultaram em efluentes domésticos e industriais (Velloso, 2002). No igarapé do Quarenta foram observados vários indicadores de poluição das águas como o aumento do pH, alta condutividade, baixos teores de oxigênio dissolvido, altas concentrações de cátions e ânions e altas concentrações de metais (Cu, Cr, Zn e Ni) (Melo et al., 2005). A aplicação de programas, normas ou legislações são formas imprescindíveis para limitar o despejo de efluentes. No entanto, não se torna suficiente para a redução total destes contaminantes. Assim, faz-se necessário a busca por diversas maneiras de tratamento da água. Nos últimos anos, vários estudos têm utilizado os Processos Oxidativos Avançados (POA) como um método de degradar poluentes através da fotocatalise heterogênea (Soares et al, 2007; Padovan e Azevedo, 2015; Santos et al, 2006). A fotocatalise heterogênea é o processo que envolve reações redox induzidas pela radiação na superfície de semicondutores como, por exemplo, o  $\text{TiO}_2$  que é um material grandemente empregado na degradação de poluentes devido ao seu baixo custo, alta estabilidade contra fotocorrosão e baixa reatividade (Nogueira e Jardim, 1996). A radiação solar tornou-se uma alternativa eficiente tecnológica de baixo custo para descontaminação de água, diferentes tipos de reatores fotocatalíticos solares foram desenvolvidos para esse fim (Malato et al, 2009). Desse modo, este trabalho buscou desenvolver um reator fotocatalítico heterogêneo solar baseado em um sistema de heterojunção para tratamento de água de um Igarapé de Manaus.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Coleta Das Amostras

Foram coletadas amostras nos meses de outubro e abril (período de seca e cheia do rio, respectivamente) em quatro pontos do Igarapé do Quarenta. Estes foram definidos após uma visita em loco, obedecendo algumas condições para definição dos pontos de coleta, como aparência da água, odor da água, latas e plásticos na água. Posteriormente, estas amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno de alta densidade o qual foi previamente tratado a fim de evitar contaminantes na amostra, as mesmas foram utilizadas para análise de parâmetros de qualidade da água para efetuar uma análise comparativa do pré e pós tratamentos e, em seguida, serem empregadas no reator fotocatalítico solar.

### 2.2 Obtenção do Filme de $TiO_2$

Utilizou-se uma placa de óxido de índio dopado com estanho (ITO) com o tamanho de 14cm x 10cm para a deposição do filme de  $TiO_2$ . O catalisador utilizado para o processo foi o  $TiO_2$  obtido da Sigma-Aldrich. A produção do filme deu-se a partir da solução de  $TiO_2$  em suspensão utilizando 0,1g de  $TiO_2$ , 10mL de água deionizada e 3 gotas do surfactante triton X-100. A imobilização de  $TiO_2$  sobre a superfície da placa ocorreu a partir do método *Doctor Blade* o qual permitiu delimitar a região a ser depositada e o controle da espessura do filme. Utilizou-se fita isolante nas bordas das placas para o controle da área do filme e gotejou-se algumas alíquotas sobre a superfície. Obteve-se um filme uniforme com o auxílio de um bastão de vidro e, em seguida, as placas com o filme foram calcinadas em mufla a uma temperatura de 450°C durante 30 minutos. Realizou-se 2 camadas do filme utilizando a mesma temperatura e tempo.

### 2.3 Reator Fotocatalítico

A montagem do reator foi realizada conforme a literatura (Nogueira, 1995; Vilela, 2009) seguindo o modelo TFFBR (Thin-Film Fixed-Bed Reactor) cuja conformação apresenta melhor desempenho. O reator consistiu numa caixa de vidro com a placa de ITO recoberta com o filme de  $TiO_2$  em um suporte de madeira com uma inclinação de aproximadamente 32,4° o qual após alguns testes demonstrou ser o melhor para a conformação do protótipo. O reator de vidro possuía dimensão de 23cm x 10,5cm em seu total com uma calha ao final e orifícios, ao início, nos quais escoava-se a água. O funcionamento do reator foi operado no modo contínuo com reciclo, isto é, utilizou-se um recipiente com o efluente armazenado onde este foi impulsionado por uma bomba centrífuga e escoado pela placa até ser recolhida pelo mesmo recipiente promovendo um ciclo. O tratamento das amostras ocorreu durante 4 horas num horário em que apresentava maior incidência solar. Para análise de degradação foi

utilizado à espectroscopia de UV-VIS bem como a análise de alguns parâmetros físico-químicos a fim de observar a eficiência da reação fotocatalítica e verificar a qualidade do tratamento da água. É importante ressaltar que todo o sistema montado fez parte de um projeto piloto realizado em laboratório. A Figura 1 a seguir esquematiza o sistema montado para o tratamento.

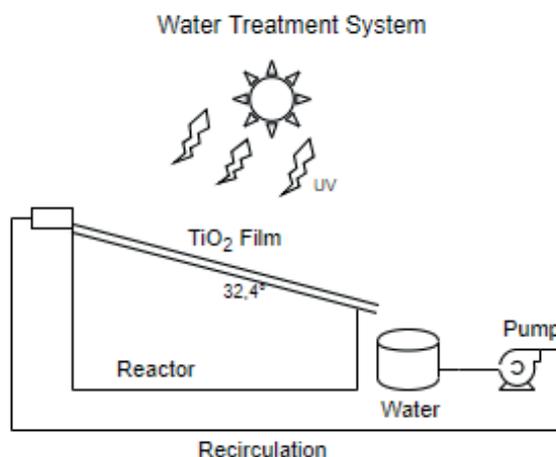


Figura 1: Sistema de tratamento de água modelo thin-film fixed-bed reactor.

## 2.4 Caracterização das Amostras a Partir de Parâmetros Físico-Químicos e Espectroscopia Uv-Vis

As descrições e análises críticas dos parâmetros seguiram com base nas recomendações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Desta forma, alguns parâmetros físico-químicos foram analisados como: Alcalinidade Total, Condutividade Elétrica e Nitrogênio Total a fim de realizar um estudo de possíveis contaminantes presentes nas águas do Igarapé do Quarenta. Todos estes parâmetros foram realizados pelo Laboratório de Análise de Água e Qualidade Ambiental – LACQUA e a análise UV-Vis foi realizada pelo Laboratório de Métodos Espectroscópicos – LAMESP, ambos oriundos do Centro de Apoio Multidisciplinar Central Analítica da Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

## 2.5 Cálculo de Eficiência da Degradação dos Contaminantes

A avaliação da degradação dos contaminantes se deu por meio do cálculo de eficiência expressa pela Equação 1 a seguir:

$$Eficiência (\%) = \frac{(Abs_0 - Abs)}{Abs_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $Abs_0$  corresponde a absorvância inicial obtida antes do tratamento e  $Abs$  corresponde a absorvância final obtida após o tratamento. Esta equação foi aplicada para cada ponto de coleta em ambos os períodos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise Pré-Tratamento Dos Parâmetros De Alcalinidade Total E Nitrogênio Total

Os resultados pré tratamento dos parâmetros de alcalinidade total e nitrogênio total nos períodos de seca e cheia do rio são demonstrados na Tabela 1. Inicialmente, notou-se que a alcalinidade total nos quatro pontos de coleta em ambos períodos não excedeu o limite máximo de 500 mg/L  $\text{CaCO}_3$  para águas superficiais de acordo com o CONAMA demonstrando normalidade nos processos de decomposição da matéria orgânica. Além disso, o experimento apresentou ausência de hidróxidos (OH) e carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) os quais estão mais relacionados à contaminantes prejudiciais ao ser humano e indicou apenas presença de Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) o qual não apresentou excedente. Em contrapartida, para o parâmetro de nitrogênio total observou-se que todos os pontos de coleta apresentaram grandes taxas de nitrogênio total ao se fazer uma comparação com o valor permitido pela resolução 357/2005 CONAMA o qual admite que para as águas doces quando o nitrogênio for fator para determinar o processo de poluição de corpos d'água, o valor de nitrogênio total não poderá ultrapassar 2,18 mg/L em ambientes lóticos.

Pontos de Coleta	Alcalinidade Total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )		Nitrogênio Total (mg/L)	
	Período de Seca	Período de Cheia	Período de Seca	Período de Cheia
01	140,63 ± 5,94	89,70 ± 2,24	5,73 ± 0,18	1,00 ± 0,0
02	143,37 ± 1,19	121,97 ± 1,94	10,90 ± 0,04	5,00 ± 0,0
03	150,92 ± 3,14	138,50 ± 1,12	13,18 ± 0,01	9,00 ± 0,0
04	117,31 ± 2,06	49,69 ± 2,24	8,62 ± 0,05	2,00 ± 0,1

Tabela 1: Alcalinidade Total e Nitrogênio Total pré-tratamento do Igarapé do Quarenta.

A partir dos dados na Tabela 1 foi possível relacionar um gráfico que ilustrasse o comportamento de tais, por meio desse gráfico, presente na Figura 2, verificou-se que para ambos parâmetros os pontos de coleta 01 e 04 apresentam taxas menores que os pontos de coleta 02 e 03. Isto é justificado devido à localização de tais pontos, uma vez que, os pontos 01 e 04 estão relacionados a montante e jusante do Igarapé do Quarenta, respectivamente, e os pontos 02 e 03 correspondem a locais mais urbanizados onde se há descarte não controlado de efluentes industriais e domésticos. Percebe-se ainda que tanto para a alcalinidade total quanto para o nitrogênio total, os dados de período de cheia mostraram-se estar abaixo do período de seca, visto que, o volume de água no período de cheia aumentou tornando a concentração das espécies químicas presentes no meio mais diluídas.

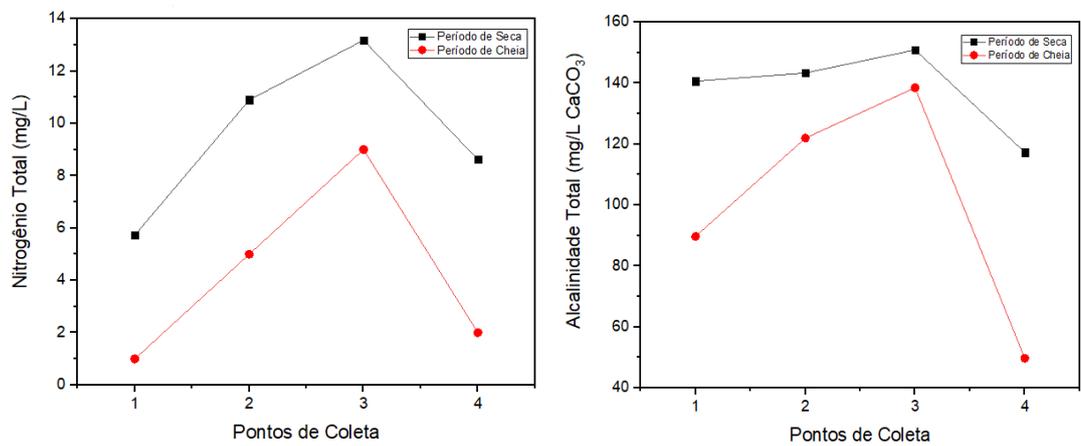


Figura 2: Comportamento dos parâmetros de Alcalinidade Total e Nitrogênio Total do Igarapé do Quarenta antes do tratamento.

### 3.2 Análise Pré e Pós-Tratamento do Parâmetro de Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração desses íons na água, maior é a capacidade de conduzir corrente elétrica (Bem e Dombroski, 2010). Fundamentado nisso, a Tabela 2 demonstra os resultados obtidos do Igarapé do Quarenta com as amostras filtradas e realizado triplicata tanto no período da seca como da cheia do pré e pós-tratamento. Com base nesta, observou-se que as amostras do período da cheia indicaram estar inferior ao da seca, pois tais íons estão mais diluídos num maior volume de água. Nota-se ainda que para as amostras da seca, o valor mais elevado foi o ponto de coleta 02 o qual é caracterizado por uma área que mais apresenta a influência da poluição oriunda de, dejetos de esgotos industriais da Zona Franca de Manaus enquanto que o ponto de coleta 03 apresenta apenas poluição por esgoto doméstico, dado que, este se encontra próximo à uma das habitações do PROSAMIM (Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus). Após o tratamento, verificou-se que os dados de condutividade elétrica aumentaram cerca de 13.18%, 2.28%, 2.68% e 8.92% para o período de seca e 4.83%, 3.58%, 6.02% e 8.095% para o período de cheia em todos os pontos de coleta, respectivamente. Esse aumento é explicado pois durante o tratamento de água ocorreu o desprendimento das nanopartículas de TiO<sub>2</sub> fazendo com que as mesmas tornassem dispersas em solução aumentando a capacidade de corrente elétrica da água

Pontos de Coleta	Pré-Tratamento		Pós-Tratamento	
	Período de Seca ( $\mu\text{S/cm}$ )	Período de Cheia ( $\mu\text{S/cm}$ )	Período de Seca ( $\mu\text{S/cm}$ )	Período de Cheia ( $\mu\text{S/cm}$ )
01	334,5	188,3	378,6	197,4
02	354,7	222,9	362,8	230,9
03	384,1	280,5	394,4	297,4
04	282,6	67,2	307,8	72,64

Tabela 2: Dados de condutividade elétrica pré e pós-tratamento

Não obstante, todos os pontos de coleta apresentaram valores de condutividade elétrica acima de  $100 \mu\text{S/cm}$  que é o limite superior esperado para águas naturais não poluídas conforme a literatura (Brigante et al, 2003) com exceção apenas do ponto de coleta 04 da cheia pré e pós-tratamento que apresentou a menor quantidade de íons demonstrando estar dentro desse limite permitido, já que, tal ponto reflete ao local onde o Igarapé do Quarenta deságua indicando que os íons estão mais dispersos.

### 3.3 Análise Pré e Pós-Tratamento de Espectroscopia Uv-Vis

A espectroscopia no ultravioleta é uma técnica baseada na transição de elétrons presentes em moléculas ou átomos que ao serem radiados são capazes de absorver luz em um certo comprimento de onda. Este tipo de análise se torna uma boa alternativa quando se deseja investigar moléculas orgânicas ou grupos funcionais, uma vez que, a maioria destes se apresentam transparente nas regiões do espectro eletromagnético (Pavia et al, 2012). Para estudo dos resultados obtidos nos quatro pontos de coleta, 01, 02, 03 e 04, dos períodos de seca e cheia pré-tratamento, utilizou-se a espectroscopia UV-Vis a fim de observar quais possíveis espécies de contaminantes são encontrados ao longo do Igarapé do Quarenta. Realizou-se uma varredura completa das amostras partindo de  $200\text{nm}$  –  $1000\text{nm}$  e analisou-se faixas de comprimento de onda apenas onde se mostrava absorção, a Figura 3 a seguir apresenta um espectro de absorção o qual parte de  $200\text{nm}$  –  $400\text{nm}$  (região ultravioleta).

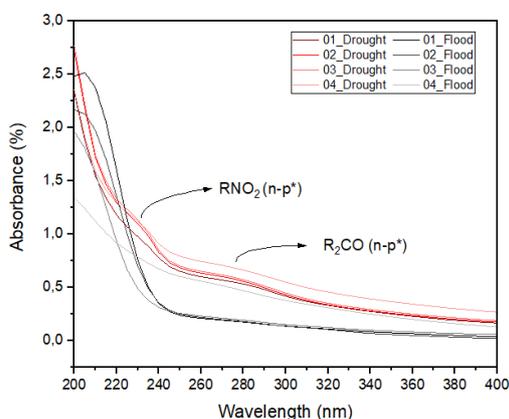


Figura 3: Espectro de absorção de todos os pontos de coleta nos períodos de seca e cheia do rio.

Para este gráfico é notado que para as amostras do período de seca (Drought) do Igarapé há absorção de espécies numa faixa de 260nm – 290nm e que tal absorção vai aumentando gradativamente com o aumento da distância dos pontos de coleta, sendo 01 o ponto inicial e 04 o ponto final. De acordo com os autores Brigante et al (2003) e Soares et al (1971), essa faixa absorvida pode ser justificada pela presença de espécies químicas caracterizadas por compostos carbonílicos os quais absorvem em torno de 280nm - 290nm ( $n-\pi^*$ ) ou compostos de nitratos e nitritos que absorvem por volta de 220nm - 300nm ( $n-\pi^*$ ). Para as amostras do período da cheia (Flood), verifica-se que essa região absorvida é bem suave e menor quando comparada com as amostras do período da seca isso é justificado devido ao volume de água estar maior e a quantidade de espécies estarem mais dissolvidas. Ainda assim, para o ponto de coleta 04 no período de cheia é possível observar uma leve absorção numa faixa de 250nm – 290nm a qual se adequa a faixa absorvida por compostos carbonílicos ou nitratos e nitritos discutidos anteriormente. Os pontos 01, 02 e 03 mostraram-se estar bem distantes do ponto 04, visto que, este último ponto de coleta é próximo ao porto de Manaus (Jusante do Igarapé) onde no período da cheia há vários barcos os quais funcionam com óleo diesel e gasolina ricos em compostos de nitrogênio e carbonílicos. Ao relacionar a presença destas espécies químicas, no Igarapé do Quarenta, com poluentes característicos provenientes da Zona Franca de Manaus, pode-se atribuir que para compostos carbonílicos, os coliformes podem ser classificados como um parâmetro microbiológico capazes de desenvolver estes compostos e indicar a qualidade de água em termos de poluição por efluentes domésticos, assim quanto maior a presença destas bactérias nos corpos receptores, maior será a quantidade dos compostos carbonílicos produzidos tornando-se prejudicial para a biota aquática (Pereira, 2004). Já para compostos de nitrito e nitrato, estes apresentam características importantes quando se há um nível de concentração adequada na água. Pois, os mesmos numa concentração ideal são indispensáveis para o crescimento de vegetais e organismos em geral, portanto, pode afetar a vida aquática. Altas concentrações de nitrito podem significar uma grande atividade bacteriana e carência de oxigênio podendo provocar a eutrofização o qual consiste num processo de poluição dos corpos d'água causando a morte de diversas espécies de animais e vegetais. Já quantidades excessivas de nitrato em águas de abastecimento podem causar o mal chamado metaemoglobinemia, o qual acomete crianças de até três meses de idade (Silva, 1990). Estes compostos de nitrogênio estão presentes, em sua maioria, em esgotos sanitários e indústrias que utilizam fertilizantes e inseticidas. Ao identificar tais espécies presentes no Igarapé do Quarenta, realizou-se o tratamento através do reator fotocatalítico heterogêneo solar com o intuito de degradar esses possíveis contaminantes a fim de verificar a eficiência do dispositivo. Efetuou-se o tratamento das 8 amostras (Período de Seca + Período de Cheia), numa duração de 4 horas para cada amostra e utilizando uma vazão de 14,40 m<sup>3</sup>/s. Vale ressaltar que a vazão utilizada está um pouco acima das vazões adotadas pelos autores, uma vez que, tratou-se de um projeto piloto com dimensões menores

aquelas utilizadas na literatura. O tratamento se deu no mês de julho e agosto os quais são caracterizados por meses que apresentam maior insolação e pouca precipitação na cidade de Manaus conforme o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A partir do tratamento, foi possível observar notáveis diferenças das amostras do período de seca e cheia do rio com relação ao comparativo pré e pós-tratamento, como observado na Figura 4 a seguir.

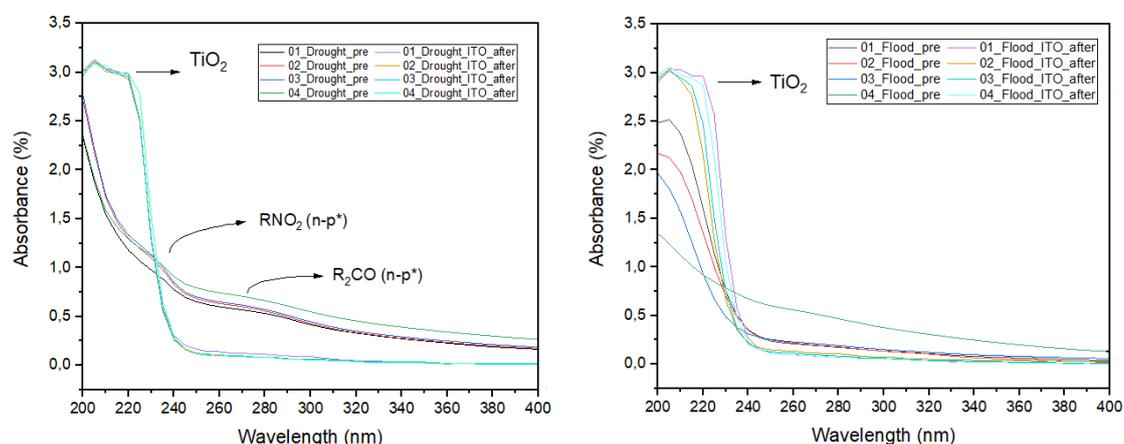


Figura 4: Espectro de absorção comparativo dos períodos de seca e cheia pré e pós-tratamento do Igarapé do Quarenta.

É possível verificar, para o gráfico no período de seca (drought), que após o tratamento não houve a absorção das espécies químicas anteriormente identificadas, considerando então estas degradadas por meio da fotocatalise heterogênea. Em contrapartida, nota-se uma nova absorção numa faixa de 200nm – 230nm podendo ser apontada como a possível influência do catalisador. Isto é explicado devido ao desprendimento de algumas nanopartículas que ocorreu durante o tratamento, influenciando assim nos dados analisados. Para o gráfico no período de cheia (Flood), observa-se apenas uma redução na intensidade da absorbância. Antes do tratamento, a absorbância das amostras apresentava em torno de 0.25% para os pontos de coleta 01, 02 e 03 e 0.65% para o ponto de coleta 4. Após o tratamento, observa-se a diminuição dessa intensidade apresentando para todos os pontos de coleta uma absorbância equivalente a 0.15%. E assim como no período de seca, há a influência do catalisador no espectro do período de cheia apontando absorção numa faixa de 200nm – 230nm. Destaca-se ainda que para ambos os períodos, após o tratamento, a presença do catalisador mostrou intensidade de absorbância correspondente a 3.0%.

### 3.4 Análise de Eficiência da Degradação dos Contaminantes

O estudo da avaliação da eficiência da degradação dos contaminantes presentes na água do Igarapé do Quarenta se deu a partir da Equação 1 citada na metodologia.

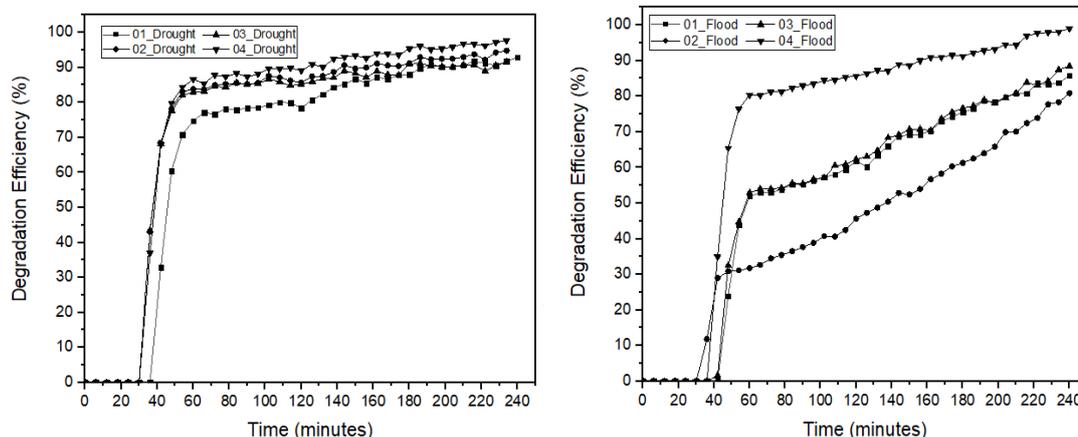


Figura 5: Desempenho da eficiência de degradação de todos os pontos de coleta dos períodos de seca e cheia do Igarapé do Quarenta

Na Figura 5 observa-se o desempenho da eficiência de degradação dos períodos de seca e de cheia. Para o período de seca, identifica-se que todos os pontos de coleta alcançam uma eficiência de um pouco mais que 90% no tempo de 240 min o qual se caracteriza como o tempo final do processo de tratamento. É observado ainda que o ponto de coleta 01 apresenta a menor eficiência atingindo um valor de mais ou menos 92% e o ponto de coleta 04 mostra a maior eficiência atingindo um valor de mais ou menos 97%, isto é evidenciado pela concentração de contaminantes presentes nas amostras, ou seja, quanto menor a concentração destas espécies melhor é a eficiência de degradação. Para o período de cheia, nota-se uma distância entre as eficiências dos pontos de coleta diferentemente do período de seca em que há proximidade de suas eficiências. Os pontos de coleta 01 e 03 apresentam eficiências aproximadas alcançando uma faixa de 85% – 88% no tempo final de 240 minutos, enquanto os pontos de coleta 02 e 04 apresentam eficiências diferentes, sendo 80% para o ponto 01 e 99% para o ponto 04, no fim do processo. Além disso, o ponto 04 atinge eficiência de 80% no tempo de 50 minutos, ao mesmo tempo em que os pontos 01 e 03 atingem 50% e o ponto 02, 29%. Esperava-se que as eficiências de todos os pontos de coleta do período de cheia apresentassem um desempenho aproximado entre estes como observado no período de seca e valores superiores ou equivalentes aos períodos de seca. Contudo, dois fatores podem ser atribuídos a essas divergências, como a concentração de nanopartículas presentes na placa, visto que, a placa com o  $\text{TiO}_2$  imobilizado foi utilizada para as amostras do período de seca num tempo de contato total de 16 horas antes de ser utilizada para as amostras no período de cheia, influenciando assim em sua eficiência. Outro fator é a taxa de radiação solar que influencia na eficiência de degradação, dias com maior taxa de radiação apresentam melhor eficiência e dias com menor taxa de radiação indicam uma eficiência inferior. Ademais, nota-se que o tratamento se tornou eficiente para ambos os períodos a partir de 25 minutos de tratamento, isto é, a degradação dos contaminantes presentes no Igarapé do Quarenta começou a partir deste tempo após

o início do processo.

## 4 | CONCLUSÃO

Levando em consideração os objetivos propostos, o projeto em questão conseguiu suprir tais levantamentos de forma conclusiva. O método de deposição doctor blade se tornou executável e eficiente na formação da camada  $\text{TiO}_2/\text{ITO}$ , o qual foi responsável em proporcionar possíveis reações de degradação dos contaminantes presentes na água do Igarapé do Quarenta. Para o sistema de tratamento, notou-se que o mesmo mostrou eficaz em promover o transporte de massa da amostra em contato com o catalisador. Além disso, foi possível obter as amostras tratadas do Igarapé do Quarenta apresentando eficiência maior que 90% para o período de seca e maior que 80% para o período de cheia. Observou-se ainda aspectos visuais resultantes de uma água límpida diferente daquelas encontradas nos pontos de coleta. Os resultados apresentados neste trabalho foram importantes e promissores, visto que, através do mesmo foi possível degradar contaminantes por meio da fotocatalise heterogênea.

## REFERÊNCIAS

- Bem, C. C. and Dombroski, L. F., **Manual de procedimentos laboratoriais integra-clima sul aplicado ao monitoramento de parâmetros associados à qualidade de água em corpos aquáticos**. Curitiba, Paraná (2010).
- Brigante, J., Silva, M. R. C., Queiroz, L. A. and Coppi, E., **Quantificação de metais na água e no sedimento do rio Mogi-Guaçu**. Cap 6. São Carlos, São Paulo (2003).
- Malato S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado M. I., Blanco J. and Gernjak W., **Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends**, 147(1):1-59, Catal (2009).
- Melo, E. G. F., Silva, M. S. R. and Miranda, S. A. F., **Influência Antrópica sobre as Águas de Igarapés na cidade de Manaus-Amazonas, Caminhos de geografia**, 5: 40-47 (2005).
- Mierzwa, J. C. and Hespanhol, I., **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso**. Ed Oficina de Textos. São Paulo (2014).
- Nogueira, R. F. P., **Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando  $\text{TiO}_2$  e Luz Solar**. Thesis – Universidade de Campinas, Campinas (1995).
- Nogueira, R. F. P. and Jardim, W. F.,  **$\text{TiO}_2$  -Fixed-Bed Reactor for Water Decontamination Using Solar Light**. Solar Energy, 56, No. 5, 471-77 (1996).
- Padovan, R. N. and Azevedo, E. B., **Combining a Sequencing Batch Reactor with Heterogeneous Photocatalysis ( $\text{TiO}_2/\text{UV}$ ) for Treating a Pencil Manufacturer's Wastewater**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 32, No.1, 99 – 106 (2015).
- Pavia, D. L., Lampam, G. M., Kriz, G. S. and Vyvyan, J. R. **Introdução à Espectroscopia**. 4ª Edição. Cengage LearningTM. Bellingham, Washington (2012).

Pereira, R. S. **Poluição Hídrica: Causas e Consequências**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) – Campos Pelotas. (2004).

Resolução No. 357, de 17 de março de 2005. Publicada no DOU No. 053, de 18/03/2005, p. 58-63. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA** (2005).

Santos, F. V., Azevedo, E. B., Sant'Anna Jr, G. L. and Dezotti, M., **Photocatalysis as a Tertiary Treatment for Petroleum Refinery Wastewaters**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 23, No. 4, 451 – 460 (2006).

Silva, M. O. S. **Análises físicos químicas para controle de estações tratamento de esgotos** (1990).

Soares, E.T., Lansarin, M. A. and Moro, C. C., **A Study of Process Variables for the Photocatalytic Degradation of Rhodamine B**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 24, No. 1, 29 – 36 (2007).

Soares, M. I. V., Pereira, P. G. S. and Aantunes, A. M. **Determinação de Nitratos e Nitritos – Ultravioleta**. Instituto Nacional de Investigação Industrial. Lisboa, Portugal. (1971).

Velloso, R., **Projeto Geo cidades: Relatório Ambiental Urbano Integrado Informe GEO: Manaus / Supervisão: Ana Lúcia Nadalutti La Rovere, Samyra Crespo**. Consórcio Parceria 21, Rio de Janeiro, p. 188 (2002).

Vilela, W. F. D. **Estudo da Degradação da [D-Leu]-Microcistina-LR por Fotocatálise Heterogênea Solar**. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (2009).

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**CARMEN LÚCIA VOIGT** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação lato sensu; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetilcolinesterase 21

### C

Células a combustível 10

### E

Eletrocatalisadores 12

Eletrodo de pasta de carbono 59

### F

Fotorreatores 40

### G

Grafeno dopado com nitrogênio 11

### O

Óxido de cariofileno 54

### Q

Química 2, 5, 2, 8, 9, 10, 21, 30, 33, 51, 52, 64, 66

### T

Tecnologia 10, 40, 66

### V

Voltametria 55

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-507-5

