

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios 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: Geraldo Alves  
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>	
P957	Princípios 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 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406  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

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1 ..... 1

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO

*Karina Carvalho de Souza*

*Gabriela Rodrigues dos Santos*

*Grazielly Maria Didier de Vasconcelos*

*Paulo Henrique Marrocos de Oliveira*

*Yêda Medeiros Bastos de Almeida*

*Felipe Cunha da Silva Trindade*

*Glória Maria Vinhas*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924061**

### CAPÍTULO 2 ..... 7

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

*Heloisa Barbara Rozario Azevedo*

*Fabiane De Oliveira Santana*

*Paula Hortência Santos Magalhães*

*Maria Karoline Silva Souza*

*Caio Cezar Neves Kunrath*

*Menilde Araújo Silva Bião*

*Franco Dani Rico Amado*

*Bruno Souza Fernandes*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924062**

### CAPÍTULO 3 ..... 12

OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

*Pablo Eduardo Costa dos Santos*

*Cristiane Xavier Resende*

*Zaine Teixeira Camargo*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924063**

### CAPÍTULO 4 ..... 19

CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO

*Nívia do Nascimento Marques*

*Rosângela de Carvalho Balaban*

*Sami Halila*

*Redouane Borsali*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924064**

### CAPÍTULO 5 ..... 32

PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

*Carlos Bruno Barreto Luna*

*Eduardo da Silva Barbosa Ferreira*

*Danilo Diniz Siqueira  
Edcleide Maria Araújo  
Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima  
Nívia do Nascimento Marques  
Marcos Antonio Villetti  
Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim  
Izael Pinho dos Santos  
Victor Soares Pereira  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal  
Yasmin Carolino da Silva Rosa  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Janice Izabel Druzian  
Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade  
Taynã Isis de S. Santana  
Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis  
Heitor Suyama  
Eduardo Abreu  
Denise Milleo Almeida  
Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	



**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

### **Nathália Favarin da Silva**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Departamento de Engenharia Química  
Santa Maria– RS

### **Enrique Chaves Peres**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Departamento de Engenharia Química  
Santa Maria– RS

### **Guilherme Luiz Dotto**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Departamento de Engenharia Química  
Santa Maria– RS

**RESUMO:** Neste trabalho, verificou-se o efeito da adição de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonato de sódio anidrido ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e cloreto de sódio cristal (**NaCl**) na adsorção do corante Vermelho Procion utilizando alumina ativada como adsorvente. Para a avaliação dos parâmetros termodinâmicos e da influência dos sais na adsorção do corante foram utilizados os modelos de Henry e Freundlich. Verificou-se que a presença de sais influenciou na capacidade de adsorção, mas não no formato das curvas, portanto o modelo de Freundlich mostrou-se o mais adequado para representar os dados experimentais. A presença de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e carbonato de sódio anidrido ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) prejudicaram a adsorção do corante. Por outro lado, a presença de NaCl

favoreceu a adsorção. A maior capacidade de adsorção foi encontrada na solução com NaCl presente, no valor de  $401,3 \text{ mg g}^{-1}$  e remoção de aproximadamente 80 % do corante.

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorção; sais; corante.

**ABSTRACT:** The influence of salts like  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , and NaCl on the adsorption of Procion red dye using activated alumina was investigated in this work. The evaluation was carried out by the construction of equilibrium isotherms at different temperatures for each studied system. Henry and Freundlich models were used to interpret the experimental data. Thermodynamic parameters were also evaluated. It was found that the presence of salts affected the adsorption capacity, but the isotherms shape was not modified. Freundlich model was the most adequate to interpret the experimental data. The presence of  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  prejudiced the procion red adsorption. On the contrary, adsorption was facilitated by the presence of NaCl. The higher adsorption capacity was found in the presence of NaCl, and was  $401.3 \text{ mg g}^{-1}$ . The respective removal percentage was 80%.

**KEYWORDS:** adsorption; salts; dye.

### 1 | INTRODUÇÃO

A adsorção é geralmente usada na

remoção de compostos orgânicos, presentes em efluentes industriais, e cuja remoção se torna difícil por processos de tratamentos biológicos convencionais (MOSQUETTA, 2010). A grande vantagem que a adsorção possui quando comparada com outros processos de separação, reside no fato desta apresentar uma elevada seletividade molecular, permitindo a separação de vários componentes com um baixo consumo energético (RUTHVEN, 1984). A adsorção pode ser afetada por vários fatores, tais como a estrutura molecular ou natureza do adsorvente, a solubilidade do soluto, o pH do meio, e a temperatura e diâmetro molecular do adsorbato (FOUST, 1982). A alumina, objeto é um material bastante utilizado por ser um material de baixo custo e estruturalmente estável, que pode ser preparado com uma grande variedade de tamanhos e distribuição de poros (SATTERFIELD, 1996; SILVA, 2005).

O tratamento de efluentes têxteis por adsorção é bastante estudado. Uma série de trabalhos relevantes têm desenvolvido adsorventes para o tratamento de soluções contendo corantes. No entanto, a maioria dos estudos usa os corantes em soluções sintéticas, contendo apenas este adsorbato. Efluentes têxteis em geral possuem também uma série de sais dissolvidos, os quais são utilizados na etapa de tingimento (PRIYA e SELVAN, 2017).

Neste trabalho, o objetivo foi verificar a influência dos sais bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonato de sódio anidrido ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e cloreto de sódio cristal ( $\text{NaCl}$ ) na adsorção do corante vermelho procion utilizando como adsorvente alumina ativada. Estas influências foram verificadas através de curvas de equilíbrio com os modelos de Henry e Freundlich.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material adsorvente

Como material adsorvente neste trabalho foi utilizado alumina comercial (ICETAR, 98% pureza p/p), com tamanho de partículas de (1,5–3 mm). Esta foi utilizada devido a grande área de superfície ( $250 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), alta resistência e estabilidade térmica.

### 2.2 Corante

Neste trabalho, foi utilizado o corante Vermelho procion (fórmula empírica  $\text{C}_{52}\text{H}_{34}\text{O}_{26}\text{S}_8\text{C}_{12}\text{N}_{14}$ ), utilizado principalmente para a coloração de fibras têxteis.

### 2.3 Experimentos de Adsorção

A solução corante Vermelho procion foi obtida a partir de uma solução estoque ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ). Os experimentos de adsorção foram realizados em um *shaker* com controle de temperatura (Solab, Brasil) a 250 rpm, com duração de 2 h para cada temperatura (esse tempo foi suficiente para atingir o equilíbrio). Desse modo, com o objetivo de conhecer a eficiência do adsorvente e influência dos sais, foram determinadas as isotermas de



adsorção para diferentes condições experimentais, como temperatura e adição de sais à solução. As isotermas foram obtidas nas temperaturas de 25 °C, 35 °C, 45 °C e 55 °C e nas concentrações iniciais de 50; 100; 200; 300 e 500 mg L<sup>-1</sup>, para os dois modelos de amostra, adsorvente com adição de sais (bicarbonato de sódio, carbonato de sódio anidrido e cloreto de sódio cristal; 0,005g) e somente o adsorvente, alumina ativada (0,05g). O pH utilizado foi o obtido nas próprias soluções, sem sofrer ajustes. Por fim, a leitura da absorbância foi realizada com auxílio do espectrofotômetro (UV/Vis) (Shimadzu, Japão), utilizando o comprimento de onda ( $\lambda=535\text{nm}$ ) do corante. A capacidade de adsorção no equilíbrio ( $q_e$ ) foi obtida pela equação 1.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Onde:  $C_0$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração inicial de corante,  $C_e$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração de equilíbrio,  $m$  (g) é a massa de adsorvente e  $V$  (mL) é o volume da solução

## 2.4 Modelos de Equilíbrio

Para a avaliação da influência dos sais na adsorção do corante foram utilizados os modelos de Henry e Freundlich. A lei de Henry é descrita pela equação 2 e utilizada quando o modelo da curva é linear. Freundlich está descrita pela equação 2.

$$q_e = K_H C_e \quad (2)$$

Onde:  $k_H$  (L g<sup>-1</sup>) é a constante de Henry.

$$q_e = k_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

Onde:  $k_F$  ((mg<sup>1-c</sup>L<sup>c</sup>g<sup>-1</sup>), onde  $c=1/n_F$ ) é a constante de Freundlich,  $1/n_F$  o fator de heterogeneidade.

## 2.5 Avaliação dos Ajustes

Os valores dos parâmetros de equilíbrio foram determinados pelo ajuste dos modelos com os dados experimentais, através da regressão não linear, sendo que para isso foi utilizado o método de Quasi-Newton no software estatístico 9.1 (Statsoft, EUA). A qualidade do modelo foi medida através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ) e o erro médio relativo (ARE).

## 2.6 Termodinâmica de adsorção

Para este trabalho foram estimados os parâmetros termodinâmicos: de variação de energia livre Gibbs padrão ( $\Delta G^0$ , kJ mol<sup>-1</sup>), variação de entalpia padrão ( $\Delta H^0$ , kJ mol<sup>-1</sup>) e variação da entropia padrão ( $\Delta S^0$ , kJ mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), utilizando as Equações 4 e 5:

$$\Delta G = -RT \ln(k) \quad (4)$$

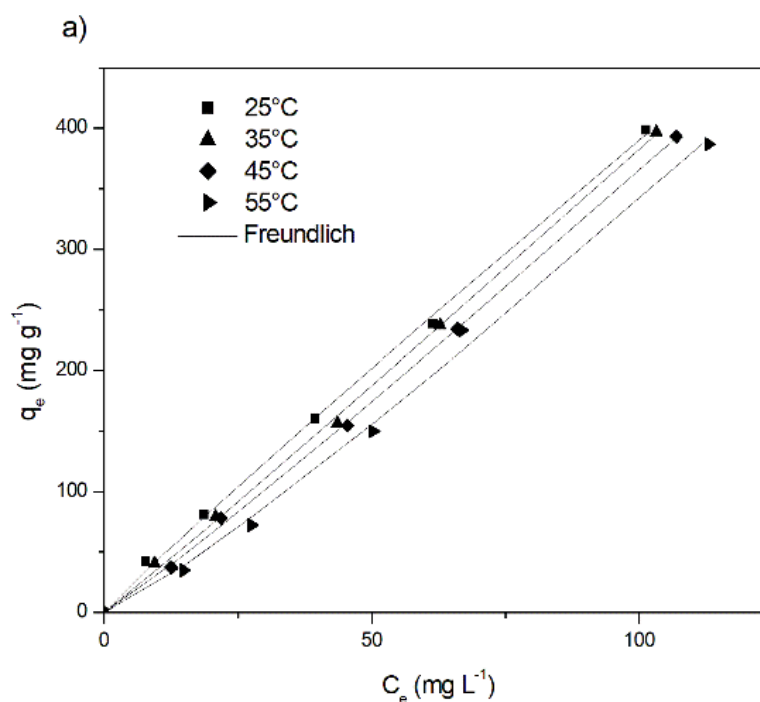
$$\ln(k) = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (5)$$

onde  $R$  é a constante universal ( $\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $T$  é temperatura (K) e  $k$  é a constante termodinâmica padrão (adimensional), e este que foi obtido a partir dos parâmetros do modelo de isoterma de melhor ajuste.

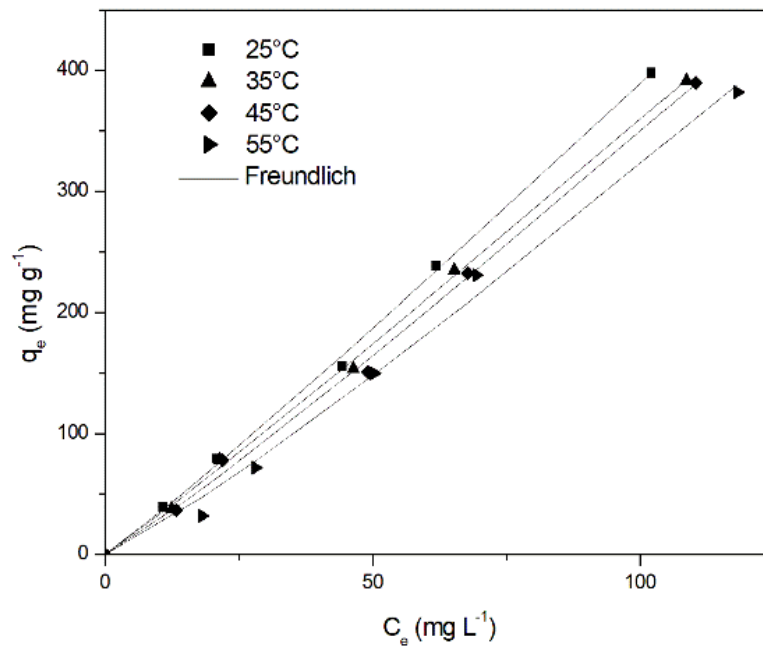
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Isotermas de adsorção

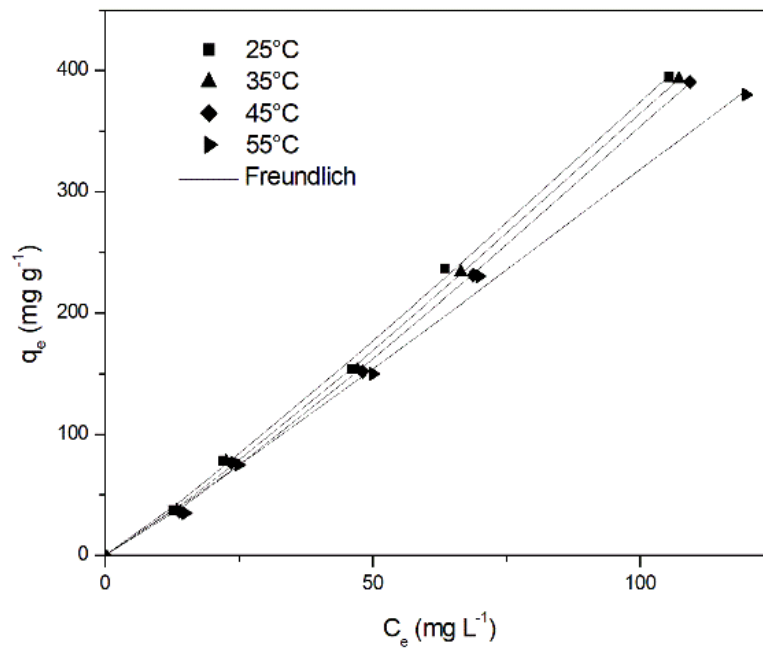
As isotermas de equilíbrio para adsorção de vermelho procion em alumina ativada são apresentadas na Figura 1. As curvas podem ser classificadas como curvas 'C'. Esse tipo de curva ocorre quando inicialmente há um comportamento linear dos dados de equilíbrio em baixas concentrações. Nas primeiras curvas de equilíbrio demonstradas na Figura 1, ocorre a adsorção do corante Vermelho Procion, com diferentes sais presentes



b)



c)



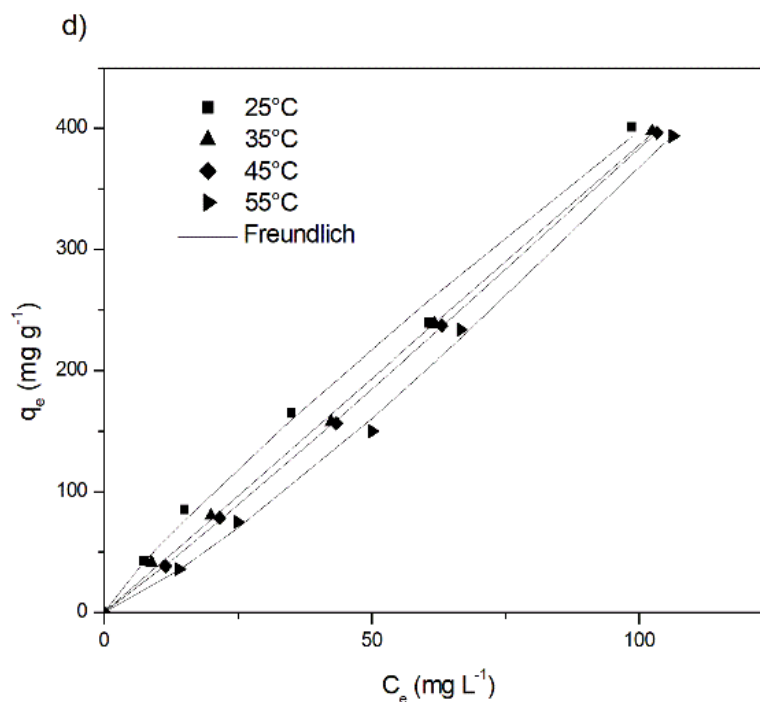


Figura 1: Isotermas de adsorção de Vermelho Procion com Alumina ativada com presença de sais: (a) somente adsorvente; (b)  $\text{NaHCO}_3$ ; (c)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e (d)  $\text{NaCl}$ .

Na Figura 1, pode-se ver que a capacidade de adsorção foi favorecida pela diminuição da temperatura, sendo os valores maiores valores de  $q_e$  atingidos em 25°C, independente da presença de sais na amostra. O pH da solução não houve variação significativa com a adição dos sais. A maior capacidade de adsorção foi encontrada na solução com  $\text{NaCl}$  presente, no valor de 401,3 mg g<sup>-1</sup> e remoção de aproximadamente 80 % do corante. Para a solução sem a presença de sais a capacidade de adsorção encontrada foi de 397,1 mg g<sup>-1</sup>.

Em relação as cargas presentes, nas soluções em que os sais bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) estiveram presentes houve diminuição da capacidade de adsorção do adsorvente, porém na solução com cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), aumento da capacidade de adsorção. Sendo assim, não há influência dos íons  $\text{Na}^+$  presentes na solução. Devido ao pH básico da solução, (pH≈8), há maior número de cargas negativas no sistema, sendo assim, a diferença entre as capacidades de adsorção ocorre devido a força iônica dos íons negativos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) em solução ser menor do que a força iônica do íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sendo assim apenas com o cloreto de sódio há a neutralização das cargas, aumentando a capacidade de adsorção.

De acordo com os modelos de isotermas foram determinados os parâmetros das curvas de equilíbrio pelos modelos de Henry e Freundlich, visando selecionar o melhor modelo de adsorção. Estes resultados estão demonstrados na Tabela 1 e Tabela 2.

A presença de sais não influenciou no modelo das curvas, sendo assim o modelo de Freundlich apresentou melhor ajuste aos dados, uma vez que apresentou maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e coeficiente de determinação

ajustado ( $R^2_{adj} > 0,99$ ) e valores mais baixos de erro relativo médio ( $ARE$ ) em comparação com os outros modelos. Além disso, os parâmetros de Freundlich apresentaram uma tendência clara em relação à temperatura. Quanto menor a temperatura, maior o valor da constante de Freundlich ( $k_f$ ), ou seja, maior a inclinação relativa a adsorção inicial. Além disso, o valor do coeficiente de heterogeneidade tem o valor aproximado de 1, isto ocorre, tipicamente em curvas do tipo C, por causa do comportamento linear, equiparando-se ao modelo de Henry.

Na Tabela 2, foi verificado que os valores de  $k_f$  nas isotermas com os sais  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  foram menores em relação aos valores para a solução somente com o corante. Já, para o  $\text{NaCl}$ , os valores de  $k_f$  foram superiores. Isso comprova que a presença de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) é prejudicial para a adsorção de corante, ao passo que, a presença de  $\text{NaCl}$  favorece o processo.

### 3.2 Termodinâmica de adsorção

Os dados termodinâmicos ( $\Delta G^0$ ,  $\Delta H^0$  e  $\Delta S^0$ ) estão apresentados na Tabela 3. Os valores da constante termodinâmica padrão ( $k$ ) foram estimados a partir dos parâmetros Freundlich (TRAN et al., 2017).

A variação da energia de Gibbs demonstra que o processo de adsorção é favorável e espontâneo devido ao valor negativo. Além disso, verifica-se que quanto menor a temperatura menor o valor de  $\Delta G^0$ , mostrando que o processo tem maior capacidade de adsorção em temperaturas baixas. Através do sinal negativo da entalpia padrão ( $\Delta H^0$ ) verificou-se que o processo é exotérmico. Além disso, através do  $\Delta H^0$ , verificou-se que o mecanismo de adsorção ocorre através de interação eletrostática (entre 20 a 80  $\text{kJ mol}^{-1}$ ) (TRAN et al., 2017).

## 4 | CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, foi utilizada alumina ativada comercial para adsorção do corante Vermelho Procion, com o objetivo de verificar a influência da adição de sais no processo, através das isotermas de equilíbrio de Freundlich e Henry. Verificou-se que as isotermas de Freundlich, apresentaram maior valor de  $R^2_{adj}$  e menores de  $ARE$ , apresentando assim o melhor ajuste dos dados. A maior capacidade de adsorção foi encontrada na solução com  $\text{NaCl}$  presente, no valor de  $401,3\text{mg g}^{-1}$  e remoção de aproximadamente 80% do corante. Além disso, verificou-se que os sais que possuem íons cloretos aumentaram a capacidade de adsorção, enquanto sais que possuíam carbonato tiveram influência negativa no processo de adsorção. Em relação aos parâmetros termodinâmicos verificou-se que o processo foi favorável, espontâneo e exotérmico.



Parâmetros das Iso- termas	Temperatura (°C)			
	25	35	45	55
Henry				
$k_H$	3,949	3,799	3,607	3,343
$R^2$	0,9979	0,9988	0,9979	0,9894
$R^2_{adj}$	0,9979	0,9988	0,9979	0,9894
$ARE$ (%)	6,775	3,251	5,264	14,541
Freundlich				
$k_F$ (mg g <sup>-1</sup> )(mg L <sup>-1</sup> ) <sup>-1/nf</sup>	4,905	3,385	2,684	1,830
$1/n_F$	0,950	1,026	1,067	1,135
$R^2$	0,9989	0,9991	0,9995	0,9961
$R^2_{adj}$	0,9986	0,9989	0,9994	0,9952
$ARE$ (%)	3,967	4,137	2,851	5,564

Tabela 1: Ajustes dos modelos de isotermas para adsorção de Vermelho Procion somente com Alumina Ativada.

Parâmetros das Isotermas	Presença de sais (25°C)			
	Somente Adsorvente	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaCl
Henry				
$k_H$	3,949	3,836	3,675	4,117
$R^2$	0,998	0,9977	0,9962	0,9882
$R^2_{adj}$	0,9979	0,9977	0,9962	0,9882
$ARE$ (%)	6,775	2,961	7,102	12,32
Freundlich				
$k_F$ (mg g <sup>-1</sup> )(mg L <sup>-1</sup> ) <sup>-1/nf</sup>	4,905	3,014	2,602	7,234
$1/n_F$	0,950	1,055	1,079	0,870
$R^2$	0,9989	0,9988	0,9985	0,9951
$R^2_{adj}$	0,9986	0,9985	0,9981	0,9939
$ARE$ (%)	3,967	3,184	4,087	4,296

Tabela 2: Ajustes dos modelos de isotermas para adsorção de Vermelho Procion com diferentes sais.

Adsorvente	T (°C)	$\Delta G^0$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H^0$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^0$ (kJ mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Alumina Ativada	25	-4,791	-42,35	-1,843
	35	-2,657		
	45	-1,386		
	55	-1,043		

Tabela 3: Parâmetros termodinâmicos para adsorção de Vermelho Procion somente com Alumina Ativada.

## REFERÊNCIAS

FOUST, A.S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**, 2 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e Científico, 1982.

MOSQUETTA, R. **Remoção de cobre em álcool etílico hidratado combustível utilizando amêndoas de baru (*Dypterix alata*)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

PRIYA, E. S. E SELVAN, P. S. ***Water hyacinth (Eichhornia crassipes) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review***. Arabian Journal of Chemistry, 2017, Pages S3548–S3558.

RUTHVEN, D. M. ***Principles of adsorption and adsorption process***. Editora John Wiley & Sonns, New York, 1984.

SILVA, J.M. **Estéreo e sítio seletividade da epoxidação de diferentes terpenos com alumina obtida via sol–gel**. Dissertação de mestrado. – Campinas, SP, 2005.

TRAN, H. N. et al. ***Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review***. Water Research, 2017.

## **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.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-422-1

